

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Dimensionamento de uma Cadeia de Abastecimento para o setor Aeroespacial

RAQUEL DINIZ DA GAMA BENTO BORREGA
(Mestre em Design de Produto)

Trabalho de Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial (*Documento Definitivo*)

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutor José Miguel Aragão Celestino Soares

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Dezembro de 2023



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

**Dimensionamento de uma Cadeia de
Abastecimento para o setor Aeroespacial**

RAQUEL DINIZ DA GAMA BENTO BORREGA
(Mestre em Design de Produto)

Trabalho de Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial (*Documento Definitivo*)

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutor José Miguel Aragão Celestino Soares

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Dezembro de 2023

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos Professores (especialmente, pela boa disposição e disponibilidade com que deram as aulas, na sua maioria, mesmo sendo estas em regime pós-laboral e, portanto, muitas vezes, “já tarde”) e aos Colegas (com quem espero que continuemos a combinar jantares/almoços e a ter bons momentos de convívio) que tive e que conheci ao longo deste Mestrado, considerando que fizeram a diferença para o bom ambiente geral desta “etapa” e para que a mesma fosse melhor.

Gostaria, também, de agradecer o apoio que recebi da minha Família (em especial, à minha Mãe, pelo quanto pude contar com ela nesta fase) e Amigos, assim como de Chefes e Colegas do trabalho, também pela compreensão da minha situação de trabalhadora-estudante e incentivo à mesma.

Por último, e, claro, não menos importante, gostaria de agradecer ao Professor Vítor, não apenas pela sua orientação e atenção disponibilizada ao longo da realização de todo este trabalho mas, em especial, por ter incentivado e tornado possível que eu desenvolvesse esta dissertação final de mestrado nas áreas em que eu mais gostaria, e por me ter ajudado a identificar este tema e o ter aceite mesmo sendo este talvez um pouco “diferente”.

Obrigada!

Gostaria de dedicar este trabalho ao meu avô António José que não conheci mas a quem me dizem que saio, incluindo pelo “lado” da engenharia

Resumo

Dado o estado atual e panorama do futuro próximo da Indústria e Exploração Espaciais, esta investigação procurou avaliar qual seria a viabilidade de uma Cadeia de Abastecimento que apoiasse a sobrevivência e a prosperidade de um Empreendimento Agrícola no Planeta Marte como exemplo do objectivo principal de provar a viabilidade do apoio logístico à expansão da Humanidade para além da Terra.

Para tal, foi realizada uma Revisão da Literatura que permitiu a obtenção de dados e a compreensão das implicações, tecnologias, dinâmicas e restantes aspetos relevantes para se definir um Estudo de Caso com base na mesma, assim como o desenvolvimento de três cenários de resposta ao mesmo — com diferentes níveis de dependência de abastecimento alimentar terrestre entre si, desde um cenário caracterizado por uma colónia capaz de, teoricamente, cultivar a totalidade dos alimentos de que necessitaria (juntando-se-lhe, a determinado ponto e, também, crescendo gradualmente, a produção de animais), a outro em que seriam produzidas, também em teoria, metade das suas necessidades alimentares — que consistiram, cada um, numa simulação, durante 60 anos (a ser iniciada em 2035/36), do que seriam as necessidades agrícolas para o funcionamento sustentável do empreendimento descrito (cuja arquitectura e localização foram definidas conceptualmente), tendo-se, a partir das mesmas, calculado a capacidade — tecnológica e financeira — da sua resposta logística, assim como analisado a viabilidade desta, tendo, naturalmente, os resultados obtidos por cenário explorado variado.

Não obstante, perante qualquer um dos cenários apresentados — que consistiram, igualmente, na proposta de utilização de um veículo atualmente, ainda, em fase de desenvolvimento e de testes (o Starship-Super Heavy, da empresa SpaceX) —, acredita-se, em conclusão, ter-se validado a possibilidade tecnológica e financeira (num futuro relativamente próximo) da realização do objetivo logístico pretendido, esperando-se, com o presente estudo, gerar-se dados que, de alguma forma, pudessem contribuir para a obtenção de perspetivas e possibilidades no campo de investigação e indústria estudados.

Palavras-Chave:

Logística Espacial, Colónia em Marte, Agricultura Espacial, Cadeia de Abastecimento, Simulação

Abstract

Given the current state and panorama for the near future of the Space Industry and Exploration, this investigation sought to evaluate the viability of a Supply Chain that would support the survival and prosperity of an Agricultural Endeavour on Planet Mars as an example of the main goal of proving the feasibility of logistical support for the expansion of Humanity beyond Earth.

For this purpose, a Literature Review was carried out allowing the gathering of the data and the understanding of the implications, technologies, dynamics and other relevant aspects required for the definition of a Case Study based on these, as well as the development of three scenarios of response to this case study — with different levels of dependence on terrestrial food supplies among them, from a scenario characterized by a colony capable of, theoretically, cultivating all the food it would need for its own consumption (with also, at a certain point in time and, also, gradually growing, animal production), to another in which, also in theory, half of the required food would be produced locally — which consisted, each, in a simulation, over 60 years (starting in 2035/36), of what would be the agricultural needs for the sustainable running of the described endeavour (whose architecture and location were defined conceptually). And, based on these needs, the technological and financial capacity of the logistical response to them was calculated, as well as its viability analyzed, with, naturally, the results obtained varying depending on the scenario explored.

Nevertheless, given any of the three scenarios presented — which also consisted on the proposal of the use of a vehicle currently still in development and testing phases (the Starship-Super Heavy, from the company SpaceX) —, it is believed, in conclusion, that the technological and financial possibility (in a relatively near future) of achieving the intended logistical aim was validated, with this study hoping to generate data that could, in some way, contribute to the obtaining of perspectives and possibilities in the field and industry studied.

Keywords:

Space Logistics, Mars Colony, Space Agriculture, Supply Chain, Simulation

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice	xi
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Siglas e Acrónimos	xxiii
1. Introdução	1
1.1. Motivação e Contextualização da Dissertação	1
1.2. Objetivos e Metodologias	2
1.2.1. Perguntas de Investigação	3
1.3. Organização da Dissertação	4
2. Revisão da literatura	7
2.1. Setor Espacial	7
2.1.1. Exploração e Colonização Espaciais	7
2.1.2. Cenário Espacial Atual	8
2.1.2.1. Agências	8
2.1.2.2. Missões.....	9
2.1.2.3. Empresas Privadas no Setor Espacial (e a Alteração do Mesmo).....	25
2.1.2.4. Veículos Espaciais	28
2.1.3. Cenário Espacial Futuro	31
2.1.4. Logística Espacial	54
2.1.4.1. Logística e Cadeia de Abastecimento	54
2.1.4.2. Logística Espacial	54
2.2. Agricultura	56
2.2.1. Agricultura Terrestre.....	57
2.2.1.1. Especificidades, Boas práticas e Linhas Orientadoras para a prática da Agricultura na Terra	57
2.2.1.2. Alta Tecnologia na Agricultura Terrestre	59
2.2.2. Agricultura Espacial	60
2.2.2.1. Alimentação no Espaço e na Estação Espacial Internacional	60
2.2.2.2. O Porquê da Agricultura Espacial	63
2.2.2.3. Desafios Inerentes à Prática e à Sustentabilidade da Agricultura Espacial	63

2.2.2.4. O Que Já Foi Realizado Neste Campo a Nível Comercial/Industrial	65
2.2.2.5. Outros Benefícios da Agricultura em Marte	76
2.3. Dinâmica de Sistemas	77
2.3.1. Simulação Computacional de Sistemas	77
2.3.1.1. Software Vensim	78
3. Estudo de Caso.....	81
3.1. Contextualização do Estudo de Caso	81
3.1.1. Definição Concreta do Estudo de Caso	82
3.1.1.1. Colonização Espacial e Marte	82
3.1.1.2. Agricultura Espacial	84
3.1.1.3. Outros Benefícios da Agricultura (além da Alimentação)	86
3.1.1.4. Objeto Principal do Estudo de Caso.....	86
3.2. Identificação dos Desafios do Estudo de Caso	87
3.3. Análise das Causas-Raiz dos Desafios Identificados	88
4. Propostas para Contornar os Desafios Identificados	91
4.1. Cenário de Proposta 1	92
4.1.1. Duração	92
4.1.2. Localização	93
4.1.3. Arquitetura	95
4.1.4. Modelação (no software Vensim) das Necessidades do Empreendimento Agrícola.....	98
4.1.4.1. Variáveis Utilizadas.....	100
4.1.4.2. Resultados da Simulação.....	127
4.1.5. Análise da Possibilidade de Suporte às Necessidades do Empreendimento Agrícola Identificadas	129
4.1.6. Prós e Contras do Cenário de Proposta 1	134
4.2. Cenário de Proposta 2	135
4.2.1. Modelação (no software Vensim) das Necessidades do Empreendimento Agrícola.....	135
4.2.1.1. Variáveis Alteradas	136
4.2.1.2. Resultados da Simulação.....	138
4.2.2. Análise da Possibilidade de Suporte às Necessidades do Empreendimento Agrícola Identificadas	140
4.2.3. Prós e Contras do Cenário de Proposta 2.....	143
4.3. Cenário de Proposta 3	144

4.3.1 Modelação (no software Vensim) das Necessidades do Empreendimento Agrícola.....	144
4.3.1.1 Variáveis Alteradas e Adicionadas	145
4.3.1.2 Resultados da Simulação.....	147
4.3.2 Análise da Possibilidade de Suporte às Necessidades do Empreendimento Agrícola Identificadas	150
4.3.3 Prós e Contras do Cenário de Proposta 3.....	152
5. Validação das Propostas.....	154
5.1. Contexto da Validade dos Cenários Propostos para a Resolução do Estudo de Caso.....	154
5.2. Análise de Resultados Obtidos e Discussão.....	156
5.2.1. Comparação Entre-Cenários	156
5.2.2. Outros Aspetos relativos à Viabilidade das Propostas Apresentadas	164
6. Conclusão	166
6.1. Trabalhos Futuros.....	168
Referências Bibliográficas	171
Anexos	179
Anexo I.....	179
Anexo II	179
Anexo III	179
Anexo IV.....	179
Anexo V	179

Lista de Figuras

- Figura 1** - Fotografia do planeta Terra capturada pela sonda Voyager 1. 1
(Fonte: NASA/JPL-CALTECH *in* BBC News, 2020, s.p.)
- Figura 2** - A Estação Espacial Mir e a Terra, em 1998, observados pelo Orbitador Endeavour. 10
(NASA *in* Howell, 2013, s.p.)
- Figura 3** - A Estação Espacial Internacional (EEI). 11
(NASA *in* Howell, 2023, s.p.)
- Figura 4** - A fotografia “icônica” do “Nascer da Terra”, capturada pelo astronauta Bill Anders, a 24 de Dezembro de 1968. 12
(NASA *in* Wall, 2022, s.p.)
- Figura 5** - Tubos de lava do Monte Elísio. 19
(NASA/JPL-Caltech/Arizona State University *in* Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)
- Figura 6** - Canais de fluxo do Vale Kasei, a maior região destes já identificada em Marte, com cerca de 3500 km de comprimento, 400 de largura e 2,5 de profundidade. 20
(NASA/JPL-Caltech/Arizona State University *in* Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)
- Figura 7** - Cratera marciana com gelo. 21
(NASA/JPL-Caltech/University of Arizona *in* Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)
- Figura 8** - Percentagem de água em Marte (entre as latitudes de 60° norte e sul) correspondente ao hidrogénio mapeado. 22
(NASA/Los Alamos National Laboratory *in* Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)
- Figura 9** - Imagens de Marte, capturadas pelo Telescópio Espacial Hubble, na ausência de (à esquerda, na imagem) e perante uma tempestade global (à direita). 23
(Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)
- Figuras 10 a) e b)** - Diferentes posições no Sistema Solar ocupadas, em momentos diferentes, por Marte (ponto vermelho) e pela Terra (ponto azul): a) a 10 de Maio de 2018; b) e a 5 de Janeiro de 2019 24
(ASWATH, 2017 *in* Suresh *et al.*, 2017)
- Figura 11** - Lançamento do Saturn V, do Centro Espacial Kennedy, na Flórida, a 14 de Maio de 1973. 28
(NASA *in* Lea & Dobrijevic, 2022)
- Figura 12** - Imagem ilustrativa do futuro Sistema Starship-Super Heavy. 30
(SpaceX *in* Weitering, 2019, s.p.)

Figura 13 - Na imagem podemos ver os <i>cubesats</i> , enviados a bordo do primeiro lançamento do Programa Artemis. (NASA/Cory Huston <i>in</i> Lea, 2022, s.p.)	33
Figura 14 - Imagens do conceito do <i>habitat</i> Marsha. (AI SpaceFactory, Pomp & NASA <i>in</i> Howell, 2019, s.p.)	40
Figura 15 - Mapeamento de Marte relativamente ao seu potencial para colheitas. (Mukundan <i>et al.</i> , 2023, p.3)	41
Figura 16 - Arquitetura proposta para o conceito da cidade de Dvaraka (Mukundan <i>et al.</i> , 2023, p.7).	42
Figura 17 - Planta do aposento individual proposto no estudo de Mukundan <i>et al.</i> (2023, p.9).	43
Figura 18 - Planta parcial do bloco proposto no estudo de Mukundan <i>et al.</i> (2023, p.9).	43
Figura 19 - Análise computacional 3D de infra-estrutura proposta para o projeto Dvaraka. (Mukundan <i>et al.</i> , 2023, p.14)	43
Figura 20 - Imagem representativa da proporção, posição relativa e ligações entre as várias instalações propostas (compreendendo a zona “W” as estufas da base). (Manal <i>et al.</i> , 2022, p.22)	46
Figura 21 - Localização selecionada para o conceito proposto por Romio (2022, p.5).	50
Figura 22 - <i>Render</i> da superfície da colónia. (Romio, 2022, p.8)	51
Figura 23 - <i>Render</i> da superfície da colónia vista em planta. (Romio, 2022, p.9)	51
Figura 24 - <i>Render</i> do interior do conceito proposto. (Romio, 2022, p.10)	51
Figura 25 - MOXIE. (NASA, s.d.b, s.p.)	65
Figura 26 - Interior do simulador EDEN ISS. (Romio, 2022, p.4)	66
Figuras 27 a), b), c) e d) - Em cada uma das imagens, à sua esquerda, podem ser observados os resultados do cultivo das seguintes espécies sem a utilização de alfafa como bio-fertilizante e, à sua direita, com alfafa: a) e b) nabo; c) rabanete; d) alface. (Kasiviswanatha <i>et al.</i> , 2022, p.8)	70

Figura 28 a), b) e c) - Hidrogéis (apresentados nas figuras a) e b)) adicionados às espécies durante o cultivo das mesmas e cuja concentração junto às raízes das mesmas podemos observar na figura c), mais especificamente, nas zonas indicadas pelas setas (a amarelo) na figura. (Peyrusson, 2021, p.4)	71
Figura 29 - Exemplo, relativamente, simples da modelação de uma determinada arquitetura através do <i>software</i> Vensim. (Charront <i>et al.</i> , 2015, p.3)	78
Figura 30 - Condições que caracterizam o ambiente atual de Marte.	87
Figura 31 – Esboço proporcional, em planta, do módulo proposto para cada 70 pessoas, repetido 3 vezes, juntamente com o espaço verde destinado a cada 3 destes módulos (ou seja, a cada 210 pessoas).	98
Figura 32 – Definições do modelo de simulação das necessidades do empreendimento agrícola da colónia marciana no programa Vensim.	99
Figura 33 – Variável “Pessoas” e respetivo fluxo completo de influência direta no “stock” da mesma no modelo elaborado no software Vensim para o cálculo das necessidades logísticas do empreendimento agrícola envisioned para uma colónia humana em Marte.	100
Figura 34 – Resultados da variável “ <u>Armazém / Balanço de importações, produção e consumo</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1. *(x=26 y=0kg; x=52 y=27404,2kg)	112
Figura 35 – Resultados da variável “ <u>Pessoas</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.	127
Figura 36 – Resultados da variável “ <u>Carga necessária</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.	127
Figuras 37 a), b), c), d), e) e f) – Resultados de outras variáveis (elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas) durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1: a) todas as variáveis conectadas diretamente à variável “Carga necessária”, mais a própria; b) todas as variáveis que compõem a variável “outra carga”, mais a própria; c) todas as variáveis que compõem a variável “abastecimento terrestre para a agricultura”, assim como a própria; d) ambas as variáveis que compõem a variável “Produção local total”, assim como a própria e, ainda, a variável “Área de cultivo”; e) variáveis que	128/ 129

indicam o número de módulos existentes/necessários no empreendimento destinados a 70 e 210 pessoas, a cada momento de registo; f) variáveis relativas à infra-estrutura necessária para a área de cultivo e os espaços verdes da colónia.

- Figura 38** – Resultados da variável “Armazém / Balanço de importações, produção e consumo”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2. *(x=26 y=0kg; x=52 y=18051,7kg) **137**
- Figura 39** – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2. **138**
- Figura 40** – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2. **138**
- Figuras 41 a), b), c), d), e) e f)** – Resultados de outras variáveis (elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas) durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2: **139/140**
a) todas as variáveis conectadas diretamente à variável “Carga necessária”, mais a própria; b) todas as variáveis que compõem a variável “outra carga”, mais a própria; c) todas as variáveis que compõem a variável “abastecimento terrestre para a agricultura”, assim como a própria; d) ambas as variáveis que compõem a variável “Produção local total”, assim como a própria e, ainda, a variável “Área de cultivo”; e) variáveis que indicam o número de módulos existentes/necessários no empreendimento destinados a 70 e 210 pessoas, a cada momento de registo; f) variáveis relativas à infra-estrutura necessária para a área de cultivo e os espaços verdes da colónia.
- Figura 42** – Resultados da variável “Armazém / Balanço de importações, produção e consumo”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3. *(x=26 y=0kg; x=52 y=18051,7kg) **147**
- Figura 43** – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3. **148**
- Figura 44** – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3. **148**
- Figuras 45 a), b), c), d), e) e f)** – Resultados de outras variáveis (elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas) durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3: **149/150**
a) todas as variáveis conectadas diretamente à variável “Carga necessária”, mais a própria;

b) todas as variáveis que compõem a variável “outra carga”, mais a própria; c) todas as variáveis que compõem a variável “abastecimento terrestre para a agricultura”, assim como a própria; d) ambas as variáveis que compõem a variável “Produção local total”, assim como a própria e, ainda, a variável “Área de cultivo”; e) variáveis que indicam o número de módulos existentes/necessários no empreendimento destinados a 70 e 210 pessoas, a cada momento de registo; f) variáveis relativas à infra-estrutura necessária para a área de cultivo e os espaços verdes da colónia.

Figura 46 – Gráfico — Comparação de Cenários 1.	159
Figura 47 – Gráfico — Comparação de Cenários 2.	160
Figura 48 – Gráfico — Comparação de Cenários 3.	163

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comparação de características entre os planetas Terra e Marte. <i>(*tabela desenvolvida com base nas respectivas fontes mencionadas no capítulo 2)</i>	83
Tabela 2 – População Enviada da Terra para a colônia marciana.	101
Tabela 3 – População da colônia marciana Retornada à Terra.	103/ 104
Tabela 4 – Utensílios (e respectivos pesos) de auxílio à atividade agrícola do empreendimento proposto.	119/ 120
Tabela 5 – Resultados da variável “ <u>Pessoas</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.	128
Tabela 6 – Resultados da variável “ <u>Carga necessária</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.	128
Tabela 7 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte da Carga a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 1.	131/ 132
Tabela 8 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte de Pessoas a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 1.	132/ 133
Tabela 9 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte Total (Carga e Pessoas) a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 1.	133/ 134
Tabela 10 – Resultados da variável “ <u>Pessoas</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2.	139
Tabela 11 – Resultados da variável “ <u>Carga necessária</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2.	139
Tabela 12 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte da Carga a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 2.	141/ 142
Tabela 13 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte Total (Carga e Pessoas) a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 2.	142/ 143
Tabela 14 – Resultados da variável “ <u>Pessoas</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3.	148
Tabela 15 – Resultados da variável “ <u>Carga necessária</u> ”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3.	148

Tabela 16 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte da Carga a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 3.	150/ 151
Tabela 17 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte Total (Carga e Pessoas) a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 3.	151/ 152
Tabela 18 – Carga a Transportar e Número de Foguetões Respetivos, apresentados por Mês de Registo da Simulação e por Cenário.	157
Tabela 19 – Custos do Transporte da Carga Necessária, apresentados por Mês de Registo da Simulação e por Cenário.	158
Tabela 20 – Custos de Transporte Totais por Mês de Registo da Simulação e por Cenário.	159
Tabela 21 – Custos do Transporte da Carga Necessária por Cenário e por Década.	161
Tabela 22 – Pessoas, Carga e Respetivo Número de Foguetões a Transportar por Década.	162

Lista de Siglas e Acrónimos

ECLSS – *Environmental Control and Life Support System* / Sistema de Controlo Ambiental e de Suporte à vida;

ESA – *European Space Agency* / Agência Espacial Europeia;

FIFO – *First In, First Out* / Primeiro a entrar, primeiro a sair;

GEL – *Global Equivalent Layer* / Camada Equivalente Global;

ISRU – *In Situ Resource Utilization* / Utilização de Recursos *In Situ*;

ISS – *International Space Station* / EEI – Estação Espacial Internacional;

MARS – *Modular Agricultural Robotic System* / Sistema Robótico Modular Agrícola.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* / Administração Aeronáutica e Espacial Nacional;

NEA – *Near-Earth Asteroid(s)* / Asteróide(s) Próximo(s) da Terra;

NSRL – *NASA Space Radiation Laboratory* / Laboratório de Radiação Espacial da NASA;

OEM – *Off-Earth Mining* / Mineração Fora da Terra;

Roscosmos – Agência Espacial Federal Russa;

“Tinha de ter havido um plano para o que se seguiria às missões Apolo.”

“There had to be a plan for what would come after Apollo.” (Petranek, 2015, p.13)

1. Introdução

Neste capítulo, apresenta-se (no respetivo subcapítulo 1.1) a motivação e contextualização da presente dissertação, dedicada ao tema da Logística Espacial, mais especificamente, ao Dimensionamento de uma Cadeia de Abastecimento destinada ao setor Aeroespacial. São, também, no presente capítulo, apresentados os Objetivos da investigação realizada, assim como as Metodologias utilizadas para o alcance dos mesmos (no subcapítulo 1.2), juntamente com as Perguntas de Investigação (no subcapítulo 1.2.1) que definiram o rumo do trabalho realizado. E, por fim (no subcapítulo 1.3), apresenta-se a Organização através da qual este documento foi estruturado, assim como a descrição geral da totalidade das respetivas fases que compuseram a presente investigação.

1.1. Motivação e Contextualização da Dissertação

Atualmente, o *habitat* de toda a Humanidade restringe-se ao planeta Terra (o “Ponto Azul Pálido” (T.L.- “*the Pale Blue Dot*”), como caracterizado por Carl Sagan, em 1994, referindo-se o autor à fotografia apresentada na Figura 1), podendo este facto representar uma ameaça quanto à possibilidade da extinção do Ser Humano. No entanto, existe um vasto universo para lá desta “nossa casa”, além de — entre vários povos e nações, como é o caso de Portugal — uma certa história ou tradição da exploração e descoberta de novos mundos (ou locais).

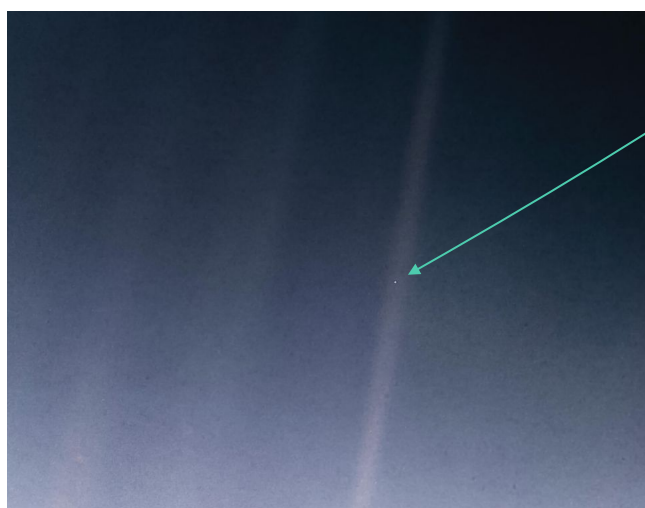


Figura 1 - Fotografia do planeta Terra capturada pela sonda Voyager 1.
(Fonte: NASA/JPL-CALTECH in BBC News, 2020, s.p.)

Como tal, defende-se existir a necessidade de haver algum tipo de plano de ação elaborado na direção de que: por um lado, se procurasse o aumento da probabilidade da sobrevivência da Humanidade (caso ocorresse algum tipo de fenómeno devastador na

Terra); e, por outro, de que se concretizassem os próximos passos da exploração espacial ao nível humano, motivados pelo sentido da descoberta e da aventura.

Neste sentido, como veremos mais adiante, existem já, hoje em dia, ideias, projetos, intenções e/ou planos concretos (sendo uns mais concretos do que outros) para este objetivo, como, por exemplo, para se operar uma estação espacial lunar ou até, mesmo, estabelecer-se uma colónia ou algum tipo de sistema industrial, científico e/ou exploratório na própria superfície da Lua ou, ainda, em Marte, visto ambos estes astros serem os mais próximos e semelhantes ao “nosso” ao nível da oferta das condições propícias à vida.

Perante a concretização deste cenário futuro apresentado, que envolvesse a implementação de algum empreendimento dos tipos descritos — projeto este, acredita-se, incerto e, muito possivelmente, de grande complexidade —, pressupõe-se que fosse necessário o sustento logístico do mesmo, contribuindo este, *inclusive*, idealmente, para a prosperidade do mesmo, constatando-se, assim, a relevância da área da Logística Espacial, em geral.

E foi, precisamente, neste campo e contexto que se inseriu o objeto da investigação apresentada neste documento, com os Objetivos e Metodologias descritos, em seguida.

1.2. Objetivos e Metodologias

No sentido da Motivação e Contextualização explicitadas no subcapítulo anterior, para o alcance dos objetivos da presente dissertação (também apresentados neste subcapítulo), foram utilizadas algumas Metodologias, tendo a primeira das quais consistido na realização de uma Revisão da Literatura, em que se procurou pesquisar, consultar e investigar os documentos, fontes e trabalhos já desenvolvidos na área e pertinentes para o âmbito desta dissertação, que possibilitassem a compreensão do panorama atual e previsto para o futuro (relativamente) próximo (sendo os projetos da indústria estudada, habitualmente, caracterizados por durações longas, devido à sua complexidade e necessidade de inovação científica) — acompanhado dos respetivos avanços tecnológicos — da indústria espacial, assim como a obtenção do conhecimento sobre as especificidades e a apuração dos dados concretos que possibilitassem, tanto a formulação de um Estudo de Caso útil e pertinente, enquadrado no contexto descrito, e que permitisse a concretização do objetivo pretendido através da realização do trabalho de investigação apresentado neste documento — da averiguação da exequibilidade do suporte logístico à possibilidade da Humanidade se tornar (um dia) uma espécie multiplanetária (e, talvez, até, mais tarde, habitar novos mundos e planetas para além do Sistema Solar), aumentando-se a probabilidade da sobrevivência e prosperidade da nossa civilização —, quanto alguma proposta de solução para o mesmo. Ainda quanto à realização desta Revisão da Literatura, inicialmente, pensou-se existir, provavelmente, uma lacuna no âmbito da mesma, caracterizada pela falta de informação e de estudos no campo abordado, sendo este de difícil alcance empírico, no entanto (e como poderemos observar no Capítulo 2 deste trabalho), foi possível encontrar-se os estudos e a

informação necessários, considerando-se, apenas, que não se deva deixar de ter em conta que o presente trabalho aborda um objeto de estudo num cenário futuro e, portanto, ainda não concretizado, não real, ou seja, cuja idealização acarretaria a incerteza devida à ausência da possibilidade de determinados testes reais prévios à implementação do cenário idealizado neste trabalho, tendo sido, pela mesma razão, muitos dos estudos analisados realizados com base em experiências em contextos de simulação (por exemplo: de condições marcianas, ou, em simulantes de solo marciano).

Em seguida, foi, então, formulado o mencionado Estudo de Caso. E as restantes metodologias utilizadas, ferramentas selecionadas e decorrente trabalho desenvolvido (descritos, em seguida) basearam-se na aplicação dos conceitos, conhecimentos e competências obtidos ao longo das unidades curriculares frequentadas durante o presente ciclo de estudos, em particular, relativos às áreas de sistemas e da logística.

Com base na revisão da literatura elaborada e no estudo de caso definido, realizou-se, então, em seguida, uma atividade de Simulação, através do *software* Vensim — apropriado a modelações baseadas na Dinâmica de Sistemas —, acreditando-se na utilidade e pertinência da utilização desta ferramenta para que fosse possível calcular, prever e aferir as necessidades logísticas às quais a cadeia de abastecimento proposta pela investigação devesse responder. E, por último, tencionou-se proceder à Análise dos Resultados obtidos com o auxílio da ferramenta Numbers/Excel, através dos cenários de solução propostos nesta investigação através do passo anterior mencionado, a fim de que, por meio da totalidade das metodologias utilizadas, fosse possível realizar-se a validação pretendida quanto ao alcance dos objetivos desta investigação — de se gerar alguma informação elucidativa relativa à identificação das necessidades, obstáculos, requisitos, entre outros, inerentes à possibilidade (tecnológica e financeira) da concretização do abastecimento de empreendimentos no Espaço que estendessem a presença dos seres humanos ao mesmo.

1.2.1. Perguntas de Investigação

Assim, foram formuladas as questões apresentadas, em seguida, tendo as mesmas dirigido a presente investigação, que procurou, como o seu rumo, a resposta às mesmas:

- 1) Seria possível, financeira e tecnologicamente, em teoria, o suporte logístico terrestre à expansão da indústria e exploração espaciais, ao nível humano, para novos locais além do Planeta Terra?
- 2) Quais seriam as implicações desta expansão ao nível agrícola, assim como a utilidade da dinâmica de sistemas para a averiguação das necessidades deste tipo de contexto?

1.3. Organização da Dissertação

O trabalho realizado encontra-se, então, apresentado ao longo do presente documento de acordo com a seguinte estrutura:

Após a descrição, neste Capítulo 1, da Motivação, Contextualização e Objetivos da investigação levada a cabo, assim como das Metodologias utilizadas para estes e Perguntas de Investigação diretivas para a mesma, poderemos encontrar a Revisão da Literatura (já mencionada), no Capítulo 2 deste documento. Esta passou pela abordagem dos temas (segundo a ordem descrita, em seguida) do porquê da Exploração Espacial, a evolução e o estado atual e futuro da mesma e respetiva Indústria, assim como da Logística, abordada, em especial, no âmbito do setor desta investigação (espacial). A estes acresceram-se, também, a caracterização do Planeta Marte — relativa a, entre outros, a superfície, solo, ou, condições atmosféricas deste — juntamente com conceitos para a sua colonização, a partir dos quais se identificou a importância em se assegurar, especificamente, a Alimentação dos astronautas (entre outras necessidades básicas, cujo suporte seria, igualmente, essencial) e, como tal, da Agricultura para a provisão desta necessidade (de alimentação), devido à unicidade essencial da oferta da mesma, investigando-se, então, também, este tema, tanto na Terra como a partir de estudos e experiências relacionados com esta no contexto espacial. Tendo-se, por fim, neste capítulo, investigado os temas da Simulação e Dinâmica de Sistemas, assim como ferramentas dedicadas a este propósito, nomeadamente, o *software* Vensim.

Seguidamente, no Capítulo 3, apresenta-se o Estudo de Caso definido pela investigação, que consistiu, então, mais concretamente, na idealização do suporte logístico terrestre à sobrevivência e à prosperidade do setor agrícola de uma colónia humana em Marte, ou seja, conseqüentemente, também à sobrevivência e prosperidade da mesma. Ainda, neste capítulo, foram identificados os Problemas/Desafios que se considerou que estariam implicados perante a concretização deste objeto de estudo, assim como descrita, também, uma reflexão sobre quais seriam as Causas-Raiz desses problemas. E com o objetivo de se lhes procurar resposta, são propostos três cenários para tal, no Capítulo 4, de base comum — sendo esta a simulação de um empreendimento do tipo pretendido, cuja Duração, Localização (em Marte) e Arquitetura são descritas, também, no mesmo capítulo — e calculadas as necessidades tecnológicas e financeiras implicadas pelo que seria a provisão de cada um dos cenários apresentados do abastecimento necessário ao suporte e à prosperidade da atividade agrícola da colónia humana em Marte que dependeria do empreendimento idealizado, juntamente com os Prós e Contras identificados, também, para cada um dos mesmos.

Tendo-se averiguado a informação específica quanto a prazos, custos e capacidade de carga necessária, procedeu-se, então, no Capítulo 5, a uma Análise dos Resultados do trabalho desenvolvido, efetuada com o objetivo de se entender qual o nível de viabilidade, aparentemente, oferecido pelas soluções propostas. E, perante esta análise, juntamente com a reflexão conclusiva de toda a presente investigação, procurou-se, no Capítulo 6, descrever qual seria o possível contributo da mesma no âmbito das

preocupações e soluções que se acredita que o panorama vindouro da Logística, Exploração e Indústria Espaciais apresentará, no contexto da colonização espacial humana e do papel da Agricultura para a mesma.

2. Revisão da literatura

Como descrito, neste capítulo, apresenta-se a base literária da realização da presente investigação, elaborada a partir das fontes, documentos, trabalhos e estudos consultados, que possibilitaram a compreensão dos aspetos necessários ao alcance dos objetivos pretendidos, tendo-se passado pelos temas do Setor Espacial (no subcapítulo 2.1), Agricultura (no subcapítulo 2.2) e Simulação Computacional (no subcapítulo 2.3).

2.1. Setor Espacial

Neste subcapítulo, começou-se por entender o “porquê” da exploração e da colonização espaciais (no subcapítulo 2.1.1), assim como o que foi feito até ao momento juntamente com o estado atual deste setor (no subcapítulo 2.1.2), o que se espera para o futuro do mesmo (no subcapítulo 2.1.3), e, por fim, as implicações logísticas — assim como o entendimento da área da Logística, no geral — próprias e específicas do setor espacial (no subcapítulo 2.1.4).

2.1.1. Exploração e Colonização Espaciais

“É norma da natureza humana procurar mais, saber mais e aprender mais” (T.L. - “*It is the norm of human nature to seek more, to know more and to learn more*”, Manal *et al.*, 2022, p.19). “A exploração está profundamente associada ao próprio significado de ser humano” (“*Exploration is deeply attached to the very meaning of being human*”, Pombo, 2021, p.1). Esta ideia é defendida, atualmente, por vários autores (Petranek, 2015; Mukundan *et al.*, 2023;), que associam, inclusivamente, a pretensão humana da exploração e colonização espaciais a alturas e feitos, ao longo da História, como os Descobrimientos, a exploração de montanhas, a migração de África para novas terras, assim como a “conquista do *Far West* americano” (Paiva, 2016, p.77), assim como salientam a necessidade ou “dever” (Manal *et al.*, 2022, p.19) da mesma.

Acredita-se na necessidade de expansão da Humanidade para outros astros além da Terra como forma de garantir a nossa sobrevivência enquanto espécie no caso de alguma situação que pudesse levar à nossa extinção, aqui, na mesma, tal como: a ocorrência de algum fenómeno natural (como a erupção de um super-vulcão), a consequência de alguma forma de utilização de determinadas tecnologias humanas, o impacto ambiental da atividade e forma de fazer negócios também humanas (como a erosão de solos, ou, a destruição de recifes de corais que filtram o carbono, entre muitos outros exemplos), a reversão geomagnética (Plotnick, 1980), o impacto da colisão de asteróides ou cometas com a Terra ou de outras ameaças cósmicas, a propagação de alguma pandemia incapacitante ou mortífera, alguma guerra (Gledistch, 1997) de consequências catastróficas também a nível global (como uma guerra nuclear),

incluindo guerras bioquímicas, etc.. (Suresh *et al.*, 2017) (Guinan *et al.*, 2020; Zirnov *et al.*, 2022; Petranek, 2015 & Musk *in* Petranek, 2015)

Como tal, Wamelink *et al.* (2019, p.509, T.L. - “*more realistic*”; “*Several countries and private companies*”) defendem que a colonização (permanente) humana de Marte ou da Lua tem-se tornado um cenário cada vez “mais realista”, com “vários países e empresas privadas” a prepararem-se para este objetivo. Estabelecermo-nos como uma sociedade interplanetária (ou mesmo, no futuro, noutros sistemas solares, (Petranek, 2015), tendo já sido descobertos exoplanetas, primeiramente, “pelos suíços Michel Mayor e Didier Queloz, da Universidade de Genebra, (...) [tendo a descoberta sido publicada] em outubro de 1995, (...) [e o planeta sido] designado por 51 Peg b” (Paiva, 2016, p.25), e, muitos outros através da utilização de telescópios espaciais, “livres das perturbações originadas pela atmosfera terrestre”, como o Kepler e o Hubble (Paiva, 2016, p.23)), como defende Elon Musk (Vance, 2016; Wall & Howell, 2022), é, segundo Larry Page (Vance, 2016, p.373), um plano convincente, “só porque, de outra forma, poderemos morrer todos, o que me parece que seria uma tristeza, por diversas razões. Acho que é um projeto muito exequível e os recursos necessários para estabelecer um colonato humano permanente em Marte são relativamente modestos”.

“Embora não possamos estar mais agradecidos por tudo o que a Terra nos deu [e dá], a população humana precisa de crescer para que a Terra não seja o único sítio onde as pessoas possam viver.” (Mukundan *et al.*, 2023, p.1, T.L. - “*Even though we cannot be more thankful for all that Earth has given us, the human population needs to grow so that Earth is not the only place where people can live.*”)

2.1.2. Cenário Espacial Atual

Apresenta-se, em seguida, a contextualização do cenário espacial atual e passado, com base em Agências, Missões (em órbita da Terra e para lá desta), assim como Empresas Privadas e Veículos Espaciais relevantes ao contexto desta dissertação.

2.1.2.1. Agências

Atualmente, existem várias agências pelo mundo dedicadas a projetos espaciais — como a JAXA (japonesa), a CNSA (chinesa), a ISRO (indiana), a CSA (canadiana), a UAESA (emiradense), a UK Space Agency, a ASI (italiana), ou, mesmo, a Agência Espacial Portuguesa — tendo sido as seguintes 3, provavelmente, as que tiveram mais impacto no setor da exploração espacial, sendo, como podemos observar, todas estas, tipicamente, de carácter nacional ou regional:

- a NASA: cuja razão para o seu sucesso tem sido, segundo Manuel Paiva (2016), a capacidade de inovação e de liderança dos E.U.A. no setor espacial;

- a Roscosmos: cujos documentos publicados pela mesma encontram-se escritos na língua Russa (Pombo, 2021);
- e a ESA: dedicada à exploração pacífica do Espaço “para o benefício da Humanidade”, tendo sido estabelecida em 1975, contando, atualmente, com 22 Estados-Membros (ESA, 2022, s.p., T.L. - “*for the benefit of humankind*”). Segundo Paiva (2016, pp.17-18), a sua criação “foi o acontecimento principal para o desenvolvimento da exploração e da utilização do espaço pelos europeus (...) [tendo nascido] com a aprovação, em Bruxelas, da versão final do acordo que levou à fusão de duas organizações: a ELDO (European Launcher Development Organisation), que se dedicava à construção de lançadores, e a ESRO (European Space Research Organisation), dedicada à investigação espacial”. Os “membros que a constituem (...) participam no seu orçamento com uma contribuição obrigatória proporcional ao produto interno bruto do respetivo país e uma contribuição opcional que dá acesso aos diferentes programas, dos quais o chamado Programa Científico é obrigatório” (Paiva, 2016, p.43). E “Portugal aderiu à ESA em 2000 (14 de novembro), tornando-se o seu 15º membro”, tendo uma participação de “cerca de 20 milhões de euros por ano, o que representa aproximadamente 0,5% do orçamento” desta entidade (Paiva, 2016, p.43), de “cerca de 4 mil milhões de euros” (Paiva, 2016, p.70). Segundo, ainda, o mesmo autor (Paiva, 2016, p.16), a “investigação espacial realizada em Portugal tem um nível muito aceitável, se levarmos em conta a dimensão do país”.

2.1.2.2. Missões

“Uma das características da maior parte dos projetos espaciais é o tempo que decorre entre a sua conceção e a respetiva realização.” (Paiva, 2016, p.20) Vejamos em que consistiram, principalmente, no geral, as missões e projetos da indústria espacial até à atualidade.

Satélites

Os satélites têm sido uma das principais utilidades do setor espacial e, também, fonte de rendimento do mesmo, tendo, a 7 de Novembro de 2022, sido lançados 14450, segundo Pultarova *et al.* (2022), encontrando-se, destes, 6800 ativos (ESA, s.d.). Permitindo estes o desenvolvimento da nossa civilização, lança-se satélites com vários propósitos, como a monitorização da Terra, a exploração espacial ou o aumento da conectividade à superfície do nosso planeta, inclusivamente, estando a ser desenvolvidos novos sistemas de comunicação baseados em constelações compostas por um grande número deste tipo de objeto (Palun & Lascombes, 2022).

Estações em Órbita da Terra

“No início do século XX, assim que os cientistas se aperceberam de que viajar no Espaço seria uma possibilidade real, começaram a planear uma plataforma permanente em órbita que fosse utilizada para observar a Terra e estudar o Espaço e que servisse como local de construção e ponto de re-abastecimento de naves espaciais com destino à

Lua e a outros planetas”. (Roger Launius, 2003, Von Braun/Bonestell, 1952, s.a., 1968, NASA, s.d. & BOEING, s.d. in Tate, 2021, s.p., T.L. - “*In the early 20th century, as soon as scientists realized that traveling in space was a practical possibility, they began planning a permanent platform in orbit to use for observing the Earth, studying space, and as a construction site and refueling stop for spaceships bound for the Moon and planets.*”) Assim, foram surgindo os seguintes projetos:

Salyut 1

A Salyut 1, com 20 metros de comprimento e 4 de diâmetro, foi a primeira Estação Espacial a existir, lançada pela União Soviética, em 1971, com 3 compartimentos pressurizados (para astronautas) e um não-pressurizado com motores e equipamento de controlo, tendo a mesma estado no Espaço durante 175 dias, passando por rigorosos desafios. (Tillman, 2012)

Estação Espacial Mir

À Salyut 1 seguiram-se vários projetos até os Soviéticos considerarem ser tempo de um projeto mais duradouro, tendo lançado, em 1986, as primeiras componentes da Estação Espacial Mir (que pode ser vista na Figura 2), modular, com 19 metros de comprimento mas 31 de largura, pesando a mesma 129700 kg, que orbitou a Terra, em LEO, mais de 86000 vezes, durante 15 anos, permanecendo 80% destes habitada, com capacidade para 3 astronautas e visitantes ocasionais. Esta estação incluía dois módulos dedicados à Astronomia e outra investigação, um para fabricação em ambiente de microgravidade, e, outro para trabalho relacionado com a Terra, tendo também servido, assim como os projetos Salyut, para se testar os efeitos e possibilidades da estadia humana longa no Espaço, tendo alguns membros da tripulação permanecido nesta estação durante mais de 400 dias. E em 1993, a NASA e a Rússia acordaram entrar em parceria, a partir da qual a Rússia beneficiaria financeiramente, o que lhe permitiria continuar o seu programa espacial, enquanto a Estação Mir receberia astronautas americanos, durante vários meses, entre 1994 e 1998, ano em que terminou o programa, devido a já não ser considerado seguro manter astronautas a bordo da Estação, tendo a mesma sido despenhada no Oceano Pacífico, em 2001. Os ensinamentos proporcionados por esta Estação são ainda tidos em conta, atualmente, pela Rússia, a NASA e parceiros. (Tillman, 2012; Howell, 2013)



Figura 2 - A Estação Espacial Mir e a Terra, em 1998, observados pelo Orbitador Endeavour. (NASA in Howell, 2013, s.p.)

Estação Espacial Internacional

Por sua vez, “a Estação Espacial Internacional (EEI) é um projeto de construção multinacional e a maior estrutura já colocada no Espaço pela Humanidade” (Howell, 2023, s.p., T.L. - “The International Space Station (ISS) is a multi-nation construction project that is the largest single structure humans ever put into space”) para a qual a Estação Mir serviu de precursora (Howell, 2013). Orbitando a uma altitude de 400km (Dutfield & Stein, 2022), “a EEI é um laboratório orbital” que “já hospedou mais de 250 pessoas [de 20 países, das quais 158 dos E.U.A. e 54 da Rússia,] desde 1998”, tendo-se mantido “continuamente ocupada desde (...) 2000” (Howell, 2023, s.p., T.L. - “The ISS is an orbital laboratory”; “has hosted more than 250 people since 1998”; “It has been continuously occupied since (...) 2000”) (Howell, 2023, s.p.). Com cerca de 72 metros de comprimento e 108 de largura (Tillman, 2012), pode considerar-se que foi completada em 2011, apesar de ir evoluindo, continuamente, de modo a acomodar novas missões e experiências (Howell, 2023), ou, devido a manutenção, como com a recente substituição de uma bateria e painéis solares na mesma (Howell, 2021b), sendo as missões e tripulação da EEI controladas e assistidas por centros em Houston, Moscovo, Huntsville (no Alabama), Japão, Canadá e Europa (Howell, 2023). A NASA gasta, anualmente, cerca de 3 mil milhões de dólares para operar a EEI, que inclui contribuições de 15 nações, sendo a investigação levada a cabo a bordo alocada consoante a contribuição (financeira ou na forma de outros recursos, como, por exemplo, módulos) das agências (Howell, 2023). A EEI (que podemos visualizar na Figura 3) conta, também, especificamente, com um módulo-laboratório para a realização de experiências e estudos chamado Destiny, com cerca de 8,5 metros de comprimento, 4,25 de diâmetro e uma massa de 14514,95kg (Dunbar, 2018), assim como um custo total de “à roda de 100 mil milhões de euros” (Paiva, 2016, p.70).



Figura 3 - A Estação Espacial Internacional (EEI).
(NASA in Howell, 2023, s.p.)

Para Lá da Órbita da Terra

Lua

Ainda antes do lançamento das Estações mencionadas, entre 1959 e 1966 a NASA realizou os Programas Mercúrio (1959-1963) e Gémeos (1962-1966), procurando entender se o ser humano conseguiria sobreviver e trabalhar no Espaço, como base preparativa das Missões Apolo (Mann, 2020).

O Programa Apolo, que decorreu nas décadas de 1960 e 70, foi o projeto da NASA, incentivado pelo Presidente dos E.U.A. John F. Kennedy, cujo objetivo foi levar o Homem até à Lua, tendo a Missão Apolo 11 e respetivos astronautas Neil Armstrong, Buzz Aldrin e Michael Collins, a 20 de Julho de 1969, concretizado este feito, pela primeira vez na História, com o último destes homens a proferir as palavras *“um pequeno passo para um homem, um salto gigante para a Humanidade”*, permanecendo os astronautas na superfície da Lua durante 21 horas e 36 minutos. (Michael Collins não desceu à superfície, encontrando-se durante a totalidade da missão no módulo de comando.) (Mann, 2020, s.p., T.L. - *“that's one small step for [a] man, one giant leap for mankind”*)

O Programa Apolo decorreu com diversas missões, incluindo-se o desastre da missão Apolo 1 e a missão Apolo 8, de “apenas” órbita da Lua, em 1968, em que a sua tripulação, na Véspera de Natal do mesmo ano, tirou a fotografia que se encontra na Figura 4, que ficou conhecida como o “Nascer da Terra”, assim como a realização de trabalho geológico na Lua e lançamentos nos foguetões Saturn I e o seu sucessor Saturn V, viajando os astronautas num espaço equivalente ao do interior de um carro, durante cerca de uma semana, (Mann, 2020, s.p., T.L. - *“Earthrise”*) tendo, até 1972, seis missões transportado 12 astronautas até à superfície da Lua (Mann & Harvey, 2022).



Figura 4 - A fotografia “icónica” do “Nascer da Terra”, capturada pelo astronauta Bill Anders, a 24 de Dezembro de 1968. (NASA in Wall, 2022, s.p.)

Segundo Elon Musk, a ida do Homem à Lua estará no topo da lista das melhores coisas que aconteceram no século XX para a maioria das pessoas. (Petranek, 2015)

Segundo a NASA, o Programa Apolo custou o equivalente, hoje em dia, a 136 mil milhões de dólares, ou seja, cerca de 22,6 mil milhões por cada alunagem (Mann & Harvey, 2022), e contou com o trabalho de cerca de 500 mil pessoas nos E.U.A. (Mann, 2020). A Agência Espacial pretendeu repetir o feito, inicialmente, com os Programas Space Exploration Initiative (SEI, de 1989 a 1992) e Constelação (de 2005 a 2010) (Shishko *et al.*, 2015) no entanto, desde 1972 (há mais de 51 anos), a Humanidade não voltou, fisicamente, à Lua, nem foi até qualquer outro lugar mais longe, no Espaço (Charront *et al.*, 2015). Apesar do orçamento ter sido “drasticamente reduzido” (Grimard, 2012 *in* Pombo, 2021, p.1, T.L. - “*drastically reduced*”), ainda segundo Charront *et al.* (2015), várias agências continuaram a desenvolver esforços e capacidades no campo da exploração espacial humana, tendo, recentemente, a 23 de Agosto de 2023, a Índia sido a quarta nação (após, também, a Antiga União Soviética e a China) a conseguir uma alunagem, e a primeira junto ao pólo Sul deste astro (Kuthunur, 2023).

Marte

E sendo o quarto planeta a contar do Sol (e, portanto, “próximo” da Terra), avistado há milénios desde o nosso planeta, tendo sido a primeira pessoa, que se saiba, a avistá-lo através de um telescópio Galileu Galilei (Suresh *et al.*, 2017), após a ida do Homem à Lua defendeu-se a ida do mesmo também a Marte. Wernher von Braun, o engenheiro (alemão) e criador do foguetão Saturn V (que levou os astronautas ao satélite natural da Terra) escreveu, inclusivamente, “O Projeto Marte” (“*The Mars Project [Das Marsprojekt]*”) — considerado “o manual de viagens ao Espaço mais influente alguma vez escrito”, com 91 páginas, que “nunca se tornou obsoleto” até ao presente milénio — em que descreveu um plano para a construção de uma estação espacial em órbita da Terra onde se construiriam dez naves que transportariam astronautas até ao planeta vermelho, tendo mesmo descrito várias questões e pormenores necessários a esta missão, tais como a quantidade de oxigénio, água potável (juntamente com a reciclagem desta e do vapor de água a bordo) e comida que seria necessária por pessoa, assim como o peso que os foguetões teriam de volta à Terra, questões psicológicas e relativas à situação de imponderabilidade. (Petranek, 2015, p.8, T.L. - “*the most influential manual on space travel ever written. It has never become obsolete*”) No entanto, apareceu, na mesma altura, a proposta de investimento num vaivém espacial, que era do interesse das agências militares e de inteligência dos E.U.A. (permitindo o lançamento e reparação de satélites de espionagem), tendo o Presidente deste país, Richard Nixon, optado por que se seguisse este projeto, em vez de qualquer tentativa de realização de viagens humanas a Marte, definindo, assim, as 5 décadas seguintes da história desta indústria, inclusivamente, condenando as viagens interplanetárias humanas, acabando com o próprio foguetão Saturn V. (Big Think, 2023; Petranek, 2015)

Também (acredita-se) devido a esta decisão, não existe, hoje em dia, uma base humana em Marte, mesmo considerando-se que a capacidade tecnológica para alcançar este planeta através da presença humana exista, pelo menos, há cerca de 40 anos (Petranek, 2015). E, mesmo não tendo sido postas em prática, foram existindo, ao longo do tempo, outras propostas detalhadas para a concretização deste objetivo além da de von Braun,

como a de Robert Zubrin (fundador da Sociedade de Marte, nascida em 1998), a que deu o nome de “Mars Direct”, e, mais tarde (também em 1998), o livro, do mesmo autor, “The Case for Mars” (Petranek, 2015), defendendo-se que “tinha de ter havido um plano para o que se seguiria às missões Apollo” (Petranek, 2015, p.13, T.L. - “*There had to be a plan for what would come after Apollo*”), assim como a intenção de outros políticos que, por exemplo, em 1989, afirmaram que se regressaria à Lua em 2005 e iria a Marte em 2015 (plano que foi abandonado devido ao elevado orçamento que requereria, “de várias centenas de milhares de milhões de dólares”) (Paiva, 2016, p.70). E não obstante não existir, hoje em dia, uma base humana permanente em Marte, nas últimas décadas, sucederam-se várias missões robóticas ao planeta vermelho, que permitem a averiguação e a preparação da possibilidade da presença e vida humanas no mesmo (Manal *et al.*, 2022; Suresh *et al.*, 2017; Pombo, 2021):

Entre 1960 e 1962, a União Soviética enviou 5 missões para Marte, sem que nenhuma destas tivesse sucesso (NeoScribe, 2019), até que o módulo de pouso Mars 2, também soviético, tivesse colidido com a superfície marciana, sendo o primeiro objeto a alcançá-la, em Novembro de 1971 (Petranek, 2015). Mas, antes, em 1964, a NASA voltou a enviar a sonda Mariner 3, também sem sucesso, e, após apenas 3 semanas, a Mariner 4, que foi a primeira missão a Marte realizada com sucesso — tendo sido uma missão *flyby*, passando o veículo pelo planeta vermelho a 14 de Julho de 1965 e tirando 22 fotografias ao mesmo, que foram as primeiras fotografias capturadas em espaço sideral e enviadas de volta para a Terra, e que revelaram uma atmosfera muito mais fina (praticamente não-existente) do que se tinha imaginado, não tendo sido o campo magnético e cinturões de radiação do planeta detetados, assim como nem água à sua superfície. (NeoScribe, 2019; Petranek, 2015) Após o lançamento do Mars 2, o Mars 3 aterrou com sucesso em Marte, no entanto, deixando de transmitir sinais após 20 segundos, o Mars 4 falhou por completo o seu alvo (planeta), a sonda Mars 5 — a soviética mais bem sucedida — foi inserida em órbita elíptica em Marte, em Fevereiro de 1974, transmitindo cerca de 6 fotografias em 22 órbitas, falhando, em seguida (acredita-se, por ter sido atingida por um micrometeoróide (NeoScribe, 2019)), a Mars 6, que alcançou o planeta lançando um módulo de pouso que colidiu com a superfície deste, e, a Mars 7, que alcançou, igualmente com sucesso, o planeta marciano, no entanto, tendo lançado o seu módulo de pouso 4 horas antes do suposto, o que resultou na falha do mesmo em atingir o seu destino pretendido (Petranek, 2015). Dois dias após o último lançamento da NASA referido, a União Soviética lançou, novamente sem sucesso, a missão Zond 2 (NeoScribe, 2019), enquanto a NASA lançou, em 1969, as missões Mariner 6 & 7 (JPL, 2015) — duas novas missões *flyby*, bem sucedidas, que permitiram descobrir que a atmosfera marciana é composta sobretudo por dióxido de carbono e que fotografaram cerca de 20% da superfície de todo o planeta, assim como vestígios de água à sua superfície (NeoScribe, 2019). Foram lançadas mais duas missões a Marte pela União Soviética — Mars 2M N° 522, em 1969, e Kosmos 419, em 1971 — ambas, novamente, sem sucesso. No entanto, no mesmo ano, de 1971, em Maio, o mesmo Estado lançou mais 2 missões, gémeas, Mars 2 & 3, ambas compostas por um veículo orbitador e um módulo de pouso, e, apesar dos *landers* (módulos de pouso) terem falhado, os dois veículos orbitadores conseguiram transmitir 60 imagens

no total, medir temperaturas marcianas à superfície — de entre -110 e 13 ° Celsius — e descobrir montanhas com até 22km de altura. Até hoje, provavelmente, ambos os veículos se mantêm em órbita em Marte (NeoScribe, 2019). Os Mariner 8 & 9 foram enviados no mesmo ano, embora o 8 não tenha tido sucesso, tendo o 9, apesar de ter sido lançado 11 dias após as duas missões soviéticas também de 1971, chegando primeiro ao seu destino, tornando-se no “primeiro veículo espacial a orbitar outro planeta” e transmitido mais de 7000 imagens, respetivas a 85% da superfície de Marte (NeoScribe, 2019, s.p., T.L. - “*the first spacecraft to orbit another planet*”). Finalmente, em 1976 (JPL, 2015), as missões idênticas Viking 1 & 2, lançadas em 1975, ambas consistindo num veículo orbitador e num módulo de pouso, resultaram no “primeiro veículo espacial a pousar com segurança no planeta” Marte, tendo obtido grande sucesso e transmitido a primeira fotografia panorâmica da superfície marciana, registado dados sobre o clima deste planeta, assim como catalogado, de forma precisa, o solo do mesmo (constituído, “principlamente, por argila rica em ferro”), além de realizado experiências destinadas à descoberta de micro-organismos no solo, sem os terem encontrado. (Petranek, 2015, p.43, T.L. - “*the first spacecraft to land safely on the planet*”; NeoScribe, 2019, s.p., T.L. - “*largely, of iron-rich clay*”)

Em 1988 — tendo, até então, as missões destinadas a Marte sido 18, das quais apenas 2 obtido sucesso —, a União Soviética enviou as missões Phobos 1 & 2, conseguindo a segunda destas transmitir 37 imagens da lua Fobos — uma das duas luas do planeta Marte (NeoScribe, 2019). E, em 1992, a NASA lançou o orbitador Mars Observer tendo, no entanto, perdido a comunicação com o mesmo (NeoScribe, 2019). Em 1996 (JPL, 2015), lançado em Novembro, com o objetivo de mapear Marte, o orbitador Mars Global Surveyor fez descobertas durante 10 anos, como a da existência de fluxos de lava e de ravinas em Marte (NeoScribe, 2019). No mesmo mês (também de 1996), a Roscosmos lançou a sua missão denominada Mars 96, não tendo a mesma conseguido sair da órbita terrestre (NeoScribe, 2019; Petranek, 2015). Ainda em dezembro do mesmo ano, a NASA lançou o *lander* Pathfinder (JPL, 2015) — que transmitiu mais de 16000 mil imagens e realizou mais de 8 milhões de medições da pressão atmosférica, temperatura e velocidade do vento marcianos —, assim como o robô (*rover*) Sojourner, que foi “o primeiro veículo com rodas a ser utilizado noutra planeta”, e que registou dados relativos ao terreno de Marte e capturou e transmitiu mais de 17000 imagens (NeoScribe, 2019, s.p., T.L.- “*the first wheeled vehicle to be used on another planet*”; Suresh *et al.*, 2017). Em 1998, deu-se a primeira missão japonesa destinada a Marte, com o orbitador Nozomi que, infelizmente, ficou sem combustível antes da sua chegada ao planeta (NeoScribe, 2019). Seguidamente, entre 1998 e 1999, a NASA lançou o orbitador Mars Climate, o *lander* Mars Polar, assim como a sonda Deep Space 2, mas, todas as três missões falharam. No entanto, em 2001, a NASA enviou o orbitador Mars Odyssey, que “revelou vastas quantidades de gelo de água, nas regiões polares, enterradas [cerca de 1 metro] abaixo da superfície [permanecendo a dúvida se também existirá água mais abaixo, visto que a sonda não tinha capacidade para mais alcance] (...) [e] também registou o ambiente de radiação, descobrindo o risco para futuros exploradores humanos (NeoScribe, 2019, s.p., T.L.- “*reveled vast amounts of water ice, in the Polar regions, buried beneath the surface (...)* [and] “*also recorded the radiation*

environment, uncovering the risk to future human explorers”; Suresh *et al.*, 2017). No Verão de 2003, a ESA lançou a sua primeira missão planetária, através do orbitador Mars Express e do *lander* Beagle 2, e, enquanto o primeiro fez várias descobertas, especialmente dedicadas à compreensão da história do planeta marciano através do mapeamento mineral deste e de que existem “evidências de que Marte teve longos períodos de água corrente”, o segundo ficou sem comunicação após aterrar (NeoScribe, 2019, s.p., T.L.- “*evidence of Mars having long periods of flowing water*”). Ainda no mesmo Verão (de 2003), a NASA lançou (destinadas a explorar diferentes regiões de Marte, na janela em que este planeta e a Terra estiveram mais próximos em 60 mil anos (Suresh *et al.*, 2017)) dois outros *rovers*, gémeos — Spirit e Opportunity — que estiveram operacionais 6 e quase 15 anos, respetivamente, apesar de a missão ter sido planeada para 3 meses. Estes robôs descobriram que Marte já teve ambientes habitáveis no passado, contendo “água, temperaturas quentes e [uma] atmosfera mais espessa comparativamente com hoje” (NeoScribe, 2019, s.p., T.L.- “*containing water, warm temperatures, and thicker atmosphere compared to today*”) tendo percorrido cerca de 10 km e de 42 km, respetivamente, até 2015 (Petranek, 2015). Em 2005, a NASA (2019) lançou também o orbitador Mars Reconnaissance, que mediu o volume de água existente nos pólos de Marte, tendo calculado que este valor estivesse próximo dos 821000 km³. Em 2007, a mesma agência lançou o *lander* Phoenix (que aterrou no seu destino em 2008 (JPL, 2015), destinado à região polar Sul de Marte (NeoScribe, 2019). Este *lander* tinha como objetivos estudar a história da água em Marte, assim como a sua atmosfera e o seu solo, através de instrumentos como um laboratório de química, um microscópio, uma sonda de condutividade e câmeras (NASA, 2019). Além de ter observado neve a cair, o *lander* detetou, também, perclorato, que, na Terra, serve de alimento a alguns micróbios (NeoScribe, 2019), deixando de trabalhar dois meses depois da data planeada para o fim da sua missão, devido a não receber luz solar suficiente para se manter funcional (NASA, 2019). Em 2011, foram lançadas, também da Terra, 3 missões para Marte, não tendo as primeiras — os orbitadores Fobos-Grunt da Roscosmos e Yinghou-1 da CNSA — obtido sucesso (NeoScribe, 2019). A terceira foi o lançamento do *rover* Curiosity, da NASA (NeoScribe, 2019). A 26 de Novembro de 2011, lançado no veículo Atlas V-451, este robô aterrou em Marte, na Cratera Gale, a 5 de Agosto do ano seguinte (ou seja, após cerca de 8 meses e 10 dias), através do sistema EDL (*Entry, Descent, and Landing* — Entrada, Descida e Aterragem) (NeoScribe, 2019). Foi o maior *rover* já enviado para o planeta, tendo-o sido com o objetivo de que se descobrisse se Marte já teve condições capazes de suportar pequenas formas de vida (micróbios) (NeoScribe, 2019). E segundo, também, a NASA (s.d.a, s.p.), “cedo na sua missão, as ferramentas científicas do Curiosity encontraram evidências químicas e minerais de ambientes passados habitáveis em Marte”, detetando oxigénio, nitrogénio, carbono, entre outros ingredientes de formas de vida, tendo sido este o primeiro robô a perfurar o planeta marciano (NeoScribe, 2019, s.p., T.L. - “*Early in its mission, Curiosity's scientific tools found chemical and mineral evidence of past habitable environments on Mars*”). A nível de radiação, também através das medições do Curiosity foi possível verificar que os astronautas em Marte estariam expostos a condições semelhantes às da EEI (NeoScribe, 2019). Em 2013, com o objetivo de demonstração de tecnologia, foi a vez da primeira missão a Marte indiana (da ISRO),

lançar o orbitador Mangalyaan, com sucesso (NeoScribe, 2019), tornando-se a Índia também a quarta entidade a entrar com sucesso na órbita de Marte (Suresh *et al.*, 2017). No mesmo ano (JPL, 2015), a NASA lançou o orbitador MAVEN com o objetivo de perceber como é que Marte foi perdendo a sua atmosfera e a sua água, revelando ser o vento solar a principal causa desta consequência (NeoScribe, 2019). Em Março de 2016, foi lançada uma missão conjunta entre a ESA e a ROSCOSMOS, constituída pelo orbitador Trace Grace e o *lander* Schiaparelli EDM, tendo este último perdido a comunicação durante a aterragem (NeoScribe, 2019). Em 2018, foi lançado o *lander* Insight, pela NASA, concebido para estudar o interior do planeta (NeoScribe, 2019).

E assim, após todas estas missões, o canal NeoScribe (s.p.) defendia, já em 2019, que Marte era o planeta extraterrestre mais estudado até hoje, de longe, referindo que “há muito mais missões de exploração a Marte planeadas para os próximos seis anos, e que envolvem várias nações, incluindo a UE, a Índia, o Japão, a China e os Emirados Árabes Unidos”, prevendo, também, o JPL (2015) a missão Marte 2020 (T.L.- “*there are many more missions to explore Mars planned for the next six years, involving many nations including the EU, India, Japan, China, and the UAE*”). Esta foi concretizada, a 30 de Julho desse mesmo ano, quando o *rover* Perseverance foi enviado para o planeta vermelho, a bordo do veículo espacial Mars 2020, tendo, também, utilizado o sistema EDL. A 18 de Fevereiro de 2021 (ou seja, passados quase 8 meses), o Perseverance aterrou na Cratera Jezero, “onde um dia existiu um lago” (Ken Farley *in* NASA, s.d.b, s.p.). O *rover* explora atualmente a superfície marciana a fim (também) de encontrar bioassinaturas — isto é, sinais de possível vida microbiana passada —, recolher amostras de rochas e de solo marciano, e, fazer alguns testes de preparação para a chegada de seres humanos a Marte (NASA, s.d.b).

Como podemos ver, a exploração a Marte tem sido levada a cabo, essencialmente, pela NASA — que, segundo Paiva (2016, p.70), conta com um orçamento anual de “cerca de 16 mil milhões de euros”, representando este valor “um orçamento superior ao do conjunto de todas as outras agências espaciais” — com algumas intervenções também da ESA, do Japão, da Índia, e, várias tentativas, também, da Rússia(/antiga União Soviética).

A partir dos dados adquiridos ao longo destas últimas décadas, especialmente, devido a estas missões robóticas, podemos, então, fazer a seguinte caracterização de Marte:

No geral, pode considerar-se “um planeta aparentemente sem vida” (Petranek, 2015, p. 3, T.L. - “*a seemingly lifeless planet*”), com cerca de 1 décimo da massa da Terra (Guinan *et al.*, 2020), um ano (uma volta completa em torno do Sol) equivalente a 687 dias na Terra, comparativamente aos 365 na mesma (NASA, s.d.b; Petrovych, 2023; Petranek, 2015), o que torna as estações do planeta vermelho igualmente cerca de duplamente mais duradouras (também, comparativamente às terrestres) e, devido ao facto de ter uma órbita oval, as diferenças entre o seu verão e inverno são mais acentuadas, tendo, também, um dia 39 minutos e 25 segundos mais longo que o terrestre e uma luz solar de apenas 43% a 60% da experienciada no nosso planeta (Guinan *et al.*,

2020; Petranek, 2015). E apesar de ser relativamente similar à Terra — com paisagens que se assemelham, por exemplo, aos desertos dos vulcões havaianos —, o planeta marciano diferencia-se do terrestre através de algumas características que, inclusivamente, podem ser consideradas “extremamente desafiantes” (Manal *et al.*, 2022; Petranek, 2015, p.2, T.L. - “*extremely challenging*”; Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.). Acreditando vários cientistas que Marte teve, há cerca de alguns milhares de milhões de anos, um ambiente mais propício à sustentação de vida, incluindo lagos, um vasto oceano, um clima mais temperado e uma atmosfera mais húmida, apresenta-se, hoje em dia, árido e frígido — com temperaturas extremamente baixas (Morillo *et al.*, 2022, p.34, T.L. - “*extreme low temperatures*”), de, em média, -50° Celsius, uma atmosfera 90 vezes menos densa do que a terrestre, composta por 95% de dióxido de carbono e 2,6% de nitrogénio e sem ozono, permitindo a entrada de elevadas doses de radiação nociva à vida como a conhecemos (Petranek, 2015; Guinan *et al.*, 2020). Romio (2022) refere, ainda, que Marte apresentou uma atividade vulcânica intensa no passado, que não parece estar, atualmente, ativa, enunciando, também, o ambiente atual exposto à radiação ultra-violeta, erupções solares, tempestades de areia e ao impacto de micrometeoritos, referindo a necessidade de proteção destes fenómenos no caso da presença marciana humana no mesmo.

Temperatura

No seu estudo intitulado “Propriedades térmicas da superfície de Marte” (*Thermal properties of the surface of Mars*), Petrovych (2023) refere que a temperatura mínima já registada neste planeta, e à qual, *inclusive*, o dióxido de carbono se encontra condensado, foi de 134 K ($-139,15^{\circ}\text{C}$), na calota polar Norte do planeta e no inverno (enquanto que a mais baixa registada na Terra foi de 191 K ($-82,15^{\circ}\text{C}$), na Antártida), tendo a temperatura máxima registada também no planeta vermelho sido de 310 K ($36,85^{\circ}\text{C}$) e sendo a sua região mais quente o hemisfério Sul, no Verão (Mars Space Flight Facility, s.d.). Foram, também, registadas, perto do Lago Phoenix e nalgumas outras áreas, temperaturas mínimas e máximas diárias de 220-295 K ($-53,15$ e $21,85^{\circ}\text{C}$) no verão e 170-230 K ($-103,15$ e $-43,15^{\circ}\text{C}$) no inverno, sendo, no geral, a temperatura em Marte mais quente nas zonas equatoriais (Mars Space Flight Facility, s.d.) e encontrando-se a parte de Marte em exposição solar a uma temperatura média de 230 K ($-43,15^{\circ}\text{C}$). E, enquanto as areias à superfície da Terra podem variar 25°C no mesmo dia, as marcianas, perto do equador, chegam a variar 100°C (Mars Space Flight Facility, s.d.). O estudo de Petrovych (2023) apresenta, também, mapas da temperatura de Marte, à noite e durante o dia, e diferenciadas por latitudes.

Atividade Tectónica, Vulcões/Montanhas, Superfície, Crateras e Solo/Pedras

Devido à sua atividade vulcânica intensa referida no passado, que terá acontecido, maioritariamente, há cerca de 3-4 mil milhões de anos, podendo ter estado alguns vulcões ativos há cerca de 1-20 milhões de anos, ou, mesmo, 50 mil anos, segundo Vidmachenko (2023), formaram-se, em Marte, grandes montanhas (maiores do que as da Terra devido à menor gravidade existente no planeta, de “apenas” 38% da da Terra, assim como a não-existência no mesmo de placas tectónicas), incluindo-se, mesmo, a

maior montanha/vulcão do Sistema Solar (e que se conheça) — o Monte Olimpo, com 600km de diâmetro e 21km de altura, mais de duas vezes mais alto do que o Monte Everest (Mars Space Flight Facility, s.d.), sendo outras 3 das 4 maiores montanhas/vulcões em Marte Arsyia, Pavonis e Askraeus (Vidmachenko, 2023). Considera-se, ainda, ser possível que a atividade vulcânica em Marte possa não estar, atualmente, extinta, encontrando-se apenas momentaneamente parada, “devendo-se procurar sinais de atividade hidrotérmica no planeta” (Vidmachenko, 2023, s.p., T.L. - “*one should look for signs of hydrothermal activity of the planet*”; Mars Space Flight Facility, s.d.).

Esta atividade acabou por ir criando diversas estruturas pelo planeta — como vulcões, tubos de lava e crateras vulcânicas — dando forma às paisagens que muito o caracterizam, atualmente (Mars Space Flight Facility, s.d.), num ambiente, também, composto por apenas terra, “seca”, assim como, sensivelmente, a mesma área desta do que o planeta azul, pois, por não ter, praticamente, água corrente e líquida (lagos, oceanos e rios), atualmente, à superfície, apesar de Marte ter apenas 28% da superfície da Terra, esta encontra-se coberta por corpos aquosos em 70% (Petranek, 2015). Devido ao facto, também, de a lava ter fluído facilmente pelo solo do planeta marciano no passado, os canais formados por esta (que também existem na Lua), sinuosos, são visíveis estruturas naturais, muitas vezes, vazias, e, com aberturas (chamadas “*skylights*” — “clarabóias”) à superfície (que colapsaram) ou não, como podemos ver na Figura 5, existindo, também, canais formados por água corrente (o que prova a presença passada de água em estado líquido em Marte (Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.), que — acredita-se — existiu em vastas quantidades, sendo possível observar-se dezenas de milhares de vales fluviais na sua paisagem atual, assim como dezenas de redes de canais de fluxo de águas (Figura 6) com dimensões de quilómetros e grandes leitos de antigos lagos (Petranek, 2015)). E, no geral, os canais marcianos conhecidos variam entre poucos metros e dezenas de quilómetros de comprimento e entre 0,5 a 400 metros de largura (Bunnell, 2008 *in* Romio, 2022).



Figura 5 - Tubos de lava do Monte Elísio.

(NASA/JPL-Caltech/Arizona State University *in* Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)

A superfície de Marte contém mais rochas de origem vulcânica do que a Terra, incluindo, especialmente, basalto (Mars Space Flight Facility, s.d.), sendo a maioria destas encontradas no seu Equador lava vulcânica solidificada (apesar de existirem menos vulcões/montanhas nesta mesma região) (Vidmachenko, 2023) e, no entanto, encontrando-se muito mais regiões deste planeta com a superfície coberta por “poeira, areia e sedimentos de grão fino” (Mars Space Flight Facility, s.d., s.p., T.L. - “*dust, sand, and fine-grain sediments*”) e sendo o rególito, também, abundantemente, encontrado em Marte composto, maioritariamente, por “dióxido de silício e óxido de ferro [que dá origem à cor avermelhada de Marte (Vidmachenko, 2023)], com uma quantidade razoável de óxidos de alumínio, de cálcio e de enxofre”, variando, claro, esta composição ao longo das diferentes regiões do planeta (Manal *et al.*, 2022, p.23, T.L. - “*mostly silicon dioxide and ferric oxide, with a fair amount of aluminium oxide, calcium oxide, and sulphur oxide*”).

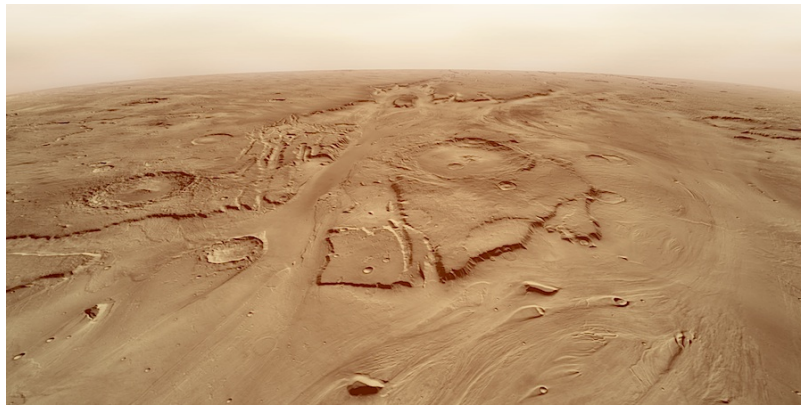


Figura 6 - Canais de fluxo do Vale Kasei, a maior região destes já identificada em Marte, com cerca de 3500 km de comprimento, 400 de largura e 2,5 de profundidade.

(NASA/JPL-Caltech/Arizona State University *in* Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)

Existem, também, várias Crateras — formadas por impactos (considerada, “a característica geológica mais comum neste planeta”, mas, também, em todo o sistema solar) ou muitas, também, de origem vulcânica, tendo a maior destas (localizada na região Elisio) um diâmetro de 200km — à superfície de Marte (mais no seu hemisfério Sul do que Norte), cobrindo, mesmo, quase metade da mesma, existindo, noutras áreas, também, grandes planícies. (Vidmachenko, 2023; Mars Space Flight Facility, s.d., s.p., T.L. - “*the most common geologic feature seen on Mars*”)

Metais e Plásticos, Água, Gelo, Ar/Atmosfera/Vento, Dunas e Possibilidades para a Produção de Combustível e Energia

Em algumas regiões de Marte, especialmente, onde se acredita ter existido atividade hidrotérmica ativa, como em Tharsis e Valles Marineris, ou, também em grandes crateras formadas por impacto, identificou-se a existência de minérios (West & Clarke, 2010, Pirajno, 2005 & Pirajno & Kranendonk, 2005 *in* Romio, 2022). Estes poderiam ser úteis à colonização humana deste planeta, assim como polímeros, que apresentam possíveis aplicações diversas, desde embalagens a elementos de construção (Pazar, 2020

in Romio, 2022, p.4, T.L. - “*from packaging to construction elements*”) ou, mais especificamente e, também, a exemplo, o ETFE, capaz de substituir o vidro (Romio, 2022).

Atualmente, apesar de não existir água líquida a cobrir Marte (acredita-se que devido à sua atmosfera não ser mais densa e aquecida), esta existe noutras formas: (Petranek, 2015; Mars Space Flight Facility, s.d.)

- na de gelo (possivelmente, na quantidade de mais de 4 ou 5 milhões de quilómetros cúbicos), encontrado, principalmente, nas calotas polares marcianas (e, portanto, já avistado, através de telescópio, há séculos, desde a Terra) e, em parte, debaixo do dióxido de carbono congelado nas mesmas, acreditando-se que, se todo o gelo presente no mesmo derretesse, o planeta vermelho poderia ficar coberto por um oceano de 35 ou de algumas centenas de metros de profundidade. Normalmente, devido às condições atmosféricas encontradas no planeta, o gelo existente à superfície marciana (cujo um exemplo podemos visualizar na Figura 7) sublimina-se (exceto nos pólos do planeta, devido às temperaturas, nestes locais, serem mais frias), ou seja, passa diretamente ao estado gasoso (vaporoso), sem passar pelo líquido como acontece na Terra, resultando isto, por vezes, na dessecação dos solos, e, encontrando-se, então, muito do gelo existente debaixo do solo, o que nos leva aos pontos seguintes;

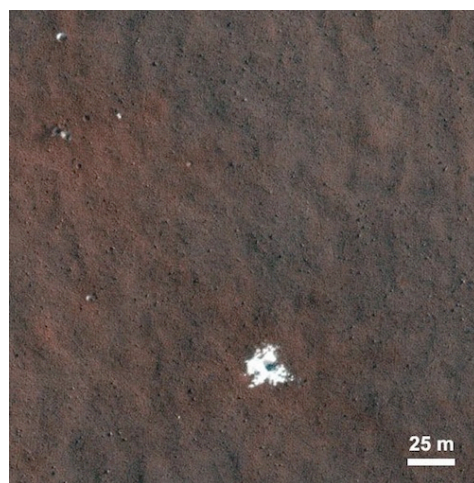


Figura 7 - Cratera marciana com gelo.

(NASA/JPL-Caltech/University of Arizona in Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)

- junto do rególito/solo marciano, acreditando-se poder representar, consoante o local ou latitude (Feldman *et al.*, 2004 in Romio, 2022), entre 1 a 60% da composição deste;
- debaixo da superfície do planeta, descoberta através de “radares de penetração no solo e [de] outros detetores em órbita” (Mars Space Flight Facility, s.d., s.p., T.L. - “*ground-penetrating radars and other orbiting detectors*”), acreditando-se existirem, em Marte, vários lagos subterrâneos, mesmo que de pequenas dimensões, especialmente, perto do seu equador, encontrando-se o hidrogénio subterrâneo já

mapeado em Marte correspondente às percentagens de água apresentadas na figura seguinte (Figura 8, sendo a dos pólos de 100%);

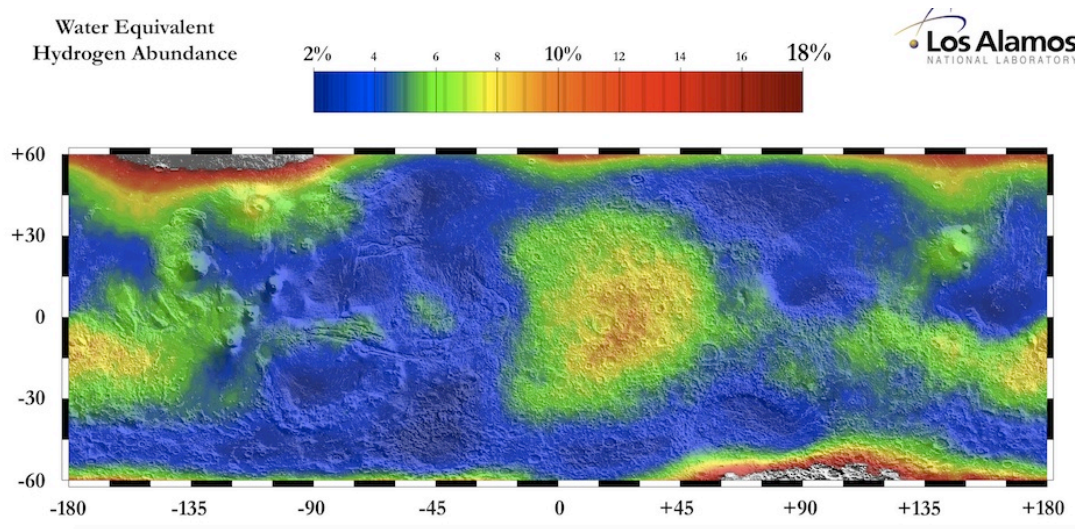


Figura 8 - Percentagem de água em Marte (entre as latitudes de 60° norte e sul) correspondente ao hidrogênio mapeado. (NASA/Los Alamos National Laboratory in Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)

- assim como na forma de vapor, na sua atmosfera, embora em pequenas quantidades.

Apesar de ser relativamente possível calcular a quantidade de água presente no gelo visível e na atmosfera de Marte, apenas é possível estimar, sem certezas (Mars Space Flight Facility, s.d.), a quantidade de água total existente, atualmente, no solo de Marte, tanto em lagos subterrâneos, como infiltrada ou quimicamente “presa” no próprio solo ou rególito deste (acreditando-se que a quantidade de água presa a minerais e rochas em Marte equivaler a das outras 3 formas de água encontrada em Marte combinadas (Romio, 2022). E tendo em conta, então, aquilo que pode ser medido, diretamente, pelas missões espaciais já enviadas para Marte, os cientistas acreditam que a quantidade de água total no planeta seja de 30 metros de GEL (acreditando-se que já tenha sido entre 600 e 2700 metros no passado) (Mars Space Flight Facility, s.d.) — ou seja, sendo 30 metros a medida que teria, em média, globalmente, a espessura da camada composta por toda a água existente em Marte, caso esta se encontrasse distribuída pela superfície marciana em estado líquido.

Stephen Petranek detalha métodos a partir dos quais acredita ser possível obter água em estado líquido para o consumo e uso de possíveis astronautas no planeta marciano, acreditando que este tópico (extremamente vital) não fosse ser um grande problema (BIG THINK, 2007-2023), referindo, por exemplo, a utilização de um desumidificador, à base de zeólito — abundante em Marte e forte absorvedor de água —, assim como uma máquina desenvolvida pela NASA com base neste mesmo conceito, na Universidade de Washington, na década de 1990, chamada WAVAR (*Water Vapor Adsorption Reactor*), capaz de obter água a partir da atmosfera marciana, deveras eficientemente, e desenhada, *inclusive*, para ser enviada para Marte e iniciar a sua produção de água dois anos antes da chegada de astronautas (Petranek, 2007-2023; Petranek, 2015). Além disto, o robô Perseverance da NASA (o mais recentemente

lançado para Marte por esta agência) foi também munido de um equipamento chamado MOXIE, que procura demonstrar a possibilidade de transformação do dióxido de carbono presente na atmosfera de Marte em oxigênio, processando-o (NASA, 2022 *in* Romio, 2022).

A Atmosfera marciana difere, consideravelmente, da terrestre, sendo a primeira composta por 95% de dióxido de carbono, 3% de azoto, 1,6% de argônio e vestígios de oxigênio, monóxido de carbono, água, metano e outros gases, além de muita poeira, e, a segunda por 78% de azoto, 21% de oxigênio, 1% de argônio, 0,04% de dióxido de carbono e pequenas quantidades de outros gases (Mars Space Flight Facility, s.d.), correspondendo o ar marciano, em densidade, também, relativamente, ao terrestre, aproximadamente, a 1/75 da deste (Pombo, 2021). Assim, a pressão atmosférica à superfície de Marte é de cerca de 6 a 7 milibares, em média, extremamente menor do que a de 1013 milibares da Terra (Mars Space Flight Facility, s.d.). Ao contrário do que acontece na Terra, a pressão em Marte varia consoante a altura do ano pois, no inverno, uma vez que muito do dióxido de carbono, presente na atmosfera de Marte, fica congelado, a pressão diminui cerca de 25 a 30% (Mars Space Flight Facility, s.d.). Acredita-se, também, que o campo magnético de Marte se tenha extinguido há cerca de 3,7 mil milhões de anos, o que terá contribuído para a perda do planeta vermelho, tanto de uma parte considerável da sua atmosfera, como da água que continha, oferecendo o mesmo, ainda, atualmente, assim, pouca proteção — extremamente importante para corpos orgânicos — contra a radiação solar e cósmica (que varia, devido à órbita elíptica do planeta marciano, chegando a aumentar 45% quando este está mais perto do Sol, relativamente a quando se encontra mais longe do mesmo, sendo esta diferença, na Terra, de apenas, comparativamente, 7%), especialmente, não tendo, também, praticamente ozono na sua atmosfera (Mars Space Flight Facility, s.d.).

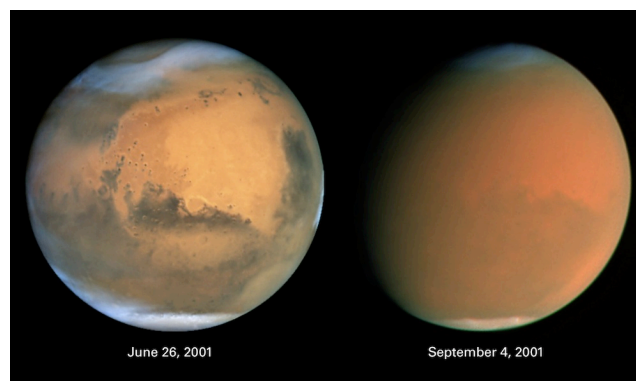


Figura 9 - Imagens de Marte, capturadas pelo Telescópio Espacial Hubble, na ausência de (à esquerda, na imagem) e perante uma tempestade global (à direita).
(Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)

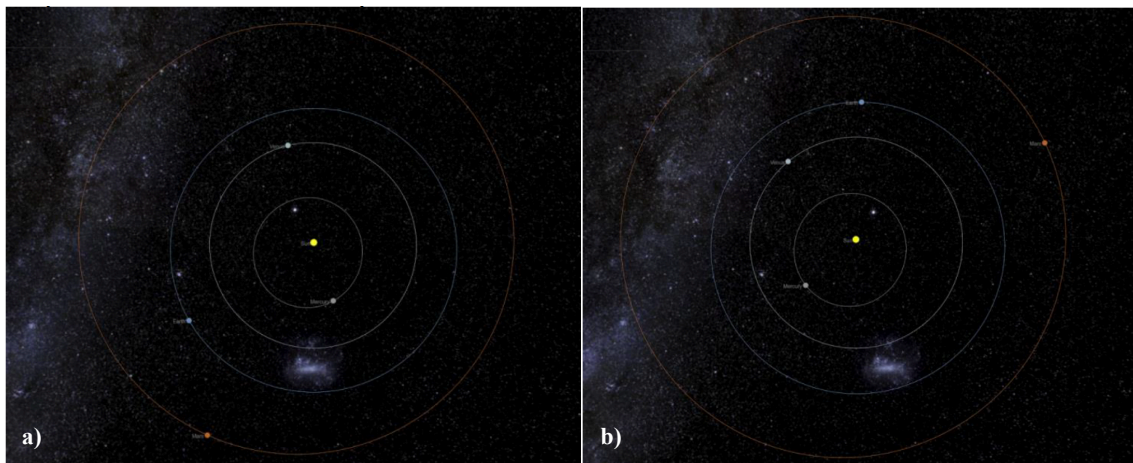
Sendo a atmosfera menos densa, as temperaturas mais baixas, assim como a quantidade de vapor de água também na atmosfera do planeta marciano, mais fracas são, então, as tempestades no mesmo, apesar de bastante frequentes, chegando mesmo, por vezes, a cobrir a totalidade do planeta (como demonstra a Figura 9). E, devido à aridez e falta de corpos aquosos à sua superfície, Marte apresenta uma enorme quantidade de poeira,

sendo mesmo considerado “o sítio com mais poeira do Sistema Solar” (“*the dustiest place in the solar system*”), que também é levantada durante estas tempestades, quando o vento (tipicamente, mais forte no Verão (devido às maiores variações de temperatura), altura em que, também, habitualmente, ocorrem as tempestades globais) é de a partir de 20 metros por segundo. São, ainda, característicos deste planeta, o fenómeno dos “*dust devils*” (remoinhos de poeira), uma espécie de “colunas” de poeira, assim como a existência de dunas, e a região com mais vento de Marte — que, segundo medições do robô Curiosity, chega aos 100km/hora — é Syrtis Major Planum. (Mars Space Flight Facility, s.d., s.p.)

Acredita-se, ainda, que fosse possível produzir, em Marte, metano, para fins de combustível (Zubrin, 1996), que existam fontes de energia geo-termal, por exemplo, na região de Tharsis (Hartmann, 2005; Hartmann, 2007; Hartmann, 2008; Malin *et al.*, 2006) e solar, inclusivamente, através da fabricação de painéis fotovoltaicos a partir de areias minerais ricas em silício comuns e disponíveis em grande quantidade nas dunas de Marte. (Romio, 2022)

Distância entre a Terra e Marte

Encontrando-se Marte a cerca de 227 milhões de quilómetros do Sol, e a Terra 150 (Guinan *et al.*, 2020), Petranek (2015) realça que a diferença entre a distância da Terra à Lua e da Terra a Marte é fenomenal, encontrando-se o planeta vermelho a entre 140 e 1000 vezes mais longe da Terra do que o satélite natural desta nossa casa, devido às diferenças, também, na duração das voltas ao Sol completadas pela Terra e por Marte, representadas nas Figuras 10 a) e b). O planeta marciano e a Terra encontram-se, então, entre cerca de 55 e 400 milhões de quilómetros de distância, decorrendo o intervalo em que estão mais próximos a cada, aproximadamente, 770 a 790 dias, ou seja, cerca de 26 meses (Wall & Howell, 2022; NASA, s.d.), encontrando-se, tipicamente, durante este, a entre 55 e 101 milhões de quilómetros, sendo estes os momentos (cujos próximos são em 2024 e 2026, segundo Weitering (2019)) em que seria possível viajar até este nosso planeta vizinho em menos tempo (Petrovych, 2023; Petranek, 2015).



Figuras 10 a) e b) - Diferentes posições no Sistema Solar ocupadas, em momentos diferentes, por Marte (ponto vermelho) e pela Terra (ponto azul): a) a 10 de Maio de 2018; b) e a 5 de Janeiro de 2019. (ASWATH, 2017 in Suresh *et al.*, 2017)

Segundo Suresh *et al.* (2017) a viagem da Terra até Marte levaria quase 8 meses e, até à janela de oportunidade ótima seguinte para o regresso à Terra, que estimam que durasse 212 dias (o equivalente a, aproximadamente, 7 meses e 2 dias), os astronautas permaneceriam, em Marte, durante ano e meio. Os autores referem, ainda, que o veículo em que os mesmos viajassem poderia ser capaz de sair do campo magnético da Terra em cerca de 26 dias, necessitando, apenas, de cerca de 2 para entrar no campo magnético de Marte e chegar até à superfície deste astro. Petranek (2015) refere, ainda, a latência de, possivelmente, 20 minutos, na comunicação por sinais de rádio entre os planetas Terra e Marte (utilizando as naves não-tripuladas inteligência artificial para efetuar decisões inadiáveis).

A NASA (2020) considera que, apesar de, durante os últimos 50 anos, não se ter voltado a enviar astronautas à Lua (nem para Marte), desde 1969, a exploração robótica espacial tem testemunhado vários avanços tecnológicos e várias descobertas científicas.

2.1.2.3. Empresas Privadas no Setor Espacial (e a Alteração do Mesmo)

Nas últimas décadas, foram existindo empresas privadas no setor Espacial, tais como (tendo muitas destas, se não, mesmo, a sua totalidade, também, por vezes, recebido financiamento público):

- a Orbital Sciences Corporation: *start-up* que, há cerca de 30 anos, desenvolveu o foguetão Pegasus, que voou 42 vezes, falhando totalmente em apenas 3 destas, e, mais recentemente, graças ao apoio financeiro, contratual e de encorajamento da NASA, desenvolveu o foguetão Antares e a nave Cygnus que foram capazes de abastecer a EEI por uma fração do custo do Vaivém Espacial (Space Shuttle, que veremos, em seguida, com mais detalhe) (Petranek, 2015);
- a Boeing: fundada em 1916, em Seattle, Washington, que produz foguetões, aviões, satélites, mísseis, entre outros produtos, tanto de carácter militar, como comercial, e que trabalhou, juntamente com as entidades McDonnell Douglas e North American Aviation, na construção do Saturn V (que veremos, também, com mais detalhes, no subcapítulo adiante), assim como esteve envolvida no Programa do Vaivém Espacial, estando a trabalhar, mais recentemente, com alguns atrasos, na cápsula Crew Space Transportation-100 (CST-100), com apoio financeiro da NASA, atribuído à mesma, assim como às empresas Blue Origin, Sierra Nevada e SpaceX, especificamente, para o desenvolvimento de alternativas ao Vaivém Espacial para o transporte de tripulações para o Espaço e, especificamente, a EEI (Mann, 2021);
- a United Launch Alliance (ULA): um consórcio criado em 2006, entre as empresas Boeing e Lockheed Martin, especificamente, para fornecer foguetões à NASA e ao Departamento de Defesa dos E.U.A. (Mann, 2021), tendo tido sucesso em dezenas de lançamentos, desenvolvendo veículos como *Delta* (Boeing) e *Atlas* (Lockheed Martin), no entanto, não conseguiu “competir em preço com a SpaceX, os russos ou os chineses [com a Long March]” que, segundo Dave Bearden, juntamente com a

Arianespace, europeia, na sua maioria, dominam o mercado comercial global (Vance, 2016, p.269);

- a Axiom Space: baseada em Houston e co-fundada, em 2016, por Mike Suffredini, o gestor, entre 2005 e 2015, do Programa da EEI da NASA, com o objetivo de construir e operar uma outra Estação Espacial em órbita da Terra — para fins comerciais de investigação, desenvolvimento de produto, turismo e fabricação em microgravidade —, mas, entretanto, também, de realizar lançamentos de módulos destinados, ainda, à EEI (cujo o primeiro está agendado para Setembro de 2024), que poderão, no futuro, separar-se da mesma, tornando-se, assim, independentes (Wall, 2022);
- Blue Origin: estabelecida em 2001 e operando, maioritariamente, em relativo sigilo, não fazendo muitos anúncios públicos (Howell, 2022a), foi a primeira empresa no mundo a aterrar com sucesso um veículo reutilizável (no entanto, suborbital — o New Shepard) numa plataforma de aterragem, em Novembro de 2015 (Howell, 2021a). A empresa pretendeu lançar-se no mercado do turismo espacial, transportando pessoas a uma altitude de cerca de 93573 metros (tendo-se em conta que a NASA e a Força Aérea dos E.U.A. reconhecem que o Espaço se inicia a uma altitude de 80 quilómetros acima do planeta Terra, enquanto a comunidade espacial internacional o reconhece “apenas” a 100 quilómetros da mesma (a partir da linha Kármán) (Dinner, 2023)), onde as mesmas podem presenciar a sensação de imponderabilidade, por 4 minutos, estando a empresa Blue Origin, também, a trabalhar num módulo de pouso lunar, destinado a pessoas e carga, chamado Blue Moon (Howell, 2021a);
- Virgin Galactic: também direcionada para o mercado do turismo espacial (Howell, 2022a), vendendo bilhetes a 450 mil dólares (a Maio de 2023), fundada em 2004, por Richard Branson, e tendo conseguido ultrapassar a linha Kármán com o seu veículo SpaceShipOne (Dinner, 2023).

No entanto, durante os seus cerca de 20 anos de existência, a empresa SpaceX (Space Exploration Technologies Corporation) destacou-se neste setor, impulsionando-o, e, mesmo, alterando-o (Howell, 2022a). Tendo verificado que a NASA não anunciava planos para ir a Marte (Howell, 2022a), e que se tinha, desde 1969, não só, avançado muito pouco em termos da tecnologia destinada a viagens humanas espaciais (Vance, 2016; Petranek, 2015), mas, até, retrocedido nesta área (visto já não existir o foguetão Saturn V, nem um mais potente ou equivalente, aliás, nem sendo a NASA capaz de transportar astronautas até à órbita terrestre, dependendo de foguetões russos para os levar até à EEI, por 50 milhões de dólares por viagem e por astronauta) (Petranek, 2015), Elon Musk começou, primeiramente, a pensar numa forma de reavivar o interesse público pelo setor espacial esperando, conseqüentemente, que o mesmo contribuisse para o aumento do financiamento da NASA (Vance, 2016), e, mais tarde, a trabalhar num sistema de foguetões que permitisse à Humanidade chegar até Marte e, lá, construir uma base auto-sustentável, tudo com o objetivo da expansão da raça humana a outros planetas (Elon Musk *in* Vance, 2016; Wall & Howell, 2022;), considerando que exista, assim, mais probabilidade em assegurar-se a sobrevivência da mesma, e reconhecendo a natureza prolongada desta missão (Vance, 2016). Criou assim, a 14 de

Março de 2002, a empresa SpaceX (Howell, 2022a), baseada na Califórnia (Howell, 2022b) com objetivos de comercializar tecnologia espacial avançada (que possa sustentar a empresa a nível da sua atividade comercial (Vance, 2016)) — através de providenciar uma forma de transporte de astronautas e de carga para a EEI, assim como de volta para a Terra (tendo sido a primeira empresa comercial na História a fazê-lo (Suresh *et al.*, 2017)), assim como transportar outras cargas (como satélites, “espiões, de comunicações e meteorológicos” ou para fins de “serviços de televisão, Internet, rádio, (...) navegação e imagens” (Vance, 2016, pp. 236)), e pessoas, noutra tipo de missões (como a Inspiration4, “a primeira missão orbital tripulada sem astronautas profissionais a bordo”, em que, durante 3 dias, 4 pessoas circularam a Terra (Dutfield & Stein, 2022, s.p., T.L. - “*the first crewed orbital mission with no professional astronauts on board*”) para outras agências, empresas, e, mesmo, indivíduos (Wall & Howell, 2022; Howell, 2022b; Dutfield & Stein, 2022) —, e, especialmente, desenvolver foguetões reutilizáveis (Howell, 2022a), sendo estes, tipicamente, utilizados pela indústria espacial apenas uma vez, acreditando Elon Musk ser esta a forma de aumentar a acessibilidade à indústria espacial, assim como, conseqüentemente, as possibilidades da mesma, se se reduzisse o custo de utilização destes veículos em cerca de 100 vezes (Wall, 2015; Vance, 2016; Chang, 2023), tendo, a meio de Julho de 2021, a SpaceX lançado e aterrado parte do seu veículo Falcon 9 82 vezes (Howell, 2021a), produzindo foguetões e motores modernos, mais eficientes (por exemplo, “o principal concorrente da SpaceX para as missões de reabastecimento da EEI e para os satélites comerciais nos Estados Unidos é a Orbital Sciences Corporation”, no entanto, “ao contrário das cápsulas da SpaceX, as da Orbital não resistem à viagem de regresso da EEI para a Terra, pelo que não podem trazer experiências nem outros bens” (Vance, 2016, p.271)) e (extremamente) mais baratos, inclusivamente, aperfeiçoando o processo de montagem dos mesmos (Vance, 2016). “A SpaceX demorou quatro anos a desenhar a cápsula *Dragon* (...) [o que] talvez seja o projeto mais rápido desse tipo na história da indústria aeroespacial. (...) O custo total da *Dragon* ficava nos 300 milhões de dólares, ou cerca de dez ou 30 vezes menos do que os projetos de cápsulas construídas por outras empresas” (Vance, 2016, p.253).

Assim, tirando, também, “o melhor partido dos grandes avanços nos materiais e no poder informático obtidos nas últimas duas décadas” (Vance, 2016, p.131), trabalhando arduamente (Wall, 2015), produzindo, praticamente, todos os componentes dos seus foguetões (Chang, 2023), conseguindo reduzir custos, mantendo a segurança (Gwynne Shotwell *in*, Vance, 2016), através de bastante investimento financeiro e testes (2022a, s.p.), por vezes, com investimentos da NASA (Vance, 2016; Mann, 2021; Howell, 2022b), além de estar a lançar a Starlink (Howell, 2022a) (uma rede de satélites que proporciona *internet* economicamente acessível por todo mundo e, inclusivamente, indicada para localizações remotas, que contava com, segundo o astrónomo Jonathan McDowell, em Novembro de 2022, 3236 de 3271 satélites operacionais em órbita (Pultarova *et al.*, 2022)), depois de quase não sobreviver, em “2008, a SpaceX passou a ser uma empresa rentável, com um valor estimado em 12 mil milhões de dólares” (Vance, 2016, p.238) e, em especial, a “força” representadora (Howell, 2022a, s.p.) de “uma espécie de reconfiguração moderna” do mercado espacial (Vance, 2016, p.

131), “abrindo[, literalmente,] uma nova janela para as Estrelas (Petranek, 2015, p.6, T.L. - “*has opened a new window to the starts*”).

2.1.2.4. Veículos Espaciais

Em seguida, descrevem-se os foguetões e cápsulas que já existiram ou que se encontram, atualmente, em desenvolvimento, que se consideraram mais relevantes no contexto desta investigação.

Saturn V

Desenvolvido no Marshall Space Flight Center da NASA, no Alabama, sob a supervisão do engenheiro aeronáutico Werner von Braun, o Saturn V (que podemos ver na Figura 11) foi o foguetão que levou o Homem à Lua (Lea & Dobrijevic, 2022). O seu primeiro teste (não-tripulado) deu-se em 1967 e foram lançados, para as missões Apollo (entre 1967 e 1973), no total, 13 destes veículos (Tate, 2022). Foi o foguetão mais potente que alguma vez existiu até recentemente, com 111 metros de altura e uma capacidade de transporte de 130 toneladas métricas de carga até à órbita da Terra, segundo a NASA (Lea & Dobrijevic, 2022) e 50 toneladas à superfície da Lua (Lea & Dobrijevic, 2022).



Figura 11 - Lançamento do Saturn V, do Centro Espacial Kennedy, na Flórida, a 14 de Maio de 1973.
(NASA in Lea & Dobrijevic, 2022)

Soyuz

Um foguetão que data de 1966, russo, e considerado, pelo menos, até 2015, por Petranek, o foguetão mais confiável da História, tendo transportado, várias vezes, vários astronautas até à EEI, existindo, até, uma altura em que era o único veículo disponível para tal, encontrando-se uma cápsula Soyuz, sempre, anexada à EEI, para que seja utilizada pelos astronautas em caso de emergência. (Petranek, 2015)

Space Shuttle (Vaivém Espacial)

Antigamente, conhecido como STS (Space Transportation System), foi utilizado para a construção da EEI (Charront *et al.*, 2015), no entanto, tendo sido pensado, inicialmente, pela NASA, para ser um foguetão barato e reutilizável, acabou por servir, principalmente, aos objetivos do complexo industrial militar, tendo sido lançado em 11 missões secretas entre 1982 e 1992 (Petranek, 2007-2023). E terminando a sua atividade

em 2011 (Charront *et al.*, 2015), após 30 anos de serviço (Howell, 2022a), “as suas 135 missões acabaram por custar, em média, mais de mil milhões de dólares cada (Petranek, 2015, p.114, T.L. - “*The 135 shuttle missions ended up costing an average of more than \$1 billion each*”). Tinha uma altura de 56,1 metros e uma capacidade de elevação de 24,4 toneladas métricas (NASA; Boeing *in* Tate, 2022).

Falcon 9

Construído para ser um sistema reutilizável, aterrando em plataformas destinadas a este efeito, que se podem encontrar no mar ou em terra, o Falcon 9 lança, atualmente, astronautas e carga até à LEO, *inclusive*, realizando missões de segurança, com, também, a sua cápsula Dragon, por um custo de 67 milhões de euros por voo, tendo o primeiro destes voos acontecido a 8 de Dezembro de 2010, após vários testes. (Howell, 2022b) Em Maio de 2020, fez história transportando astronautas até à EEI (e sendo que esses astronautas eram americanos, e que até esse momento, desde 2011, os E.U.A tinham estado dependentes da Rússia para realizar os voos necessários aos seus astronautas) e já completou dezenas de missões com sucesso (Howell, 2022a).

Falcon Heavy

O Falcon Heavy é composto pela combinação de um Falcon 9 junto a dois impulsionadores (um de cada lado) também do mesmo modelo de foguetão, sendo, assim, capaz de transportar quatro vezes mais carga do que esse modelo mais antigo (também) da SpaceX (continuando o mesmo, ainda, também, em funções). (Petranek, 2015; Howell, 2022b) Foi “concebido para ser o foguetão mais poderoso do mundo” (Vance, 2016, p.275) (no momento da sua primeira viagem, ou seja, a 6 de Fevereiro de 2018, pois, se ainda estivesse ativo, o Saturn V continuaria a ser o mais potente de sempre (Howell, 2018)) com a capacidade de transporte de 63 toneladas métricas de material para a LEO, o que é mais do “dobro da carga útil que transporta o seu concorrente mais próximo — o *Delta IV Heavy* da Boeing/ULA — a um terço do custo” (Vance, 2016, p.276). Segundo o *website* da SpaceX, o Falcon 9 tem 70 metros de altura (Howell, 2018) e segundo Suresh *et al.* (2017) um tanque de oxigénio líquido.

SLS

O SLS (Space Launch System) é um foguetão “gigantesco” que está a ser desenvolvido — modularmente, de modo a acompanhar avanços tecnológicos futuros e adaptar-se a missões de diferentes teores (Tillman *et al.*, 2022) — pela NASA (com base em aprendizagens do vaivém espacial (Tillman *et al.*, 2022)), com 98 metros de altura, desenhado para realizar viagens humanas espaciais para além da órbita da Terra (para a Lua e, talvez, também, Marte (Tillman *et al.*, 2022) ou asteróides (Petranek, 2015)) e, como tal, atingir velocidades de 40 mil km/h (Mann & Harvey, 2022, s.p., T.L. - “*gigantic*”). Transporta a cápsula Orion (também desenvolvida pela NASA), tendo voado, pela primeira vez, em 2017 (NASA; Boeing *in* Tate, 2022).

Starship-Super Heavy

Previamente, chamado BFR (Big Falcon Rocket (Howell, 2018, s.p.)), o Sistema agora chamado Starship-Super Heavy (Wall & Howell, 2022) está a ser desenvolvido (pela

SpaceX) com destino à exploração humana interplanetária (e respetivo regresso (Heldmann *et al.*, 2022)), mais específica e primeiramente, de Marte (Howell, 2018; Wall & Howell, 2022; Weitering, 2019; Howell, 2022a; Elon Musk *in* Wall & Howell, 2022), através do transporte simultâneo de até 100 pessoas em cada veículo deste modelo (Wall & Howell, 2022; Weitering, 2019). Este sistema (ilustrado na Figura 12) é composto por duas partes: a nave (Starship) e o impulsor, que serve para possibilitar a saída da nave da atmosfera terrestre e é dispensável para o regresso da mesma de Marte (Petranek, 2015; Wall & Howell, 2022). Segundo Musk (2020 *in* Heldmann *et al.*, 2022; Tillman *et al.*, 2022; Chang, 2023), a Starship será capaz de transportar 100 toneladas métricas até à superfície de Marte e, segundo Heldmann *et al.* (2022), a nave tem, ainda, 9 metros de diâmetro e 50 de altura/comprimento. Está a ser desenvolvido e lançado para testes a partir de um local chamado Starbase, no Texas, tendo o seu primeiro teste orbital sido realizado a 20 de Abril de 2023 e resultado numa grande explosão, visto que a separação das duas partes descritas do sistema/foguetão falhou (Wall & Howell, 2022). E apesar de vários protótipos da Starship terem, também, explodido em testes de elevada altitude, em Maio de 2021, um conseguiu aterrar em segurança depois do seu lançamento (Howell, 2022a). Segundo Heldmann *et al.* (2022), a nave tem ainda um rácio de oxidante para combustível (O/F (*fuel*)) de cerca de 3,5, e a capacidade para ser reabastecida, em Marte, por 1200 toneladas métricas destes (que seriam, respetivamente, oxigénio e metano).

Apesar de ainda precisar de mais desenvolvimento (Howell, 2022a), este sistema já tem clientes pretendentes, como a NASA (Howell, 2022b) — que pretende utilizá-lo para levar astronautas à Lua no âmbito do Programa Artemis (descrito no próximo subcapítulo) caso existam atrasos demasiado longos no desenvolvimento do veículo SLS da agência (Weitering, 2019) — ou o projeto dearMoon (Wall & Howell, 2022) — idealizado por um empresário japonês que pretende ir à Lua (circundando-a, sem nela alunar) acompanhado de 8 artistas — não existindo, ainda, datas precisas definidas para tal, mas, sim, alguma confiança na comunidade espacial de que o Starship-Super Heavy comece a transportar pessoas na segunda metade da presente década ou na primeira da próxima década (Wall & Howell, 2022).



Figura 12 - Imagem ilustrativa do futuro Sistema Starship-Super Heavy.
(SpaceX *in* Weitering, 2019, s.p.)

A nível de preços, segundo Elon Musk, o custo deste veículo poderá chegar a menos de 10 milhões de dólares por lançamento, o equivalente a 100 dólares por quilograma (Chang, 2023).

2.1.3. Cenário Espacial Futuro

Veremos, em seguida, o que se acredita vir a ser o futuro do setor Espacial, nos próximos tempos, incluindo-se atividades, empreendimentos e missões já em preparação ou em planeamento.

2.2.3.1. Atividades, Empreendimentos e Missões Espaciais Futuros

EEI

Segundo Sir Martin Rees (*in* Petranek, 2015), o custo da Estação Espacial Internacional não justifica a ciência desenvolvida na mesma, tendo sido os principais “ganhos” obtidos com esta o facto de se ter mantido ativo um programa espacial e a compreensão da vida e do trabalho do ser humano no Espaço, especialmente (Paiva, 2016), para a preparação de um voo a Marte. Segundo Paiva (2016, p.64), em tempos, os conselheiros científicos da NASA acreditavam que o Homem não sobreviveria ao estado de imponderabilidade, no entanto, “felizmente, o ser humano tem uma enorme capacidade de adaptação”, sobrevivendo, apesar de existirem mutações no seu organismo após a estadia por períodos prolongados na situação de ausência de peso, sendo estes, entre outros, a perda muscular, apesar de limitada e “recuperável graças a exercícios físicos apropriados após o regresso à terra”, assim como a perda de cálcio, “mais preocupante, pois só é parcialmente reversível”. Ainda o mesmo autor (Paiva, 2016, p.72) acredita existir um outro fator importante a sublinhar, que é o facto da EEI estar “ocupada em permanência, desde o princípio do atual milénio, por astronautas de várias nacionalidades, cuja colaboração estreita contrasta com os graves conflitos à superfície da Terra, por vezes entre os próprios países dos astronautas. A influência positiva dessa colaboração não se pode medir do ponto de vista financeiro”.

Para já, espera-se que a Estação continue operacional, pelo menos, até 2024, estando a ser discutida a possível extensão deste prazo até 2030 pela NASA (apesar de existirem algumas pequenas fugas (não-especificadas) na mesma, mesmo apesar de serem efetuadas reparações à Estação, não se considerando que exista, atualmente, perigo para os astronautas a bordo), no entanto, pretendendo a Rússia retirar-se deste programa após 2024, para construir a sua própria estação espacial em 2028 (inclusivamente, de forma a responder a sanções económicas dos E.U.A.), sendo que, uma vez terminada, espera-se que a EEI seja retirada de órbita, ou reciclada para fazer parte de outras futuras estações espaciais, comerciais, por exemplo, da empresa Axiom (Howell, 2023; Howell, 2021b). Espera-se que, no máximo, até 2030, exista já alguma outra estação espacial (comercial) em órbita, possivelmente, da empresa mencionada ou da Blue Origin, Nanoracks LLC (que planeia lançar a Estação Starlab em 2027) ou Northrop Grumman Systems Corp., tendo estas sido as entidades que receberam fundos de investimento do Programa

NASA's Commercial LEO Development para tal (Howell, 2021b, s.p.), tendo a agência “enfocado repetidamente que a comercialização da LEO é uma sua prioridade-chave” (Wall, 2022, s.p., T.L. - “*NASA has repeatedly stressed that the commercialization of LEO is a key agency priority*”), prevendo que as suas necessidades futuras serão a acomodação contínua de pelo menos dois astronautas, a permanência de um laboratório nacional em órbita e pelo menos 200 investigações científicas por ano nas áreas da saúde, biologia, ciências físicas e demonstração de tecnologia, entre outras (Howell, 2021b, s.p.).

ESA

Quanto à Agência Espacial Europeia (Paiva, 2016, p.20), “várias missões foram recentemente selecionadas pela ESA. Uma delas é a Athena, que deverá ser lançada em 2028 para estudar os buracos negros, cuja existência foi confirmada graças ao telescópio Hubble” e outra é “a construção do observatório espacial Plato (Planetary Transits and Oscillations of Stars), cujo lançamento está previsto para 2024” (Paiva, 2016, p.25) e que, para além de outras missões, permitirá também a observação de exoplanetas (auxiliada pelo “método do trânsito de Vénus” (Paiva, 2016, p.26)).

Turismo Espacial

O turismo espacial parece, também, estar a ganhar aderência e vir a consolidar-se, em breve, como indústria, tendo dado um “grande salto” em 2021 (Howell, 2022a, s.p., T.L. - “*big leap*”).

Outros Planos

Por outro lado, nem a ESA, nem a Roscosmos, apresentam, para já, planos para novas missões humanas (ESA, 2014; Vago *et al.*, 2015), a Índia e o Japão não planeiam enviar novas missões a Marte, enquanto a China pretende colaborar com a Rússia em missões tripuladas direcionadas à Lua (Lele, 2014; Jiang, 2018). (Pombo, 2021)

Artemis

A NASA teve planos para, entre 2005 e 2010, executar um Programa chamado Constelação, que ambicionava a presença humana contínua na Lua mas, este foi cancelado (Grogan *et al.*, 2011). No entanto, a Agência está atualmente a executar o Programa Artemis (intitulado desta forma por “Artemis” se tratar da deusa da Lua, irmã gêmea de Apolo (Administrador da NASA Jim Bridenstine *in* NASA, 2020; Mann & Harvey, 2022)), cujo principal objetivo é o mesmo — levar o Homem de volta à Lua (explorando-a mais do que nunca (Jim Bridenstine *in* NASA, 2020)), desde as missões Apolo, sustentando a sua presença neste satélite terrestre — a partir de 2024/2028 (Mann, 2020; Howell, 2022a; Zirnov *et al.*, 2022; Mann & Harvey, 2022), e, após estabelecer uma base na mesma, utilizá-la de forma a alcançar, também, a presença humana em Marte, a partir da década de 2030 (NASA, s.d. *in* Manal *et al.*, 2022; Mann & Harvey, 2022)). Pretende-se que esta “sustentabilidade” do Homem na Lua tenha por base infra-estrutura implementada, tanto à superfície, como em órbita, da mesma (Lea, 2022, s.p., T.L. - “*sustainability*”).

A ser suportado pelo foguetão SLS e a cápsula Orion, o Programa Artemis conterà vários componentes, sendo um destes a Plataforma Orbital Lunar Gateway, que será uma estação espacial implementada em órbita da Lua, com a capacidade para uma tripulação de 4 membros, que permanecerão a bordo da mesma durante períodos de entre 30 a 90 dias, tendo a NASA já apresentado, em Dezembro de 2020, uma lista de astronautas, composta por 9 homens e 9 mulheres (Mann & Harvey, 2022).

O Plano Artemis é composto por 3 Fases:

1) O lançamento do foguetão SLS e cápsula Orion numa missão de teste não-tripulada, já realizado, a 16 de Novembro de 2022, e que terminou com sucesso, 25 dias e meio depois, no dia 11 de Dezembro do mesmo ano (Mann & Harvey, 2022). Apesar de não ter sido tripulada, a missão transportou 10 *cubesats* (visíveis na Figura 13) — pequenos(/nano) satélites destinados a executar experiências e demonstrações de tecnologia, cujos resultados, inclusivamente, servirão para informar missões e projetos futuros (Mann & Harvey, 2022; Tillman *et al.*, 2022; Lea, 2022), sendo exemplos destes, entre outros (Lea, 2022):

- o IceCube: desenvolvido para investigar, numa viagem de 7 horas em torno da Lua, a distribuição da água (em gelo e na exosfera (atmosfera da Lua)) encontrada na mesma através de um instrumento da NASA chamado Broadband InfraRed Compact High-Resolution Exploration Spectrometer (BIRCHES);
- o LunaH-Map: desenhado na Universidade Estadual do Arizona, para mapear o hidrogénio presente nos Pólos Lunares;
- o LunIR: destinado a realizar manobras e operações de teste para futuras missões robóticas e tripuladas;
- o OMOTENASHI: da JAXA (cujo nome significa “hospitalidade” em Japonês), desenvolvido para medir a radiação na superfície lunar e “investigar a mecânica do solo usando acelerómetros (s.p., T.L. - “hospitality”; “investigate soil mechanics using accelerometers”);
- o NEA Scout: destinado a, após iniciar uma viagem de 2 anos, capturar e transmitir dados de um asteroide próximo da Terra, sendo um fator-chave desta missão uma vela que pretende impulsionar o *cubesat* através de fótons solares;

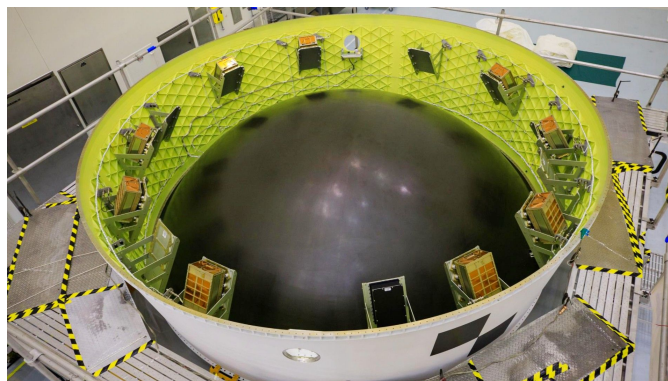


Figura 13 - Na imagem podemos ver os *cubesats*, enviados a bordo do primeiro lançamento do Programa Artemis. (NASA/Cory Huston *in* Lea, 2022, s.p.)

2) A missão, também de teste, dos sistemas dos SLS e Orion, no entanto, desta vez, tripulada, que transportará os primeiros 4 astronautas do Programa Artemis, durante, aproximadamente, 10 dias, em torno da Terra, da Lua e de volta à Terra, em 2023/2024 (Mann & Harvey, 2022; Tillman *et al.*, 2022);

3) É a terceira fase do Programa, que levará (provavelmente, por meio do veículo Starship (Wall & Howell, 2022; Howell, 2022a; Tillman *et al.*, 2022), que, segundo Elon Musk, contará com um sistema regenerativo de reciclagem de vapor de água e dióxido de carbono para fornecer oxigênio aos astronautas (Wall & Howell, 2022, s.p.)) o próximo homem e primeira mulher até à superfície da Lua, através de um módulo de pouso desenvolvido para tal, onde os mesmos permanecerão durante cerca de 1 semana (Mann & Harvey, 2022), pretendendo fazê-lo no ano de 2025 (Wall & Howell, 2022).

Os astronautas usarão fatos espaciais novos, atualizados, desenhados, especificamente, para este programa e mais práticos e confortáveis do que os anteriores, o que lhes conferirá muito mais mobilidade (Mann & Harvey, 2022), enquanto as estimativas de custo da totalidade do Programa Artemis não são ainda conhecidas com exatidão, no entanto, acreditando-se que possam atingir os 93 mil milhões de dólares, com, até 2025, cada lançamento SLS/Orion a custar 4,1 mil milhões (Mann & Harvey, 2022), sendo que se acredita que o veículo SLS servirá, também, a outras missões como, por exemplo, a recolha de amostras de Luas de Saturno (Tillman *et al.*, 2022).

Ainda relativamente à Lua

Segundo Mann & Harvey (2022), além do programa Artemis, existem, também, 9 empresas contratadas para executar missões robóticas na Lua, que recolherão outros dados e investigarão as possibilidades da mineração da mesma, e, no geral, procura-se, impulsionar empresas privadas, potencialmente, gerando-se uma economia lunar, sendo que a NASA concedeu, ainda, financiamento a 11 outras empresas (incluindo a SpaceX e a Blue Origin) para o desenvolvimento de módulos de pouso destinados à Lua.

Existem, ainda, trabalhos que propõem a colonização da Lua, mais uma vez, discutindo-se, também, a hipótese da destruição da Terra e consequente necessidade da Humanidade sobreviver/viver noutra sítio, acreditando-se que a tecnologia humana esteja a desenvolver-se a ponto de tornar este feito possível, e, além disso, que outra motivação para o mesmo possa ser a identificação da existência de recursos lunares vitais para a Terra, ou, ainda, que possam representar lucro (Zirnov *et al.*, 2022, s.p.). E, ainda neste prisma, através do qual tem funcionado, como quase tudo no nosso planeta, a exploração espacial, ou seja, de um sistema de base financeira, Petranek (2015, p.30, T.L. - *“It’s worth noting that Elon Musk sees the entire viability of a Mars settlement resting on basic cost issues rather than the many environmental impediments, such as having no air to breathe, dangerous radiation, and whether water is accessible”*) acredita valer a pena notar que, a exemplo, Elon Musk considera que “a viabilidade da implementação de um empreendimento em Marte esteja assente em questões básicas de custo e não nos outros muitos impedimentos (...) [inerentes ao que representaria tal

missão], como não existir ar para se respirar, a presença de radiação perigosa e se existe água acessível”.

O clima da Lua é bastante frio, tendo a NASA já medido temperaturas numa cratera do pólo Norte da mesma de -238 e -247° C, sendo estas consideradas as mais frias já medidas no próprio Sistema Solar (*inclusive*, comparativamente às registadas a partir da superfície de Plutão), além de existir, também, na Lua, para os humanos, o perigo das chuvas de meteoros, juntamente a uma força gravítica significativamente diferente da verificada na Terra, no entanto, existindo, também, benefícios que poderiam resultar da colonização da mesma, como a extração de “hidrogénio, oxigénio, silício, ferro, magnésio, cálcio, alumínio, manganês, titânio, etc.”, assim como uma grande quantidade de Hélio-3, sendo o solo do satélite “muito fácil de minar” (Zirnov *et al.*, 2022, s.p., T.L. - “*hydrogen, oxygen, silicon, iron, magnesium, calcium, aluminum, manganese, titanium etc.*”; “*very easy to mine*”).

Inclusivamente, até como preparação para a realização de missões destinadas a Marte, tanto pela possibilidade de se testar estas tecnologias, como das mesmas servirem ao reabastecimento de foguetões que não teriam, desta forma, de escapar à atmosfera da Terra carregando o combustível que os levaria até Marte, é referida, por diversos autores (Ishimatsu *et al.*, s.d., Ho *et al.*, 2014 in Shishko *et al.*, 2015; Steven Swanson (3 vezes Astronauta pela NASA) in Mann & Harvey, 2022; Lea, 2022), a hipótese da fabricação de combustível para foguetões/naves a partir do próprio solo lunar.

Missões destinadas a Marte

Como pudemos ver, “após a ida à Lua, o interesse em se tornar a Humanidade numa espécie interplanetária foi desaparecendo” (Pombo, 2021, p.14, T.L. - “*after the Moon landing, interest was (...) lost in making humankind an interplanetary species*”). No entanto, mais recentemente, tem sido reavivada a ideia de o Homem ir a Marte (Wall, 2015) (inclusivamente, através da aderência de fãs do setor espacial à assistência de transmissões em direto relacionadas com o mesmo (Howell, 2022a)), considerando alguns autores (Tillman, 2012; Volponi *et al.*, 2016; Shishko *et al.*, 2015; Elon Musk in Wall, 2015; Suresh *et al.*, 2017) que os próximos passos ou fronteiras da exploração espacial humana sejam a mineração de asteróides e a criação de bases lunares e marcianas. Neste sentido, e, considerando-se que já existiu trabalho suficiente realizado, em Marte, por robôs, para tal (Mann & Harvey, 2022; Suresh *et al.*, 2017), a NASA pretende realizar missões tripuladas ao planeta vermelho a partir da década de 2030 (JPL, 2015; Simon *et al.*, 2015 in Pombo, 2021; Mann & Harvey, 2022; Howell, 2022a; Guinan *et al.*, 2020) sendo que já tinha publicado propostas e planos com este objetivo, que decorreriam, por exemplo, entre 2011 e 2018 (a primeira missão) e 2014 e 2027 (a implementação da primeira base permanente), que acabaram por ser canceladas (Pombo, 2021). Muitos (Swanson, 2020 in Mann & Harvey, 2022; Tillman *et al.*, 2022) consideram também que as missões realizadas na Lua possam servir de teste às destinadas a Marte.

Quanto à ESA, a agência também já demonstrou interesse na exploração espacial humana destinada a Marte através da discussão de missões a serem realizadas, entre 2030 e 2040, tanto à superfície do planeta, como debaixo desta (M E P A G, 2008 *in* Pombo, 2021). E, segundo Pombo (2021), Drake (2009) apresentou um documento sugerindo que a colaboração multi-agências facilitaria o alcance deste objetivo.

Além de agências governamentais (e, como vimos, também, anteriormente), existem já empresas privadas a trabalhar e a aplicar esforços direcionados, diretamente, ao setor espacial e, precisamente, também, a este propósito de se levar a Humanidade até Marte (Shishko *et al.*, 2015; Petranek, 2015). Apesar de, segundo Petranek (2015), apenas uma (a SpaceX), por agora, parecer oferecer perspectivas realísticas de conseguir realizar o transporte de pessoas até ao planeta vermelho antes da NASA, apresentando como solução para tal o factor (previamente mencionado) da re-usabilidade dos foguetões, considerando-o, mesmo, como crucial, ou, “o fator determinante para as pessoas poderem viver em Marte” (Musk *in* Howell, 2022a; Petranek, 2015, p.30, T.L. - “*the determining factor in whether people could live on Mars*”).

Necessidades da Colonização de Marte

Para este tipo de missão — que acarretará “bastantes desafios” (Petranek, 2015, p.26, T.L. - “*a lot of challenges*”) e implicações (Heldmann *et al.*, 2022), e que, segundo Zhang *et al.* (2022), demorará até 2 anos e meio, ou, segundo Steven Swanson (Mann & Harvey, 2022), quase 3 anos ininterruptos, levando a viagem de ida entre 7 a 8 meses e sendo necessário permanecer-se em Marte durante 15 meses até à viagem de volta do mesmo, e, segundo Elon Musk (Wall, 2015) será super difícil e longa — é possível encontrar, na literatura, discussões sobre os diversos aspetos que esta implicaria e que lhe seriam necessários, assim como possíveis soluções para os mesmos, descritos e descritas, em seguida.

Em Marte, os seres humanos iriam necessitar e estar dependentes de formas eficientes e eficazes de obter oxigénio, água, comida (muito possivelmente, através da agricultura, para a sua auto-sustentabilidade), proteção (corporal e arquitetónica, do vento, temperatura, pressão, poeiras e radiação) além de energia, e, ainda, de terem em conta aspetos psicológicos relativos à totalidade do seu modo de vida (Suresh *et al.*, 2017; Petranek, 2015; Manal *et al.*, 2022).

Considera-se que o oxigénio pudesse ser obtido através de água (por exemplo, por um processo de eletrólise), e que esta existe em Marte, tendo-se obtido esta confirmação através de várias missões robóticas enviadas para o planeta mas, especialmente, através do módulo de pouso Phoenix, apesar da liquidificação da mesma poder requerer uma quantidade significativa de energia, acreditando-se que esteja, ainda, aberta a hipótese de se encontrar água já em estado líquido, em Marte, no seu subsolo (Petranek, 2015). Segundo, ainda, Petranek (2015), a colonização do planeta só será, mesmo, possível se se conseguir obter água localmente.

Quanto à obtenção de ar respirável, o mesmo autor refere que o ser humano consegue tolerar, no máximo, 5% de dióxido de carbono (elemento pelo qual a atmosfera marciana é composta quase na sua totalidade, como vimos) presente no ar que respira e durante pouco tempo, lembrando, no entanto, que o dióxido de carbono é composto em 28% por carbono e 72% por oxigénio, referindo, ainda, que precisaríamos, também, de um gás não-reativo que pudesse ser misturado com o oxigénio, como o argónio ou o hélio, que cerca de 89% da massa da água é, também, oxigénio, e, que o processo da eletrólise permite, também, a obtenção de hidrogénio, que poderia servir como uma alternativa de combustível e fonte de energia.

E quanto à questão da obtenção de uma fonte de alimentação para os astronautas, Petranek (2015) defende que exista muita investigação já realizada (cujos alguns estudos veremos, adiante, neste capítulo), especificamente, dedicada à questão de se entender como é que seria possível praticar Agricultura em Marte.

Por fim, quanto à questão da proteção para a sobrevivência no ambiente de Marte, seria possível transportar-se para o planeta vermelho vestuário/fatos adequados (para o que existe já, por exemplo, o trabalho desenvolvido por Dava Newman, Professora de Astronáutica do MIT), assim como estruturas metálicas, infláveis e pressurizadas, no entanto, sendo proposta, também, a utilização do rególito ou de rochas marcianas para a construção de coberturas locais. (Petranek, 2015) Segundo Pombo (2021), é também proposta a possibilidade da habitação de grutas encontradas em Marte.

Defende-se, ainda, a nível geral, que os custos da colonização de Marte fossem reduzidos significativamente pela produção de recursos *insitu* e, mesmo, a fabricação local (Pombo, 2021). Segundo Romio (2022, p.2, T.L. - “*introduced by NASA with the aim of increasing mission safety; decreasing costs and developing a more sustainable exploration*”) esta perspetiva foi “apresentada pela NASA, com os objetivos de se aumentar a segurança das missões; (também) reduzindo o custo destas e o desenvolvendo-se uma exploração mais sustentável”.

A nível psicológico é referida uma experiência já realizada, de simulação (numa ilha do Havai) da estadia de uma equipa de astronautas quatro meses em Marte, liderada por Angelo Vermeulen, que considera que “o conhecimento da psicologia humana avançou até ao ponto em que escolher as pessoas/[equipa] certas para uma missão a Marte já não é um desafio”. (Petranek, 2015, p.26, T.L. - “*knowledge of human psychology has advanced to the point that picking the right people for a Mars mission is no longer a challenge*”)

Existem muitas outras preocupações, ainda, relacionadas com este tipo de missão, por exemplo, se os astronautas adoecessem. E, quanto a tal, é referido que existirá, efetivamente, o risco de morte no decorrer da mesma, referindo-se, também, que não deixa de ser possível e mais do que aconselhável que existissem, entre os membros da tripulação, pessoas treinadas em medicina, especialmente, de emergência. (Petranek, 2015)

Manal *et al.* (2022) referem, ainda, a relevância e importância da escolha da localização — que acreditam requerer uma investigação avançada e aprofundada — para a implementação de uma base humana em Marte, e que, em 2015, a NASA anunciou a sua lista de critérios para a identificação desta, sendo estes, entre outros, um local que permitisse:

- exposição solar suficiente para fornecer energia a painéis solares;
- proteção contra a radiação;
- a proximidade de uma fonte de água.

Segundo Shishko *et al.* (2015, p.2) estabelecer uma colônia marciana viável e permanente “é possível durante o tempo de vida esperado das pessoas vivas atualmente” (T.L. - “*is possible within the lifetime of persons living today*”) e “acontecerá muito mais cedo do que a maioria das pessoas imagina” (Petranek, 2015, p.6, T.L. - “*The settlement of Mars is about to happen far sooner than most people realize*”), segundo o autor, nas duas próximas décadas, tendo já sido publicados, como tal, desde o “Projeto Marte” de Wernher von Braun (1953 *in* Mukundan, 2023), “vários estudos e projetos de investigação acerca da colonização de Marte” (Cockell, 2014, Vago *et al.*, 2017, Cockell, 2020, Lingam & Loeb, 2021, Mukundan & Wang, 2022 *in* Mukundan, 2023, p. 1, T.L. - “*many research studies and projects were published regarding the colonization of Mars*”), referindo Pombo (2021, p.1, T.L. - “*Such a complex endeavour demands continuous research, simulation, and planning*”) que “tamanho e complexo objetivo requer pesquisa, simulação e planeamento contínuos”.

Conceitos para a Colonização de Marte

Como tal, existem já vários conceitos de propostas mais concretas para a realização deste objetivo (incluindo algumas apresentadas em competições destinadas a este propósito), com tripulações que variam entre os “4 e os 10 mil” membros e, também, em duração (Manal *et al.*, 2022; Pombo, 2021, p.3), sendo alguns destes conceitos apresentados, em seguida.

A SpaceX envisionsa uma base marciana que começasse a ser construída em 2028, para a qual seriam enviadas, primeiramente, duas missões não-tripuladas, de carga, transportando sistemas de suporte à vida e geradores de energia, e de confirmação da presença dos recursos naturais necessários na localização idealizada para a mesma, e outras duas missões que iniciariam a produção local de combustível, antes de serem, então, realizadas as missões já tripuladas (salvaguardando-se que o foco da empresa, para já, é a construção de um sistema de transporte (para pessoas e carga) que possibilite a colonização do planeta Marte, encontrando-se a mesma em colaboração com a NASA para a concretização deste objetivo). (Weitering, 2019)

Também o estudo de Heldmann *et al.* (2022, p.259, T.L. - “*developing infrastructure, testing of key technologies, and conducting resource prospecting*”) defende a criticalidade da produção de recursos *insitu* para o estabelecimento sustentável de seres

humanos em Marte, apresentando os autores aquilo que seria a arquitetura de uma missão realizada pelo veículo Starship, propondo, como atividades prioritárias da mesma (à semelhança da proposta anterior), o pré-envio de abastecimento e estruturas, “o desenvolvimento de infra-estrutura, o teste de tecnologias-chave e a condução da prospecção de recursos”. Propõem, também, que as missões tripuladas deste plano incluíssem entre 10 a 20 pessoas, que existisse um desenvolvimento na infra-estrutura que suportasse o crescimento da comunidade na base, e, experiências adicionais de escavação, perfuração e construção de operações autónomas que consideram atividades-chave a longo-prazo, por exemplo, para a construção de estradas ou de plataformas de aterragem (e de lançamento) (Kozicka, 2008; Zacny *et al.*, 2009; Zubrin, 2011 *in* Heldmann *et al.*, 2022). É também mencionada a importância da realização de experiências de cultivo para que os astronautas produzissem a sua própria comida (Hender, 2007 *in* Heldmann *et al.*, 2022).

Há, depois, o trabalho de Manal *et al.* (2022, p.23), que argumentam que o maior desafio estrutural para este objetivo em Marte seria a pressurização dos *habitats* dos astronautas, para o que recomendam a utilização de estruturas infláveis e desdobráveis, curvas ou em forma de cúpulas, assim como a utilização do material ETFE e do processo de impressão 3D ou da fabricação de tijolos (e, mesmo, de betão marciano, investigado por Lin Wan, na Northwestern University) compostos pelo rególito marciano, também para a proteção contra o vento, tempestades e a radiação. Os autores acreditam na poupança de energia no empreendimento, em geral, para a qual referem ser também importante a própria infra-estrutura construída (Iranfar & Muhy Al-Din, 2020), na produção de energia solar (Wijayaningtyas *et al.*, 2021) e, para quando a luz solar não estiver disponível (por exemplo, durante tempestades), mencionam o projeto “Kilopower” da NASA, a ser testado para a geração de energia nuclear, destinada a providenciar suporte a estadias planetárias (Skelly & Wittry, 2018; Anderson & Wittry, 2018). (Manal *et al.*, 2022) Por fim, Manal *et al.* (2022) mencionam os aspetos psicológicos relativos às condições em que viveriam os astronautas, chamando a atenção para a necessidade da existência de espaços (flexíveis), tanto de privacidade, como sociais, assim como de janelas e imagens (por exemplo, exibidas em grandes ecrãs) da natureza.

A NASA organizou um concurso de *habitats* para Marte impressos em 3D que necessitassem de pouca interferência humana, pudessem funcionar de forma autónoma “noutros mundos” e tivessem de passar por testes de qualidade material, “durabilidade, vazamento/fugas e força”, tendo sido a empresa vencedora a nova-iorquina AI SpaceFactory, com um conceito que poderia servir para ambos a Lua e Marte (Howell, 2019, s.p., T.L. - “*on other worlds*”; “*durability, leakage and strength*”). O *habitat* deste projeto chama-se Marsha e é construído através de um braço preso a um robô, que executa a construção, autónoma, desta estrutura, que podemos ver nas imagens da Figura 14 (tanto o seu exterior, como interior). (David Malott, CEO e fundador da AI SpaceFactory, defende, ainda, que este conceito de construção pudesse apresentar grandes vantagens na Terra, acreditando que permitisse a utilização de materiais biodegradáveis em vez do betão (não-reciclável) (Howell, 2019).)

Segundo Weitering (2016), a NASA selecionou, ainda, 6 empresas privadas para o desenvolvimento do mesmo tipo de *habitats* — destinados ao Espaço sideral — sendo estas: a Lockheed Martin, Orbital ATK, Sierra Nevada Corporation, Nanoracks, Bigelow Aerospace e Boeing, com conceitos expandíveis, outros modulares, etc.



Figura 14 - Imagens do conceito do *habitat* Marsha.
(AI SpaceFactory, Pomp & NASA in Howell, 2019, s.p.)

Mukundan *et al.* (2023) apresentam, também, na sua iniciativa, que intitularam de “Dvaraka”, um conceito para aquilo que acreditam que pudesse ser a primeira base/cidade auto-sustentável noutra planeta, neste caso, marciana, referindo-se os autores, quando utilizam este termo, à sustentabilidade financeira da mesma. Exploram várias frentes, fases e aspetos (técnicos e não-técnicos, como arquitetónicos, sociais, etc.) relevantes para o conceito que propõem — que desenvolveram com o objetivo de apresentá-lo numa competição realizada pela The Mars Society (Sociedade de Marte) — idealizando uma colónia iniciada em 2036 (contando que já tivessem sido realizadas, previamente, várias missões robóticas, de recolha de amostras e, mesmo, humanas, não-permanentes) que chegasse às 1000 pessoas. Assumem que, nas suas fases iniciais, esta missão requeresse abastecimento regular vindo da Terra, “até os Dvarakans (habitantes de Dvaraka) serem capazes de providenciar os seus próprios recursos” (p.2, T.L. - “*until*

Dvarakans (Inhabitants of Dvaraka) are able to provide resources for themselves”), e que, até 2030, a tecnologia necessária para transportar uma carga de 85 toneladas até à superfície de Marte estivesse disponível. Os autores consideram que seria de alta importância a questão da administração desta colónia, para o que propõem que a mesma funcionasse como um Estado independente (Haqq-Misra, 2022 *in* Mukundan *et al.*, 2023) de hierarquia horizontal, para fins da existência de uma supervisão adequada, assim como “comunicação mais clara e menos susceptível de ser degradada” (Zakrzewska-Bielawska, 2016 *in* Mukundan *et al.*, 2023, p.2, T.L. - “communication is clearer and less susceptible to degradation”). O plano teria (segundo, também, os autores), no seu total, 26 anos e incluiria 11 missões, com 3 fases, que consistiriam, inclusivamente, em missões iniciais de carga (não-tripuladas). Os autores consideram, ainda, proporem uma construção “segura, sofisticada e ecológica” para a base e debruçam-se sobre as atividades do recrutamento e treino que seriam necessários aos membros da colónia, considerando como requisitos do processo de seleção: “a resiliência, adaptabilidade, flexibilidade, conhecimento médico, capacidade de falar inglês, idade entre os 20 e 45 anos e um cadastro criminal limpo, sendo os candidatos avaliados, também, relativamente ao seu conhecimento acerca de Marte, assim como, ainda, outras capacidades. (Mukundan *et al.*, 2023, p.20, T.L. - “safe, sophisticated and eco-friendly”; Mukundan *et al.*, 2023, p.5, T.L. - “Resilience, adaptability, flexibility, medical knowledge, capacity to speak English, age between 20 and 45, and a clean criminal history”)

A localização da cidade (Dvaraka) foi pensada numa perspetiva de longo-prazo, com foco no objetivo da auto-sustentabilidade da mesma e segundo 4 critérios: (Mukundan *et al.*, 2023)

- o cultivo de plantas, para o qual os autores apresentam o seguinte mapa, presente na Figura 15, relativo aos, respetivamente, maior e menor potenciais de colheita da superfície de Marte, segundo o azul escuro e o vermelho;

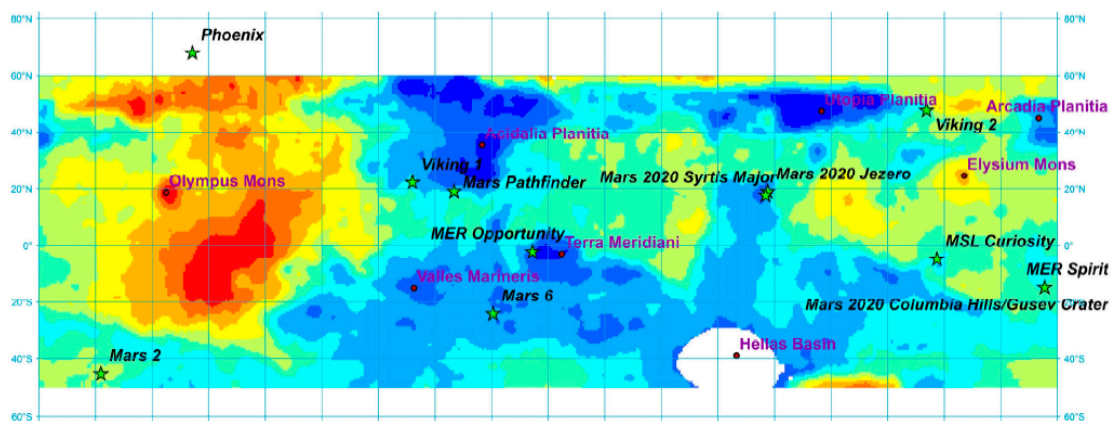


Figura 15 - Mapeamento de Marte relativamente ao seu potencial para colheitas.
(Mukundan *et al.*, 2023, p.3)

- a existência de minerais que representem recursos úteis para extração;
- a possibilidade ou maior probabilidade de proteção habitacional relativa a impactos de asteróides e cometas, assim como à exposição à radiação, procurando-se locais em que o campo magnético local possa auxiliar à redução da mesma;

- e a presença de condições climáticas apropriadas (incluindo temperatura, pressão, luz solar, água e terreno).

Tendo sido, assim, escolhida, pelos autores, como localização do empreendimento, a Cratera Jezero (o local onde aterrou o *rover Perseverance*), próxima do equador marciano, pelas temperaturas muito mais elevadas que apresenta relativamente às regiões polares, e, porque, sendo uma área de baixa elevação, é uma boa fonte de água, “rica” a nível mineral, apresenta menos poeira do que muitos outros locais, o que facilita a mobilidade e reduz o risco durante as tempestades de areia, assim como um campo magnético médio de 0,6 A/m (Yen *et al.*, 2006; Russell *et al.*, 2019). É também um dos locais menos atingidos por asteróides e tem um terreno plano, o que ajuda às atividades de construção e de transporte (Mukundan *et al.*, 2023).

O início do povoamento da base dar-se-ia em 2046, com a chegada de 100 pessoas (incluindo agrónomos) à mesma, juntamente com um carregamento de comida para 1 ano, sendo este completado pela chegada de 100 pessoas adicionais a cada 2 anos e a população composta por um rácio de homens e mulheres de, respetivamente, 505:495, porque, explicam os autores, tipicamente, nascem mais homens mas, também, morrem mais homens. E, para a arquitetura do empreendimento/cidade (que podemos visualizar na Figura 16 e que contaria com vários sensores de monitorização, assim como um sistema de suporte de vida), os autores propõem — tendo em conta a questão da escalabilidade da mesma —, além de todas as restantes infra-estruturas (incluindo um pequeno hospital) que podemos observar, os Setores 1 e 2, que compreendem, cada um, 1 bloco administrativo (que inclui, também, espaços para atividades de entretenimento e de desporto, entre outros) e 5 blocos (de 31,488m²) destinados, cada um, a 100 aposentos individuais (cuja planta podemos ver na Figura 17, e sendo que 2 destes poderiam ser convertidos num aposento duplo), 2 estufas, 1 refeitório e 1 laboratório (como podemos observar, também, em parte e em planta, na Figura 18).

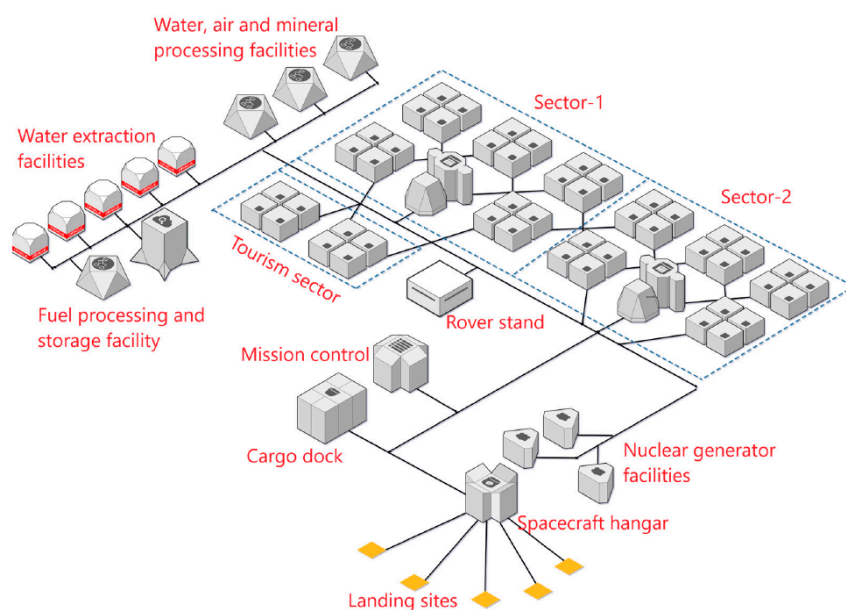


Figura 16 - Arquitetura proposta para o conceito da cidade de Dvaraka.
(Mukundan *et al.*, 2023, p.7)

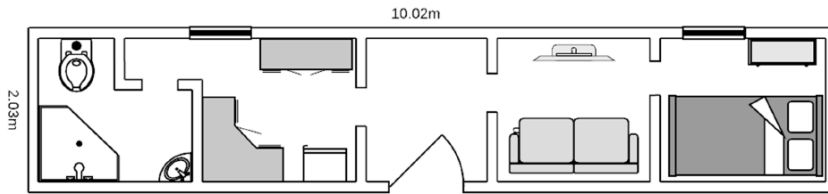


Figura 17 - Planta do apartamento individual proposto no estudo de Mukundan *et al.* (2023, p.9).

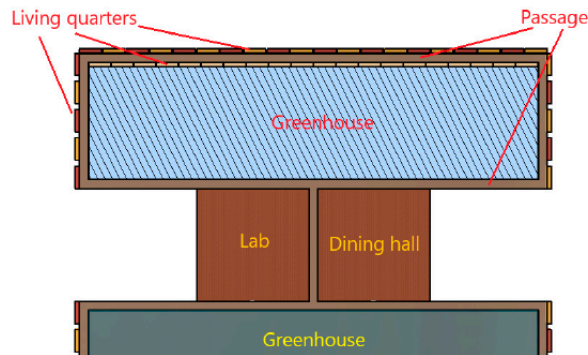


Figura 18 - Planta parcial do bloco proposto no estudo de Mukundan *et al.* (2023, p.9).

Defendendo também a obtenção e a produção locais de materiais em Marte, os autores propõem, para a infra-estrutura principal de Dvaraka, a utilização de tijolos, juntamente com uma espécie de betão à base de enxofre e um revestimento termomecânico “TMC”, tendo realizado simulações computacionais (e acrescentando, ainda, uma margem de segurança de 40% na espessura das camadas de material propostas) considerando, assim, garantir-se toda a proteção necessária. E, para os telhados das estufas e janelas dos apartamentos individuais, propõem a utilização de polimetilmetacrilato (PMMA), um termoplástico transparente que oferece proteção contra a radiação ultra-violeta típica de Marte. A exposição dos astronautas ao ambiente marciano fora dos *habitats* seria, inicialmente, limitada a emergências, referindo os autores que o objetivo final da colonização seria a terraformação global de Marte. (Mukundan *et al.*, 2023)

Os autores também realizaram uma experiência de simulação, que analisaram em 2D e 3D, em que um dos blocos que propõem se encontra num cenário de uma tempestade de areia com ventos de 50m/s (velocidade mais elevada do que a que consideram ocorrer em Marte), estudando-o relativamente a 3 direções de vento diferentes, sendo que podemos ver algumas imagens destas simulações na Figura 19. Foram feitas análises estruturais e térmicas a partir das quais se concluiu que a infra-estrutura projetada aguentaria as variações de pressão e de temperatura causadas pelas tempestades de areia. (Mukundan *et al.*, 2023)

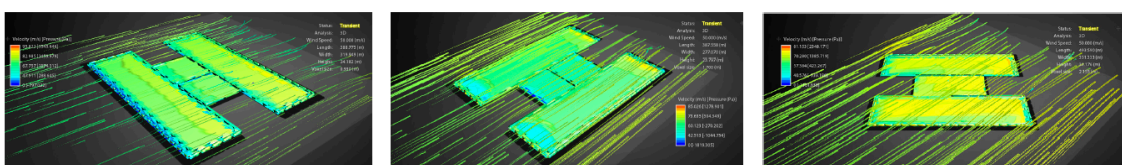


Figura 19 - Análise computacional 3D de infra-estrutura proposta para o projeto Dvaraka. (Mukundan *et al.*, 2023, p.14)

No seu estudo, é apresentada, ainda, uma conceção esquemática detalhada para o sistema de suporte à vida que os autores propõem, baseado (à semelhança de conceitos anteriores) na produção de água, oxigénio e metano (estes dois últimos a um rácio de 4:1 (Shima *et al.*, 2012)) a partir do dióxido de carbono presente na atmosfera marciana, através do processo da electrólise, com a capacidade de geração de 26188kg (de 16 instalações) de água, 23372kg de oxigénio (20341kg usados para combustível e 3032kg para o processamento do ar no *habitat*), 5812kg de metano e 2922kg de hidrogénio por dia (considerando os autores ser produzido combustível suficiente para as necessidades de todos os foguetões que chegassem e descolassem da base). Seria transferido dióxido de carbono para as estufas que, por sua vez, produziriam mais oxigénio. (Mukundan *et al.*, 2023)

Segundo, ainda, os autores, um ser humano saudável, necessita, em média, por dia, de 2kg de alimentos que contenham 56g de proteína, 400 microgramas de ácido fólico, assim como de 1000 mg de cálcio (Kiczorowska *et al.*, 2019), necessitando as mulheres do dobro do ferro dos homens (e, ainda, do dobro dessa quantidade se estiverem grávidas) e variando a quantidade de vitaminas necessárias de indivíduo para indivíduo (Black *et al.*, 1994), pelo que propõem o cultivo de uma seleção de espécies que satisfizesse estas necessidades para cada 100 pessoas abrangidas por 2 das estufas propostas, que “requerem cerca de (...) 12 a 14 horas de luz artificial diária, estrume e um sistema de drenagem adequado” (DeMattio *et al.*, 2020), irrigação ocasional, nutrientes específicos e, até, possivelmente, bactérias (Lindström & Mousavi, 2020). Segundo Oze *et al.*, 2021, o perclorato excessivo presente no solo marciano poderia ser reduzido através da adição de gipso ao mesmo. Existiria, também, um sistema de reciclagem de resíduos de casas de banho e produção de fertilizantes (cujo processo de preparação demoraria 6 meses) para as estufas. (Mukundan *et al.*, 2023, p.11, T.L. - “*All these crops require approximately (...) 12–14 h of artificial light, manures, and a proper drainage system*”)

Quanto à produção de eletricidade em Dvaraka, que possibilitaria a realização de diversas atividades, incluindo muitas das essenciais, no empreendimento, Mukundan *et al.* (2023) estimam que fossem necessários 3,5kWe/pessoa (ou 4,2MWe/1200 pessoas) à exclusão da necessária para as estufas, que necessitariam de 58,3kWe, e consideram que seria possível a produção da mesma através da utilização de reatores nucleares (cuja produtividade não está dependente das condições atmosféricas) e pelo menos um sistema de baterias de níquel-hidrogénio (que armazenariam a energia excedente dos reatores) (Raut *et al.*, 2022), falando também na possibilidade do uso de painéis que, no seu total, de uma área de 126,336m², acreditam que, por sua vez, possibilitariam a obtenção de 4,16MWe, produzindo assim o equipamento de produção de energia nesta base um total de 7,16MWe que, segundo também os autores, seria suficiente para colmatar as necessidades da mesma. (Mukundan *et al.*, 2023)

O estudo também discute a viabilidade financeira do projeto, desde o seu investimento inicial, assim como a recuperação deste, ao sistema comercial que os autores propõem

ser seguido no mesmo, mencionando uma questão pertinente para a presente investigação, tendo os mesmos identificado, acreditam, que a presença de Deutério (D) — “o isótopo pesado do hidrogénio” — em Marte poderia representar um lucro de 9,5 milhões de dólares por tonelada se comercializado na Terra, sendo a composição deste nesta de 166 partes por milhão e de 833 ppm em Marte (Rossi *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021). O turismo e a mineração de asteróides (como fonte para a obtenção de metais de elevada qualidade (Bonner & James, 2021; Ganatra & Modi, 2015) e a partir de 2052) são ainda referidos como possibilidades para a geração de rendimento para a colónia proposta, assim como a transmissão ao vivo de eventos e missões realizados no contexto da implementação e do decorrer da mesma. Referem, ainda, como referência, o custo de transporte da Terra para Marte afixado em 500 dólares por quilograma, enquanto que, de Marte para a Terra, de 200 dólares (também) por quilograma, e estimam que o custo total para o carregamento inicial a ser transportado para a implementação desta base fosse de 700 milhões de dólares e o dos 5 envios seguintes, que incluiriam, tanto carga, como 200 astronautas, cada, rondasse, no seu total, os cerca de mil milhões de dólares. (Mukundan *et al.*, 2023, p.16, T.L. - “*the heavy isotope of hydrogen*”)

Por fim, Mukundan *et al.* (2023, p.19) mencionam, ainda, a possibilidade da cidade de Dvaraka funcionar, no futuro, como estação de abastecimento a outras missões interplanetárias (no contexto da expedição HOPE (“Human Outer Planet Expedition”) (Park *et al.*, 2006; Troutman *et al.*, 2003)).

Um outro conceito publicado para “um novo horizonte, base e nova casa (...) para os seres humanos viverem, trabalharem e explorarem” idealizado para Marte é o de Manal *et al.* (2022, p.22, “*a new horizon, a settlement and a new (...) home for humans to live, work and explore*”). Acreditando os autores que o projeto que propõem compreende, por meio do estado atual (2022) da ciência, todas as instalações necessárias (presentes na Figura 20) à vida humana saudável — incluindo espaços de habitação (H), zonas de saúde, social comum (MPU), de trabalho (W) e de utilidade pública (U), entre outras (como um local de aterragem de foguetões (LS) ou de produção de energia (P)) — assim como que foram considerados os elementos-chave água, oxigénio, solo (para plantação), temperatura, radiação, pressão, vento, fonte de energia, materiais e a superfície do planeta marciano (para construção), juntamente com os devidos aspetos psicológicos, apresentam um projeto para a localização de Mawrth Vallis, selecionada por apresentar um terreno relativamente suave e propício para a construção, além de se situar perto de um antigo vale, demonstrar potencial para a utilização de recursos *in-situ* e a produção de energia solar.

Os autores propõem, também, que a primeira tripulação do projeto fosse constituída por entre 12 a 24 membros, e, que a zona de trabalho fosse composta por laboratórios, uma sala de reuniões, uma sala de comandos e, principalmente (no âmbito da presente investigação), uma estufa, para a qual proporiam uma área total de 2000m² para 48 pessoas. (Manal *et al.*, 2022)

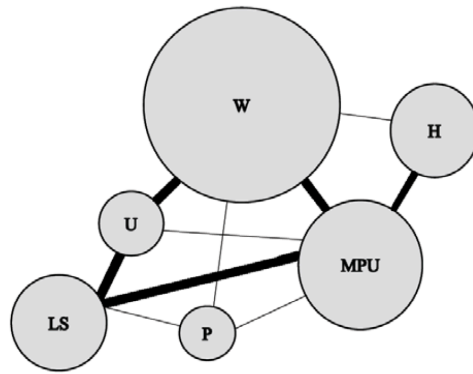


Figura 20 - Imagem representativa da proporção, posição relativa e ligações entre as várias instalações propostas (compreendendo a zona “W” as estufas da base).
(Manal *et al.*, 2022, p.22)

A arquitetura proposta para este empreendimento insere-se dentro de uma estrutura curva (construída em betão marciano), devido aos autores considerarem que esta fosse a melhor opção em termos de resistência às forças do vento e as tempestades de areia, além de oferecer uma proteção eficiente contra a radiação, encontrando-se as zonas habitadas e cultivadas, também, sob um material indicado para este efeito: o ETFE (Etileno tetrafluoroetileno). (Manal *et al.*, 2022)

O conceito teve por base, em parte, características dos seguintes três casos de estudo referidos, também, pelos autores: (Manal *et al.*, 2022)

- a *Mars Ice House* (Casa de Gelo Marciana): vencedora de um concurso da NASA para a idealização de *habitats* impressos em 3D e em materiais naturais, destinada às Encostas do Norte, no Monte Alba, e que através da qual os seus autores, SEArch and Clouds AO, pretenderam criar um espaço protegido contra as adversidades do ambiente marciano, no entanto, claro e com ligação psicológica ao ambiente exterior (Mars Ice House, 2018);
- a *Mars-Base 10* (Base Marciana 10): destinada à ladeira Oeste do Monte Olimpo (que se acredita poder ter hospedado vida ancestral), assim como à habitação permanente de 10 astronautas, e que inclui uma estufa, um sistema bio-regenerativo controlado de suporte à vida (ECLSS) e um laboratório (Sinn & Doule, 2012);
- e o SHEE (*Self-Deployable Habitat for Extreme Environments, Habitat Auto-Implantável para Ambientes Extremos*): um projeto desenvolvido na Europa baseado numa estrutura híbrida e transportável, dobrável e inflável, e com componentes robóticos que suportariam ambientes extremos, sendo que cada unidade desta acomodaria 2 pessoas.

Por fim, os autores (Manal *et al.*, 2022) acreditam, ainda, que o projeto servisse de suporte ao desenvolvimento agrícola, de fabrico e tecnológico em Marte.

Enquanto Petranek (2015, p.50, T.L. - “luxury”), na sua teoria, à semelhança de trabalhos anteriormente referidos, idealiza um projeto com estruturas permanentes

construídas, muito possivelmente, a partir do rególito do solo marciano (para proteção climética e contra a radiação), assim como uma área dedicada a estufas, onde se produziriam alimentos (apesar de referir que, inicialmente, seria essencial o suporte alimentar terrestre). Neste âmbito, menciona o sucesso de uma experiência realizada na Holanda, durante 50 dias, em que se semeou 4200 plantas em solo do Havai e do Arizona, que a NASA considera ser equivalente ao de Marte, estando, também, a ser desenvolvidas outras experiências, como na Ilha Devon, no Canadá, ou pela Sociedade de Marte, no Utah. O autor menciona espécies a cultivar, como o feijão (rico em proteína e fibra) e cogumelos (que podem ser cultivados em restos não-comestíveis de plantas), referindo outras, como a alface (e outras plantas folhudas), que seriam um “luxo”, no entanto, importantes a nível psicológico (Vermeulen, s.d.) e, ainda, o consumo de insectos, como gafanhotos, grilos ou larvas de farinha secas fritas e colocadas em saladas, salientando a sua (também) riqueza em proteína (Vermeulen, s.d.). Considera, ainda, que, a partir de experiências realizadas na EEI (em gravidade-zero) se acredite que a agricultura numa gravidade como a de Marte (de 38% da da Terra) fosse possível.

No entanto, não à semelhança de conceitos anteriormente referidos, o autor propõe duas bases: uma abaixo do equador de Marte, para os astronautas passarem os verões, e uma acima deste, para a permanência dos seres humanos que se encontrem no planeta durante os invernos. E considera que a tarefa mais importante dos mesmos — que acreditaria chegarem, após poucas décadas, aos 50 mil, para uma população viável — seria a procura de água (devido, tanto à necessidade desta no seu estado líquido por parte dos astronautas, como à possibilidade da sua utilização como matéria-prima para a obtenção de outros elementos). E, ainda quanto à construção dos *habitats* e infra-estruturas das bases, Petranek (2015) refere a necessidade do seu bom isolamento e (mais uma vez, encontrada na Literatura revista) a pertinência que representaria a utilização de materiais locais para a mesma — como plásticos, ferro, ou, até, talvez, mesmo, aço e cobre — salientando, ainda, que as estratégias de abrigo e de construção seriam desenvolvidas com a experiência, identificando no ser humano uma adaptabilidade brilhante para, ao longo da História, criar abrigos indicados e adaptados aos ambientes específicos a que os mesmos se destinavam.

Por último, referindo como possibilidade energética técnicas solares passivas, como a absorção de calor a partir de pedras expostas ao Sol durante o dia, para a produção de aquecimento que permitisse suportar as descidas de temperatura abruptas noturnas, o autor mostra-se fortemente apologista de que se procedesse à tentativa da Terraformação de Marte — considerando esta intenção ambiciosa — que descreve como a re-engenharia do planeta vermelho, no seu todo, global, para que se tornasse a atmosfera do mesmo respirável o suficiente, subisse a sua temperatura média de cerca de -62° Celsius (-80°F) para uma de cerca de -7° C (20°F), provocando-se o enchimento dos seus lagos e leitos de rios atualmente vazios, juntamente com a plantação de espécies que forneceriam oxigénio, também, por todo o planeta — fazendo menção de que as plantas prosperariam melhor, até, num ambiente (não extremo mas) com mais dióxido de carbono do que o encontrado, em média, na atmosfera terrestre. Este seria

“um processo que poderia não estar completo em mil anos, no entanto, que resultaria numa segunda casa para os seres humanos”. (Petranek, 2015, p.5, T.L. - “*a process that might not be complete for a thousand years but will result in a second home for humans*”)

No seu estudo, Pombo (2021) propõe um sistema de energia híbrido também apropriado para uma colónia permanente em Marte — em termos de confiabilidade operacional em condições ambientais extremas e de longa duração, e composto por tecnologia atual ou expectável no futuro próximo — mencionando um estudo da ESA de 2006 como a primeira vez em que se destacou a produção e a gestão de energia como tópico relevante a inovar, no presente contexto. O sistema proposto seria, também, adequado à escalabilidade de uma base cuja construção fosse iniciada por robôs (considerando que esta seja uma suposição sensata perante o desenvolvimento testemunhado no campo da robótica) e que se estendesse (em 15-17 anos) a 100 pessoas no seu total (contemplando o regresso à Terra de muitos que fizessem, temporariamente, parte da colónia, o que diminuiria o ritmo de crescimento desta população), número que se enquadraria no intervalo de entre 4 e 500, em que, segundo, também, o autor, cada membro da colónia necessitaria de 24 ou 25 kW de energia.

Para o propósito principal, então, de garantir, tanto a segurança da população, como a capacidade do seu regresso à Terra (no mínimo, até outros meios que o possibilitassem chegassem até à colónia), Pombo (2021) refere que Drake (2009) identifica como tecnologias-chave de geração de energia neste contexto a opção solar, de fissão nuclear e o controlo térmico ativo, descrevendo o primeiro dos autores, também, as seguintes hipóteses, classificando as primeiras destas 3 como fontes externas e as últimas 3, complementarmente, como internas: (Pombo, 2021)

- solar: uma “tecnologia mais do que provada” (p.6, T.L. - “*more than proven technology*”) e de relativas fáceis implementação e manutenção, para além de uma vida expectável longa, no entanto, a sua produtividade dependendo da sua localização, da hora do dia (Boyle, 2004), assim como das condições atmosféricas. Existem, ainda, as condicionantes da intensidade da luz solar ser menor em Marte, comparativamente à da Terra (Appelbaum & Flood, 1990), e a questão da poeira marciana poder pousar sobre os painéis, reduzindo a eficiência dos mesmos, no entanto, podendo existir tecnologias para a remoção desta (Rice *et al.*, 2003) (por exemplo, por repulsão eletrostática (Sorloaica-Hickman *et al.*, 2012)), além do próprio vento o poder fazer, ao acaso, como já aconteceu com alguns dos robôs ativos em Marte (Drake, 2009a), e, de uma margem de instalação adicional de 20% ser suficiente para colmatar 2 meses de tempestade (Drake, 2009). A tecnologia solar não seria a mais indicada para as fases iniciais da colónia, sendo-o, por exemplo, a nuclear (Mason *et al.*, 1989), no entanto, passaria a sê-lo a partir de uma população de 1000 pessoas (Rucker *et al.*, 2016). Segundo Homan & Kaplan (1997), em proporção com uma mesma implementação na Terra, seriam necessárias 2,25 vezes mais acumuladores de energia solar, variando a necessidade de equipamento,

- também, consoante a distância entre o local da sua implementação e o equador do planeta;
- beam(/feixe): é referida, na Literatura, a opção de geração de energia (solar ou nuclear) em órbita e a sua transmissão para a superfície do corpo celeste em questão (Balint, 2005) através de feixes laser ou micro-ondas. No entanto, com uma eficiência atual de 0,4%, acredita-se que esta hipótese não seja (pelo menos, ainda) adequada para escalas planetárias, sendo-o para astros menores (tais como Fobos, uma das luas de Marte) e locais com uma maior densidade atmosférica do que a presente no planeta marciano (Giudici, 1986) de 1% da da Terra;
 - eólica: poderia ser útil em Marte pois, apesar da sua produtividade, comparativamente à sua utilização na Terra, ser diretamente proporcional à diferença das densidades atmosféricas dos dois locais (Boyle, 2004), sabemos que seriam expectáveis períodos de ventos fortes e tempestades neste planeta. Assim, Team *et al.* (1998) propõem que fossem utilizadas turbinas Darrieus, encontrando-se a ESA (2020), também, a desenvolver um gerador de energia eólica destinado a Marte baseado na colheita tribo-elétrica, dadas as condições eletrostáticas da atmosfera marciana;
 - química: tendo a função da acumulação de energia (Giudici, 1986), são propostas, nesta categoria, as hipóteses das baterias ou células de combustível, sendo referido que, apesar de apresentarem uma eficiência de apenas 27% (Drake, 2009), estas últimas têm sido, historicamente, preferidas, dada a sua relação massa-produtividade (Homan & Kaplan, 1997), sendo, assim, uma hipótese comprovada no setor espacial. No entanto, atualmente, os avanços na produtividade e longevidade das baterias (Miranda *et al.*, 2015) podem sustentar a sua eleição, devido às mesmas apresentarem uma eficiência de 80% (Balint, 2005). A utilização de qualquer uma destas hipóteses representaria uma segurança energética a uma base marciana, por permitir reservas para situações de emergência, assim como por contribuir para a longevidade dos geradores, permitindo um funcionamento mais estável dos mesmos, inclusivamente, em combinação com a produção e a utilização de energia nuclear;
 - nuclear: a tecnologia da fissão nuclear pode considerar-se comprovada para operações terrestres (Homan & Kaplan, 1997), ser utilizada a solo (Powell *et al.*, 2001) ou em combinação com outras hipóteses tecnológicas (Drake, 2009) e não é dependente das condições meteorológicas, conseguindo prover, de forma estável, por reator, até 100kWe. Por outro lado, apresenta a desvantagem de emitir radiação e de longevidade limitada, sendo que, neste sentido, e, para missões a longo-prazo, é sugerida a sua implementação subterrânea a cerca de 2 metros da superfície;
 - termal: para colónias cuja população seja de acima de 100 pessoas, considera-se que a utilização da energia nuclear produzisse quantidades excedentes de calor (Powell *et al.*, 2021) que, segundo Wang *et al.* (2011), poderia, também, ser recuperado, servindo à produção de energia, termoelectricamente. Como outra hipótese, ainda, para a produção de energia termal, poder-se-ia procurar, em Marte, possíveis fontes para a exploração geotérmica (Morgan, 2009), existindo, *inclusive*, tecnologia atual para a escavação da superfície deste planeta até aos 300 metros (M E P A G, 2008).

Em resumo, o autor defende a utilização de um sistema de energia híbrido para qualquer missão humana destinada à superfície de Marte — como, por exemplo, um sistema composto por energia nuclear e solar (Mason *et al.*, 1989; Drake, 2009; Gustafson, 2003) — devido à segurança que a redundância característica do mesmo representaria, defendendo outros autores (Drake, 2009; Potter *et al.*, 2018) a opção da produção de energia através de apenas uma fonte (como, também, a nuclear) combinada com uma solução complementar de armazenamento da mesma. É também referido que a produção solar de energia é mais dispendiosa, no entanto, também, mais confiável, comparativamente à nuclear, se combinada com uma solução de armazenagem. A longo prazo, Pombo (2021) acredita, também, na opção eólica e geotermal. E, assim, considera apresentar uma configuração de produção e armazenamento energéticos segura e modular, capaz de prover altas voltagens para a alta-maquinaría necessária à base, assim como as pequenas voltagens necessárias ao dia-a-dia, e de garantir, não apenas a sobrevivência da população, mas, também possibilitar a realização de experiências científicas.

Por outro lado, Romio (2022, p.1, T.L. - “*Mars Underground*”) publicou um estudo sobre “Marte Subterrâneo”, focado numa estratégia a longo-prazo também destinada a colónias humanas, cuja implementação das bases é idealizada no interior dos tubos de lava encontrados em Marte, considerando o autor esta estratégia como, principalmente, uma solução que ofereceria a proteção necessária contra o clima extremo e inóspito de Marte. Mais especificamente, como a possível localização deste conceito (escolhida, também, através do auxílio do *software* computacional JMARS, que podemos observar na Figura 21) é sinalizada a região de Tharsis que apresenta *skylights* — aberturas no topo de tubos de lava), sendo mencionados exemplos terrestres de habitação subterrânea, como as cidades nas zonas da Capadócia, Anatólia, Jordânia ou América.

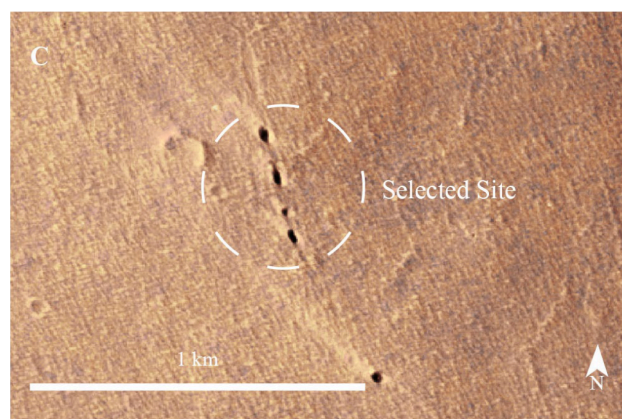


Figura 21 - Localização selecionada para o conceito proposto por Romio (2022, p.5).

A figura anterior apresenta o segmento do tubo selecionado para a localização da colónia, que obdeceu ao critério de conter, no mínimo, 2 *skylights*/aberturas, sendo proposta uma conexão viável com a superfície do planeta, assim como a modificação do interior do tubo através de atividades como a escavação (cujo material resultante seria também transformado e utilizado para construção através da tecnologia da impressão 3D, também estudada através do trabalho de PISCES (2019), Kading & Straub (2015) e

Kalapodis *et al.* (2020), sendo, ainda, referidas outras técnicas de produção local como a utilização de MOXIEs (projeto que veremos adiante)), encontrando-se imagens do conceito proposto — desenvolvido, à semelhança de outros estudos analisados, também tendo em conta os aspetos da redundância e da expansão — nas seguintes Figuras 22, 23 e 24.



Figura 22 - *Render da superfície da colônia.*
(Romio, 2022, p.8)

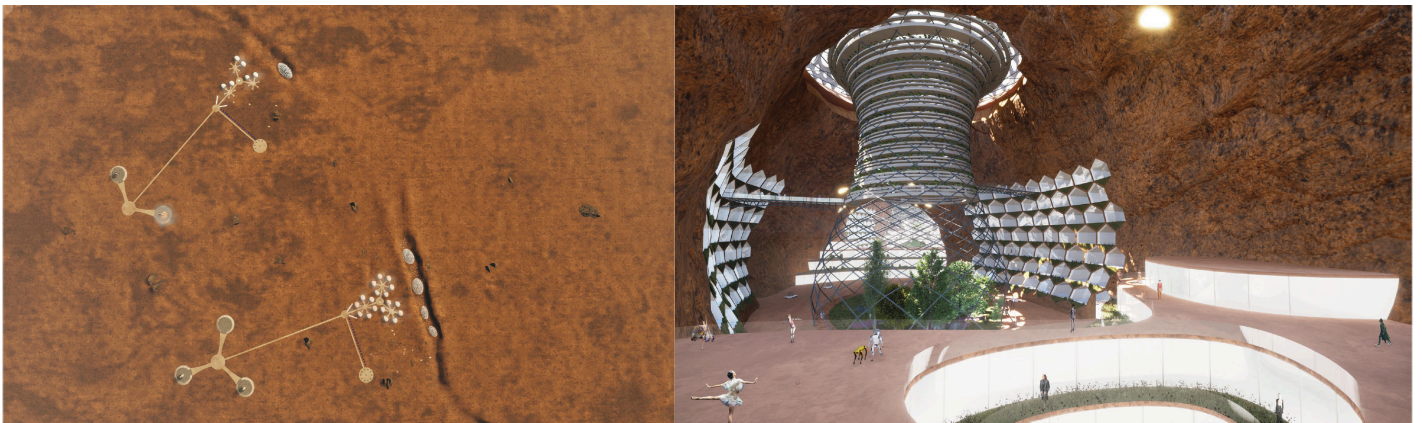


Figura 23 - *Render da superfície da colônia vista em planta.*
(Romio, 2022, p.9)

Figura 24 - *Render do interior do conceito proposto.*
(Romio, 2022, p.10)

Foram, ainda, para o desenvolvimento deste conceito, tidos em conta os aspetos psicológicos associados à habitação subterrânea, tendo o autor (Romio, 2022) procurado a iluminação natural, assim como a presença de elementos naturais (Endicott *et al.*, 2020), além de ser proposta a prática da agricultura local como meio de auto-sustento alimentar da colônia, tendo o dimensionamento desta sido calculado, precisamente, com base na área que seria necessário cultivar para tal (sendo a mesma de 11064m², que produziria 237212kg de alimentos em 9 meses e meio, e, 316283kg em 12 meses), tendo resultado a estimativa no número máximo de 407 habitantes. Foi, ainda, contemplada a possibilidade da automação de tarefas agrícolas e estimado o tempo de trabalho de campo médio diário necessário por astronauta.

Por fim, é referida a incerteza associada às condições encontradas nos tubos de lava marcianos, devida à pouca investigação empírica já realizada na área. (Romio, 2022)

Também segundo Pazar (2020) e Zubrin (1996), devido à distância que separa a Terra e Marte, uma colônia neste outro planeta iria beneficiar da produção local, potencialmente, até, total, de recursos. (Romio, 2022) Na Literatura, existem, ainda, outras propostas, segundo Pombo (2021), que seriam suportadas pela produção de recursos *in situ*, como, por exemplo: a de uma colônia de 500 pessoas situada na zona polar norte de Marte (devido à existência de gelo/água); um outro que propõe uma arquitetura modelar para 100, 1000 ou 10000 pessoas focado na obtenção de água a partir da atmosfera; outro que propõe a implementação de um sistema ISRU para fins de sistemas de energia e propulsão de veículos (marcianos e espaciais) também numa colônia de 100 ou 10000 pessoas, num cenário de terraformação; assim como outros que descrevem (também) aplicações de equipamento ISRU que se estendem, por exemplo, ao campo da agricultura. Nos estudos consultados pelo autor (Pombo, 2021) relativos às necessidades de energia estimadas, o mesmo encontra um consenso de que a produção local de recursos representa o item de maior consumo neste tipo de empreendimentos. Mukundan *et al.* (2023, p.9) acreditam que pudessem, também, ser fabricados em Marte materiais como o polietileno, polipropileno e policarbonato (Zaccardi *et al.*, 2022), mencionando, igualmente, a existência de altas concentrações de ferro ou alumínio no regolito do planeta (Rochette *et al.*, 2006). Romio (2022) refere que, obtendo-se localmente metais, em Marte, seria possível a construção de itens como estruturas ou, mesmo, de eletrônica.

O estudo de Shishko *et al.* (2015, p.2) propõe “um Modelo de Economia Integrada para ISRU de suporte a uma Colônia em Marte” focado na Mineração Fora da Terra, através de um estudo quantitativo e, também, baseado em simulações computacionais, que identifica oportunidades comerciais neste âmbito (da mineração da Lua, Marte e Asteróides) para o futuro da exploração do Sistema Solar, sendo que os autores consideram a implementação de uma colônia humana marciana e a obtenção da mesma da sua própria viabilidade econômica como os próximos dois “grandes saltos para a Humanidade” para além da chegada do Homem a Marte.

Através da Literatura analisada, verifica-se que este parece ser o principal próximo grande objetivo do Setor Espacial, tendo a NASA já publicado as suas intenções em concordância com o mesmo (Kasiviswanatha *et al.*, 2022) (apesar de segundo Petranek (2015) a agência americana sempre ter referido que pretendia, previamente, estabelecer uma base lunar) que, segundo Charront *et al.* (2015) e Charront *et al.* (2015), seria um empreendimento incrível, representador de desenvolvimentos técnicos e econômicos significativos, referindo Paiva (2016, p.72) ainda ter “a esperança de que a primeira missão [humana] a Marte seja fruto de uma grande colaboração internacional, que inclua a China”, partilhando Pombo (2021), assim como Manal *et al.* (2022) esta ideia.

Enquanto várias Agências Espaciais pelo mundo continuam a trabalhar para avançar a exploração espacial humana (Charront *et al.*, 2015), segundo Elon Musk (Wall, 2015, s.p.), a janela para alcançarmos o planeta vermelho está, de momento, aberta, pelo que a deveríamos aproveitar a oportunidade de nos tornarmos uma espécie inter-planetária

enquanto podemos, considerando, também, Heldmann *et al.* (2022) que o estabelecimento de uma colônia auto-sustentável em Marte seja crucial para este objetivo e Suresh *et al.* (2017) que o mesmo representaria uma nova era na História da Humanidade. Segundo Petranek (2015, p.4, T.L. - “*When the first humans set foot on Mars, the moment will be more significant in terms of technology, philosophy, history, and exploration than any that have come before it, all because we will no longer be a one-planet species*”), “quando os primeiros seres humanos pisarem Marte, o momento será mais significativo em termos de tecnologia, filosofia, história e exploração do que qualquer outro que o tenha precedido pois, não seremos mais uma espécie uniplanetária.” O autor compara, ainda — *inclusive*, a nível de perigos — a exploração humana de outros planetas à viagem de teor circum-navegante de Fernão de Magalhães, realizada numa altura em que ninguém na Terra sabia se seria possível navegar-se do Oceano Atlântico até ao Pacífico. E coloca a questão: apesar de devermos fazer todo o possível para preservar o nosso planeta-natal, porque não poderíamos, simultaneamente, cumprir este objetivo espacial que, inclusivamente, nos poderia sensibilizar melhor para a questão ecológica da Terra?

Para além desta, o planeta vermelho é considerado o local mais habitável de todo o Sistema Solar (Margulis & Guerrero, 1995 & Zubrin, 2018 *in* Mukundan *et al.*, 2023) “e vale a pena ir a Marte? A longo prazo, não tenho a mais pequena dúvida em responder de modo afirmativo, convicto de que daqui a mil anos lá estaremos de maneira permanente se, entretanto, a espécie humana não se autodestruir” (Paiva, 2016, p.72). E se a ideia de o ser humano ir a Marte parecer estranha, tenha-se em consideração que quando Goddard referiu que um foguetão poderia ir à Lua foi ridicularizado pela primeira página do *New York Times* que, quase 50 anos depois, emitiu uma nota corretiva, referente ao caso, no dia a seguir à missão *Apollo 11* ter descolado da Lua (Petranek, 2015).

Estando a mesma, como vimos, já a trabalhar para a construção de um meio de transporte para tal, acredita-se que a SpaceX seja a empresa mais provável de ser a primeira a conseguir aterrar humanos em Marte (Petranek, 2015; Weitering, 2019; Wall & Howell, 2022; Paul Wooster *in* Weitering, 2019), envolvendo o seu plano o envio de pessoas a bordo de várias naves (Petranek, 2015) para o planeta vermelho a cada 26 meses para o estabelecimento de uma colônia que, entre 50 e 100 anos, atingisse o meio milhão de pessoas (Elon Musk *in* Wall & Howell, 2022), possivelmente, a partir de 2030 (Elon Musk *in* Petranek, 2015). O canal NeoScribe (2019, s.p., T.L. - “*in our lifetime*”) considera que veremos este objetivo a ser concretizado já “durante as nossas vidas” e, segundo Pombo (2021), a ida do Homem a Marte seria o início de uma nova era no setor espacial, à qual se seguiriam muitas missões de novos teores no setor, como, segundo Petranek (2015), um dia, a exploração de luas de Saturno e Júpiter, ou dos minerais existentes no Cinturão de Asteróides localizado entre Marte e Júpiter que poderão colmatar necessidades terrestres deste tipo e poderiam representar 100 mil milhões de dólares para cada pessoa, atualmente, existente na Terra. As viagens de retorno à Terra deste tipo de exploração seriam facilitadas pela existência de uma gravidade menor na maioria dos astros mencionados, sendo necessário, para a descolagem dos mesmos, muito menos potência do que para descolarmos da Terra, também, num foguetão (Petranek, 2015).

A nível de custos financeiros, “nem todos os autores são unânimes quanto ao apoio que deve ser dado à exploração do espaço” (Paiva, 2016, p.71), acreditando Petranek (2015) que, infelizmente, o derradeiro motivo pelo qual iremos colonizar ou transformar Marte será a obtenção de lucro, lembrando Elon Musk (Petranek, 2015) que também na altura dos Descobrimientos e do estabelecimento de colónias europeias foi necessário um grande investimento, talvez equivalente ao necessário para se estabelecer uma base em Marte que, segundo Paiva (2016, p.76) será de “várias centenas de milhares de milhões de euros, muito mais do que o custo da missão Apollo, estimado em cerca de 120 mil milhões de euros (em moeda atual[, de 2016])”.

Segundo, ainda, Petranek (2015), a possibilidade da terraformação de Marte dependeria, diretamente, de quanto capital se alocasse a tal objetivo, estimando a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) (Paiva, 2016, p.54) “que, em todo o mundo, o volume de negócios do setor espacial em[, por exemplo,] 2013 foi de 201,9 mil milhões de euros” e referindo Palun e Lascombes (2022) que se estima que, no fim da década atual, a economia espacial esteja avaliada em mais de 1 bilião de dólares.

2.1.4. Logística Espacial

Rapp (2013), Hormigo *et al.* (2003) e Blaine *et al.* (2010) (*in* Shishko *et al.*, 2015) acreditam que, apesar de não se saber, ao certo, que avanços tecnológicos ocorreram para os próximos “grandes saltos” identificados no horizonte futuro do Setor Espacial, possa afirmar-se que, não apenas a utilização local de recursos (ISRU) mas, também, a Logística Interplanetária, serão capacidades significantes.

2.1.4.1. Logística e Cadeia de Abastecimento

Palun e Lascombes (2022, s.p., T.L. - “*logistics - the movement and management of materials*”; “*transport goods and people by land, water and air*”) definem “Logística” como “a movimentação e gestão de materiais” e relatam como a própria fundação da nossa civilização se baseou nesta, tendo o seu desenvolvimento sido acompanhado pelos próprios avanços das nossas capacidades e redes mais organizadas e sofisticadas para o “transporte de bens e pessoas por meio da terra, água e ar”. Afirmam, ainda, que seja testemunhável, atualmente, que o desempenho de qualquer grande infra-estrutura seja, obrigatoriamente, suportado por serviços logísticos organizados.

Por sua vez, o CSCMP (Council of Supply Chain Management Professionals, 2010 *in* Carvalho, 2010, p.24) define “Logística ou Gestão Logística como a parte da Cadeia de Abastecimento que é responsável por planear, implementar e controlar o eficiente e eficaz fluxo directo e inverso (...) de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a ir ao encontro dos requisitos/necessidades dos clientes”.

2.1.4.2. Logística Espacial

Palun e Lascombes (2022) descrevem como a atividade da Logística, cujo papel (como já referido) consideram ter sido essencial no desenvolvimento da nossa civilização, se

estendeu para o setor espacial, e que, para fornecer resposta ao desenvolvimento futuro envisioned para o mesmo, a própria logística neste campo irá, também, ser desenvolvida, com as devidas necessidades que as viagens humanas a Marte acarretarão (NASA, 2020), especialmente, devido à distância entre este planeta e a Terra limitar certos aspetos físicos de fornecimento (Cooper *et al.*, 2017; Catauro & Perchonok, 2012 *in* Zhang *et al.*, 2022). Ao mesmo tempo, como resultado do desenvolvimento da indústria de satélites atual, juntamente com as infraestruturas e empreendimentos espaciais que os autores esperam começarem a ser lançados num futuro próximo, Palun e Lascombes (2022, s.p., T.L. - “*As result, space will become increasingly crowded and complex, and an efficient logistics system is essential to ensure the sustainability of this new economy*”) consideram que “o Espaço tornar-se-á crescentemente lotado e complexo, e [que] um sistema logístico eficiente seja essencial para garantir a sustentabilidade desta nova economia”, propondo, para a gestão deste espaço, a utilização de *softwares* (como, a exemplo, o ExoOPS™). Relatam, ainda, que os satélites em órbita da Terra têm, cada vez mais, de realizar manobras de correção de curso ou de desvio, de modo a evitarem ou arriscarem colisões, o que tem um impacto direto no seu tempo de vida, devido a uma consequente maior utilização de combustível. Por fim, Palun e Lascombes (2022, s.p., T.L. - “*a lack of in-orbit mobility may constitute a real threat for space sustainability and thus for mankind*”) atentam que “a falta de mobilidade em órbita [dificultada pelos detritos espaciais] possa constituir uma ameaça real para a sustentabilidade do Espaço e, portanto, para a Humanidade” defendendo que, quando um satélite/infra-estrutura deixa de estar a funcionar, programada ou inesperadamente, deva ser retirado/a do espaço orbital. Envisionam, ainda, o frete no próprio espaço, com o transporte de matérias-primas e de produtos semi-acabados para locais não-terrestres de transformação destes que, quando finalizados, são colocados, por exemplo, num destino orbital específico, estendo-se, assim, os serviços logísticos existentes para além da Terra, constituindo-se uma “mobilidade *end-to-end* espacial” (Palun & Lascombes, 2022, s.p., T.L. - “*Space end-to-end mobility*”).

Para a criticalidade inerente às missões humanas destinadas a Marte, Charront *et al.* (2015) defendem a capacidade de auto-sustentabilidade das mesmas, que pudesse colmatar o impacto de problemas de cancelamento ou adiamento do seu fornecimento terrestre, e Grogan *et al.* (2011) refere, ainda, para tal, também, a importância de capacidades avançadas de planeamento. Habitualmente, no setor espacial, considera-se a destruição de carga algo pouco problemático comparativamente à ocorrência de um acidente com vidas humanas a bordo. No entanto, no caso do abastecimento de uma base em Marte, um acidente que envolvesse a destruição ou a inutilização da carga destinada a tal, especialmente, se já perto da chegada ao seu destino ou fora de um prazo possível para a sua substituição, poderia representar as mesmas consequências do que um acidente ocorrido diretamente com vidas humanas, caso as pusesse em causa. Assim, salienta-se a seriedade desta questão e a relevância e importância da eficácia de um serviço logístico capaz de suportar um empreendimento humano em Marte que, segundo Grogan *et al.* (2011) seria caracterizado por altos custos, capacidade de carga limitada e requisitos críticos.

Existem, na literatura analisada, estudos de simulações computacionais realizadas neste âmbito — da logística e fornecimento espaciais — como o de Grogan *et al.* (2011) — que identificam (referenciando Stromgren *et al.* (2008, s.p., T.L. - “*handling, usage, and disposal of goods at the destination*”; “*delivery of goods[, resources] and elements to a destination*”)), no contexto abordado, dois níveis: a micro-logística, caracterizada pelo “manuseamento, uso e descarte de mercadorias no seu destino”, e a macro-logística, pela atempada “entrega de bens[, recursos] e elementos num destino” específico — defendendo os autores que o futuro da exploração espacial não está limitado a missões esporádicas mas, sim, a sistemas logísticos mais recorrentes e de conexões mais complexas.

O estudo de Grogan *et al.* (2011, p.1) concentra-se sobre a análise macro-logística de 4 cenários de exploração espacial, destinadas ao re-abastecimento da EEI (realizado pela NASA, a ESA, a JAXA, a Roscosmos e empresas comerciais), da Lua, a um objeto próximo da Terra “1999-AO10”, e, a Marte e às suas luas (Fobos e Deimos), através do *software* SpaceNet, que julgam adequado para a modelação de missões de alta-abstração, características do nível da macro-logística. Calcularam e simularam todo o tipo de mantimentos que consideraram necessários ao tipo de objetivo pretendido, tendo-os identificado e categorizado de acordo com a técnica COS (“Classes of Supply”, Classes de Abastecimento”), baseada, por sua vez, em técnicas utilizadas pela NASA e Forças Militares para os mesmos fins, tendo estes sido alocados a cada uma das seguintes categorias: 1. Propulsores e Combustíveis, 2. Mantimentos para a Tripulação (como 201: Água e 202: Comida), 3. Operações da Tripulação (como 302: Equipamentos e Consumíveis), 4. Manutenção e Conservação (como 401: Peças Sobressalentes e de Reparo e 405: Equipamentos e Consumíveis de Limpeza, 5. Arrumação e Retenção (tais como, 501: Recipientes de Carga e 502: Equipamento de Gestão de Inventário), 6. Exploração e Pesquisa (como 601: Instrumentos científicos e 603: Amostras), 7. Resíduos e Descarte (como 701: Resíduos, 702: Equipamento de Gestão de Resíduos e 703: Peças com Falhas), 8. Habitação e Infraestrutura (como 803: Sistemas de Energia, 804: Sistemas Robóticos e 805: Sistemas de Utilização de Recursos), 9. Transporte e Transportadoras pois, os autores consideraram (logicamente) ser necessário identificar-se, previamente, as necessidades e recursos (contínuos ou discretos) que seria necessário colmatar-se. Em conclusão do trabalho de simulação efetuado, os autores obtiveram que seriam necessários, para a realização das missões, respetivamente às mesmas, 1920 (EEI), 2628 (Lua), 148 (NEO) e 6911 dias (Marte), aconselhando, como trabalhos futuros, a elaboração, neste âmbito, de modelações probabilísticas e/ou de diferentes cenários de contingência.

2.2. Agricultura

Na literatura revista, identificou-se a relevância da Agricultura para a auto-sustentabilidade de empreendimentos humanos localizados fora da Terra, ou seja, para o desenvolvimento da Exploração Espacial Humana, pelo que se realizou, em seguida, investigação mais detalhada acerca deste tópico.

2.2.1. Agricultura Terrestre

A prática da Agricultura tem origens muito antigas e provenientes de diferentes partes do mundo, sendo a produção de alimentos suficientes para uma população que se encontre em crescimento um fator de atenção e de dedicação (Singh *et al.*, 2023; Hasan *et al.*, 2022) e a Agricultura um aspeto crucial para o avanço de uma economia (Hasan *et al.*, 2022).

2.2.1.1. Especificidades, Boas práticas e Linhas Orientadoras para a prática da Agricultura na Terra

Podendo ser e sendo a prática da agricultura realizada de modo equilibrado com a própria Natureza e os respetivos ciclos e outros aspetos inerentes à mesma ou, por outro lado, de forma ecologicamente (mais ou menos) nociva, encontrou-se, na Literatura, exemplos de métodos que sugerem práticas agrícolas consideradas ecológicas.

Kumar *et al.* (2023) descrevem o Zero-Budget Farming — método para o exercício da agricultura por meios eficientes (a nível da utilização de recursos), derivado de antigas práticas agrícolas indianas, que visa reduzir os custos da produção dos alimentos, sendo indicado para todos os tipos de culturas em zonas agro-climáticas — referindo estratégias como a cobertura e proteção dos solos através de resíduos agrícolas e de uma mistura natural que inclui extrume de vaca, a utilização de inseticidas e fertilizantes naturais, ou seja, sem químicos, juntamente com a otimização da necessidade de irrigação das plantações. Apresentam, também, um estudo realizado que comparou a agricultura *zero-budget* com a *não-zero-budget* em que a primeira das alternativas reportou os benefícios de uma necessidade de água e eletricidade entre 50 a 60% menor do que a segunda, assim como a redução de emissões de metano e, no geral, um menor custo de produção.

Mishra (2023), por sua vez, descreve algumas estratégias da Agricultura de Carbono (*Carbon Farming*) — que define como uma prática que promove o armazenamento de carbono na terra, a remoção de gases nocivos da atmosfera e beneficia as fontes de água locais — nomeadamente:

- A Aplicação reduzida de fertilizantes: identificando os *inputs* químicos e inorgânicos como redutores da capacidade dos solos de isolar o carbono, financeiramente dispendiosos e responsáveis pela libertação de bastantes gases de efeito estufa, defendendo que a sua não-aplicação ou reduzida aplicação “é uma forma de reduzir custos, otimizar a aplicação de nutrientes nas culturas e de melhorar a saúde do solo” (p.9, T.L. - “*is a cost-reducing way to optimize the nutrient application for crops and improve soil health*”);

- A Gestão melhorada de resíduos: incentivando a permanência dos resíduos (como palhas) da colheita nos campos, cobrindo-os também com adubo, “aumentando a humidade e a fertilidade do solo, ao mesmo tempo permitindo a interação do material orgânico com microorganismos para uma composição mais saudável do solo” (p.9, T.L.

- “*enhances soil moisture and fertility while allowing the organic material to interact with microorganisms for healthier soil composition*”);

- A Eliminação de pousios vazios: em vez de deixar o solo exposto, sem proteção perante elementos como o calor, vento, chuva e ervas daninhas, podendo o carbono escapar mais facilmente do solo, propõe “semear-se culturas fixadoras de azoto, como o trevo, que não apenas ajudam a manter o carbono no solo mas, também, melhoraram o teor de azoto do solo para a colheita seguinte” (p.9, T.L. - “*sowing nitrogen-fixing crops like clover can help keep the carbon in the ground as well as improve the soil's nitrogen content for the next crop*”);

- A Semeadura de culturas companheiras: ao cultivar-se 2 ou mais culturas complementares juntas, beneficia-se, não apenas essas culturas mas, também, o solo: “por exemplo, uma cultura pode ser semeada para proteger a cultura primária de pragas e insetos” (p.9, T.L. - “*For example, one crop is sown to protect the primary crop from pests and insects*”);

- A Agrofloresta: que se define pela prática da agricultura através da integração intencional desta com árvores, ajudando a armazenar carbono nos solos e, especialmente, fornecendo benefícios cruciais por debaixo do solo. Este método aumenta ainda a produtividade agrícola, melhora a qualidade do ar e da água locais e fornece um *habitat* à vida selvagem na área;

- A Gestão melhorada da água: “o excesso de água elimina (através de lavagem) nutrientes e pode até resultar em erosão. A gestão adequada da irrigação através da realização da rega em horários apropriados, executada nas proporções corretas e à profundidade e distância ideais das culturas, pode otimizar o crescimento das mesmas e minimizar o desperdício de recursos” (p.9, T.L. - “*Excess water washes away nutrients and can even lead to erosion. Managing irrigation properly by watering at appropriate times, given at the right rates, and at the most optimum depth and distance from the crops can optimize crop growth and minimize resource waste*”).

Como último exemplo, Singh *et al.* (2023) mencionam a Agricultura Natural (*Natural Farming*) que se caracteriza por algumas das estratégias referidas acima, como a aplicação nas culturas de compostos orgânicos e naturais, assim como, também, o conceito de se misturar o cultivo agrícola com a criação de animais, considerando que a sua co-existência forneça interligações naturais benéficas, por exemplo: enquanto o estrume do gado pode servir de adubo a plantações, também por exemplo, de cereais, uma parte da colheita pode ser usada como forragem para o mesmo gado, referindo os autores que esta prática de produção é já utilizada para fins comerciais nos E.U.A ou no Japão. Também similarmente aos métodos anteriores, acredita-se que a Agricultura Natural apresente, como vantagens, o aumento da fertilidade e nutrientes dos solos, a melhoria da estrutura destes, assim como a redução da sua erosão, além do próprio aumento do rendimento das colheitas, juntamente com a facilitação de uma boa distribuição de recursos ao longo do ano, apresentando, apenas, como desvantagem, a dificuldade acrescida no controlo e na monitorização do cultivo perante cenários de co-existência deste com espécies animais (Singh *et al.*, 2023).

Em suma, existem cenários atuais terrestres de práticas agrícolas ecologicamente alarmantes, como a utilização excessiva de fertilizantes químicos (Kumar *et al.*, 2023) — que se considera que representariam ameaças com um risco ainda maior se ocorridos num empreendimento colonial exterior à Terra, podendo não existir outro espaço ou ambiente de cultivo alternativo local, caso este fosse danificado, e, podendo, também, não existir, por um período significativo, outra fonte de fornecimento alimentar —, e os métodos acima apresentados constituem alternativas sustentáveis para a indústria agrícola (Singh *et al.*, 2023; Hasan *et al.*, 2022) que apresentam preocupações e soluções destinadas à agricultura não apenas numa perspetiva da maximização do rendimento da produção, mas, também, da qualidade desta, assim como através de perspetivas sociais e ecológicas (Kumar *et al.*, 2023).

2.2.1.2. Alta Tecnologia na Agricultura Terrestre

É possível observar aplicações de alta-tecnologia no campo da agricultura, desenvolvidas como solução para o aumento do volume das colheitas ou da eficiência do trabalho agrícola, sendo um exemplo destas a utilização de robôs agrícolas, destinados à automação de determinadas tarefas (Shamshiri *et al.*, 2018 *in* Xu & Li, 2022), apresentando os mesmos vantagens como o seu peso leve (e, por isso, menos impactantes para o solo comparativamente à maquinaria pesada) (Xu & Li, 2022), além de serem capazes de desempenhar tarefas de alta-precisão, como a remoção de ervas daninhas, o que, por sua vez, reduz a necessidade de utilização de pesticidas (Bawden *et al.*, 2017, Scholz *et al.*, 2014a e Underwood *et al.*, 2015 *in* Xu & Li, 2022). Não obstante, a implementação de robôs na agricultura requer desenvolvimentos mais sofisticados na área da robótica comparativamente a outras indústrias, devido à necessidade de implementação de diversos sensores e de maior inteligência e autonomia dos robôs por se encontrarem, neste contexto, em ambientes menos controlados do que no interior de fábricas, podendo, também, devido a estas características, ser mais dispendiosos. Também não obstante, têm já sido desenvolvidos robôs neste campo (como os Ladybird, Shrimp ou RIPPA (Bogue, 2016; Stein *et al.*, 2016; Underwood *et al.*, 2017), o AgBotII (Bawden *et al.*, 2017), ou, ainda, o TerraSentia, impresso em 3D (Zhang *et al.*, 2020), entre muitos outros), especialmente, através da combinação das tecnologias da visão computacional e da inteligência artificial, demonstrando potencial para a realização de colheitas e de remoção de ervas daninhas, podendo, na sua maioria, navegar pelo espaço em que se encontram de forma autónoma. (Xu & Li, 2022)

Outro exemplo de alta-tecnologia presente na agricultura é a sua digitalização (*digital/smart agriculture/farming*), através da integração de sensores, controlos e tecnologias da informação que melhoram a monitorização das colheitas (Xu & Li, 2022) e, também com base na transmissão de informação sem barreiras espaciais e temporais, permitem a otimização dos recursos utilizados na generalidade das atividades relativas às mesmas, assim como possibilitam uma maior sustentabilidade agrícola (Hasan *et al.*, 2022). No seu estudo relativo ao tema, os estudantes agrícolas Hasan *et al.* (2022, p.3, T.L. - “*increasingly massive digitalization era*”) mencionam acreditar que este tipo de modernização da agricultura seja uma necessidade atual, assim como algo inevitável em linha com a “era da digitalização cada vez mais massiva” e da *internet* das coisas,

empregando, mesmo, neste contexto, o World Bank (2020 *in* Hasan *et al.*, 2022) o termo agricultura 4.0 (e que, inclusivamente, possa ser o fator preponderante para o aumento do interesse das gerações mais jovens neste setor, que tem sido, progressivamente, cada vez menos do interesse destas, em geral) (Hasan *et al.*, 2022).

2.2.2. Agricultura Espacial

Como seria de esperar, qualquer missão espacial que inclua seres humanos necessitará sempre de prover e de garantir a alimentação necessária da sua tripulação/população, pelo que se procurou investigar, na Literatura, quais as necessidades alimentares humanas específicas no Espaço, assim como o que já foi realizado (maioritariamente, a nível experimental) relacionado com a prática da agricultura espacial.

2.2.2.1. Alimentação no Espaço e na Estação Espacial Internacional

“Historicamente, a comida no espaço era, essencialmente, desidratada ou provida em pastas e consumida através de tubos[, desde 1961, quando Yuri Gagarin, o primeiro homem a estar no espaço, comeu uma pasta de carne de vaca e de fígado e um molho de chocolate como sobremesa (ambos os “pratos” a partir de tubos de alumínio). No entanto,] à medida que a ciência e a tecnologia nos vão fornecendo novas formas de processamento e embalamento de alimentos e ingredientes, as refeições também melhoraram, assemelhando-se, agora, a muitas como as que temos na Terra”. (s.a., s.d., s.p., T.L.- *“Historically, space food was mainly dehydrated or provided in pastes and eaten from tubes. As science and technology have provided us with new forms of food processing, packaging and ingredients, the foods have also improved to now resemble many meals we have on Earth”*)

Relativamente à alimentação espacial, May (2021) descreve um paralelismo com quando se vai acampar e se precavê, previamente, que se tenha os alimentos necessários, assim como os meios para a consumir (e, também, cozinhar, caso necessário). Além disto, a autora menciona a necessidade de armazenar os alimentos de forma apropriada, seleccioná-los tendo em conta a sua perecibilidade e, ainda, a necessidade de se arrumar (e, possivelmente, limpar) todo o equipamento utilizado, assim como de descartar o lixo adequadamente após a refeição. No caso dos astronautas, tem de acontecer o mesmo.

A autora relata que, em média, uma mulher relativamente pequena necessita de cerca de 1900 calorias por dia, enquanto um homem relativamente grande ingere cerca de 3200 no mesmo período, sendo, então, a quantidade de calorias diárias necessárias por astronauta variável, e que, atualmente, a bordo da EEI, estes “realizam três refeições por dia: o pequeno-almoço, o almoço e o jantar” (May, 2021, s.p., T.L.- *“Astronauts eat three meals a day: breakfast, lunch and dinner”*), o que resulta, durante um ano a bordo, na necessidade média de 777kg (que incluem a massa também dos seus itens de embalamento) de comida por astronauta (NASA, 2007 *in* Romio, 2022). Existem vários alimentos pelos quais os astronautas podem optar como frutas, nozes, manteiga de

amendoim, frango, carne de vaca, alimentos vindos do mar, doces, *brownies*, etc., sendo que existem também nutricionistas a garantir que a alimentação a bordo é realizada através de uma ingestão equilibrada de vitaminas e de minerais (s.a., s.d.). Existem, ainda, bebidas, como café, chá, sumo de laranja, de frutas e limonada (bebendo os astronautas, maioritariamente, água (s.a., s.d.)), e, também, molhos, como mostarda, *ketchup* e maionese e condimentos como sal e pimenta, só que em estado líquido, visto que, em situação de gravidade zero, não é possível polvilhá-los pela comida pois, estes flutuariam, correndo-se o perigo de entupirem as saídas de ar ou de ficarem presos nos olhos, boca ou nariz dos astronautas (May, 2021). As refeições ingeridas a bordo são também registadas através de códigos de barras, de forma a existir um rastreamento da alimentação dos astronautas (s.a., s.d.). Enquanto alimentos como a fruta são ingeridos na sua forma natural, outros são preparados previamente, existindo também um forno a bordo para aquecer o que for necessário — assim como uma estação de água, onde se reconstitui as refeições desidratadas ou se enche sacos com água (s.a., s.d.) —, não existindo qualquer tipo de refrigeração (para alimentos) a bordo (May, 2021). Os alimentos são empacotados de forma a ocuparem o mínimo de espaço possível, ficarem devidamente acondicionados — especialmente, durante as missões mais longas — e, ainda, facilitarem o seu próprio manuseamento na altura da refeição, e empacotados em embalagens descartáveis (semelhantes às utilizadas por militares (s.a., s.d.) mas, adaptadas), das quais os astronautas se descartam depois de consumirem os produtos contidos nas mesmas (May, 2021). Mais especificamente, estas são, “principalmente, sacos de fecho de correr, bolsas de retorta e latas, [que] são usados devido ao seu peso leve, tamanho compacto e selos herméticos, evitando a deterioração e o derramamento” dos alimentos (May, 2021, s.p., T.L.- “*Primarily, zip lock bags, retort pouches and cans are used due to their light weight, compact size and airtight seals, which prevent spoilage and spillage*”).

“Em condições de baixa gravidade, as bactérias podem espalhar-se rapidamente, como tal, a limpeza é um fator crítico quando se consideram viagens espaciais” (T.L.- “*In low gravity conditions, bacteria can spread quickly, so cleanliness is a critical factor when considering space travel*”) e, assim sendo, após comerem, os astronautas limpam a loiça e os talheres que utilizam com toalhetas húmidas e colocam todo o lixo num compactador, apropriado para o efeito. (s.a., s.d., s.p.)

Enquanto isto, a primeira vez que alguém cozinhou no Espaço foi (apenas) em 2019, uma bolacha, que demorou 2 horas no forno, na EEI, (s.a., s.d.) o que nos dá a ideia de que esta não seja uma tarefa, nem fácil, nem eficiente, de realizar, regularmente, neste tipo de condições.

Há também que ter em conta outras questões de saúde específicas, derivadas da estadia em ambientes de menor ou de praticamente nenhuma gravidade, como, por exemplo, “após longos períodos no espaço, a massa muscular e a densidade óssea poderem diminuir até vinte por cento”, sendo o exercício físico e a ingestão de alimentos ricos em cálcio essenciais para quando os astronautas voltam para a Terra. (s.a., s.d., s.p., T.L. - “*Over long periods in space, muscle mass and bone density can decrease by up to*

twenty per cent”) Segundo ainda a mesma fonte, além disto, devido ao movimento “livre” dos fluidos dentro do corpo humano, em vez de serem puxados para “baixo”, pela gravidade, as papilas gustativas nestes ambientes ficam menos ativas, levando os astronautas a preferirem alimentos mais picantes, quentes, ou, também por exemplo, *wasabi*.

Assim, o planeamento da alimentação a bordo encontra-se, habitualmente, dividido nos seguintes grupos (além de água), sendo a EEI, logisticamente, abastecida de 2 em 2 meses: (s.a., s.d., s.p)

- Alimentos frescos: como frutas e vegetais — produtos “com dois dias de validade” (T.L.- “*with a two-day shelf life*”). São, normalmente, consumidos rapidamente, para evitar a sua deterioração, e, apesar das suas vitaminas e nutrientes poderem, geralmente, ser satisfeitos através de outras formas, este tipo de produtos é enviado por uma questão psicológica;
- Alimentos irradiados: como a carne e produtos laticínios, que recebem radiação ionizante antes de serem embalados, aumentando a sua vida útil e reduzindo riscos associados à contaminação microbiana;
- Humidade intermediária: alimentos que contêm pouca água — a quantidade suficiente para limitar o crescimento microbiano — e não requerem uma preparação adicional;
- Alimentos em estado natural: como nozes, biscoitos e barras de chocolate, que são simplesmente embalados, encontrando-se prontos a comer;
- Bebidas e alimentos reidratáveis: aquele que já foi o método-padrão de preparação de alimentos para o espaço pois, a remoção da água dos alimentos (ou bebidas) dificulta a multiplicação de bactérias, aumentando drasticamente o prazo de validade dos produtos e reduzindo a possibilidade da sua deterioração. Depois, os astronautas adicionam água a estes produtos (na estação de água a bordo) no momento em que os irão ingerir;
- Termo-estabilizados: alimentos — normalmente, as refeições “prontas-a-comer” — que recebem um tratamento térmico através do qual as bactérias são eliminadas, sendo os produtos, em seguida, rapidamente selados em embalagens herméticas.

Também por uma questão psicológica e de socialização, existe, na EEI, um local de refeições, com mesas e cadeiras às quais os astronautas se fixam através de cintas, e onde podem comer juntos, com talheres e tabuleiros magnéticos. (s.a., s.d.) E quando a mesma foi removida, a certa altura, da estação, os astronautas pediram que a voltassem a fornecer, para que pudessem comer juntos (Angelo Vermeulen *in* Petranek, 2015).

Voltando à questão da gestão de resíduos, como não existe qualquer fossa séptica ou sistema de esgoto a bordo, todo o lixo de casa-de-banho produzido é colocado na sanita, que funciona através de ar, em vez de água, e que o filtra, removendo as bactérias e os odores, reciclando o ar e devolvendo-o à zona da cabine, enquanto que o lixo líquido é enviado para o espaço. (s.a., s.d.)

2.2.2.2. O Porquê da Agricultura Espacial

Vimos como muitos autores defendem a ideia de que, “se, alguma vez, formos colonizar o Planeta Vermelho, necessitaremos de produzir alimentos localmente” (Guinan *et al.*, 2020, s.p., T.L. - “*If we’re ever going to colonize the Red Planet, we’ll need to produce food on site*”), ou seja, a relevância e fundamentalidade da Agricultura Espacial — que se define pela prática do cultivo de alimentos no Espaço ou em outros corpos celestes que não a Terra (Yadav & Yadav, 2023) — para a sobrevivência e bem-estar psicológico humanos duradouros, ou, mesmo, permanentes, fora da Terra (Yadav & Yadav, 2023; Peyrusson, 2021; Zhang, 2022; Wamelink *et al.*, 2019; Hublitz, I., s.d. *in* Volponi *et al.*, 2016; Zabel *et al.*, 2016 *in* Heldmann *et al.*, 2022), e que esta solução mitigaria os riscos inerentes ao abastecimento alimentar proveniente de outro local (Zhang *et al.*, 2022; Verseux *et al.*, 2016 *in* Kasiviswanatha *et al.*, 2022), defendendo Meyer (2021b) que os astronautas terão de se tornar agricultores, sendo um dos principais aspetos necessários à implementação de uma colónia espacial a disponibilidade e segurança alimentares (Cousins & Cockell, 2016 *in* Wamelink *et al.*, 2019), apesar da própria prática da agricultura fora da Terra acarretar os seus próprios desafios (Kasiviswanatha *et al.*, 2022), descritos, em seguida.

2.2.2.3. Desafios Inerentes à Prática e à Sustentabilidade da Agricultura Espacial

Naturalmente, estão inerentes à agricultura espacial diversos desafios, sendo identificados os seguintes, na Literatura: (Billingham, s.d. *in* Suresh *et al.*, 2017; Yadav & Yadav, 2023)

- o efeito da microgravidade em corpos biológicos: que pode dificultar o acesso das plantas à água de que as mesmas necessitam, apesar da agricultura em corpos celestes com menor gravidade do que a Terra possa não ser tão complexa como a agricultura em ambientes de microgravidade (Yadav & Yadav, 2023), acreditando-se que, se (como veremos) foi possível cultivar espécies agrícolas com sucesso na EEI, seja espetável conseguir-se fazer o mesmo em Marte (Romio, 2022);
- o acesso à água: sendo a privação desta um dos fatores mais limitadores do crescimento biológico (Shormin 2009 *in* Peyrusson, 2021), a possível, no entanto, desafiadora obtenção de água líquida no Espaço apresenta-se como um aspeto relevante a solucionar para a prática agrícola em condições exteriores às da Terra (Petranek, 2015);
- as temperaturas extremas: também relevantes para a obtenção do estado da água desejado (o líquido), segundo Guinan *et al.* (2020), estas levam a que seja necessária a realização das atividades agrícolas em ambientes aquecidos/arrefecidos, com os devidos níveis de humidade, sendo possível, segundo Manal *et al.* (2022), a construção de estruturas para tal;
- a existência de elevados níveis de radiação: sem a proteção da magnetosfera ou atmosfera terrestres (ou de algo equivalente), todos os corpos biológicos no Espaço encontram-se expostos a níveis de radiação elevados (Zhang *et al.*, 2022; Dartnell, 2011 *in* Zhang *et al.*, 2022) (assim como a meteoritos ou outros corpos semelhantes)

(não obstante, segundo Manal *et al.* (2022), a radiação poder ser aproveitada para a produção de aquecimento), para a qual também seriam necessárias estruturas de proteção, construídas, por exemplo, à base de elementos cerâmicos originados a partir do solo marciano (Manal *et al.*, 2022);

- a ausência de grande parte da pressão atmosférica da Terra: tendo evoluído para sobreviver no nosso planeta-mãe, as espécies de plantas que conhecemos (assim como nós próprios) estão adaptadas a sobreviver e a desenvolver-se apenas perante determinados níveis de pressão atmosférica. Como tal, as estruturas protetoras dos locais de plantação deveriam ser, ainda, pressurizadas (Guinan *et al.*, 2020);
- a geração de energia: para múltiplas funções, como o aquecimento, a produção de recursos como a água ou, também a exemplo, ainda, a possibilidade de fornecer a iluminação necessária às plantas, caso seja necessário complementar a luz natural recebida pelas mesmas, será necessária a geração de energia para a prática agrícola espacial;
- as condições do solo (ou a disponibilidade de outro meio de suporte ao cultivo): como vimos, também, anteriormente, vários estudos revelam que existem percloratos no solo marciano, tóxicos para as plantas (Wall, 2017; David *in* Romio, 2022), sendo referido que “um dos maiores desafios para o cultivo de alimentos em Marte é a presença de sais de perclorato, que foram detetados no solo do planeta e são, geralmente, considerados tóxicos para as plantas” (U of A, 2023, s.p., T.L.- “*one of the biggest challenges to growing food on Mars is the presence of perchlorate salts, which have been detected in the planet’s soil and are generally considered to be toxic for plants*”) e, como tal, são propostas técnicas agrícolas como o cultivo baseado em água ou em ar (Romio, 2022), ou seja, sem solo (Petranek, 2015), apesar de existirem autores que acreditam ser possível cultivar espécies no solo de Marte, através da adição de fertilizantes ao mesmo e da realização do cultivo em ambientes controlados (Jordan, 2015 *in* Manal *et al.*, 2022) ou, ainda, que acreditam que, daquilo que já conhecemos do solo marciano, poderemos considerar, com confiança, que este seria, pelo menos, em parte, bom para o cultivo, mesmo necessitando de adição de nutrientes, como azoto (Petranek, 2015);
- e a própria criação de um sistema bio-regenerativo de suporte à vida: imperativo, segundo Charront *et al.* (2015), e que necessitaria de energia e *inputs* de modo a reciclar resíduos e produzir novos recursos.

Por outro lado, o dióxido de carbono — recurso necessário à sobrevivência e ao desenvolvimento das plantas — existe em abundância em locais como Marte (Petranek, 2015).

Existe, ainda, outra restrição à realização da agricultura espacial, que é a área de que esta necessitaria, considerando Mukundan *et al.* (2023) que, se se plantasse (e, conseqüentemente, consumisse) apenas trigo, seriam necessários 15m² de área de cultivo por pessoa, e, para a multi-plantação de espécies, 50m².

Para o caso de Marte, Guinan *et al.* (2020) referem que, apesar das condições extremamente difíceis para os humanos e para a prática da agricultura por parte destes, a

concretização desta forma de sustento não é impossível e este facto é reconfortante, em especial, sendo referente a um local tão distante.

2.2.2.4. O Que Já Foi Realizado Neste Campo a Nível Comercial/Industrial

Diversos estudos relacionados com a presente temática já foram realizados, oferecendo os mesmos a possibilidade do avanço nos conhecimentos necessários à sustentação alimentar de uma base humana em Marte (Yadav & Yadav, 2023).

Experiências de Produção de Recursos e de Cultivo a Bordo da EEI

Para resolver o problema do Oxigénio, a NASA desenvolveu um conceito para a produção local (ou seja, baseada, também, no conceito ISRU, que descreve como um termo técnico para “viver da terra” (NASA, s.d.b, s.p., T.L. - “*living off the land*”)) deste recurso a partir da atmosfera marciana, chamado MOXIE (**Mars Oxygen ISRU [In Situ Resource Utilization] Experiment**, (Petranek, 2015), presente na Figura 25), que foi enviado para Marte a bordo do *rover* Perseverance — um veículo de seis rodas, carregado com câmeras, instrumentos científicos e com dois microfones. Este aparelho foi enviado como teste para a averiguação da possibilidade do funcionamento viável desta tecnologia, sendo um de vários instrumentos estado-da-arte no campo da exploração espacial incluídos no robô (NASA, s.d.b, s.p.). Este projeto — que funciona por meio da electrólise — foi pensado com o propósito do oxigénio produzido servir para a respiração dos astronautas mas, também, para o fabrico de combustível. O MOXIE pesa cerca de 17kg na Terra (e de 6,4 em Marte), tem um volume de 23,9 x 23,9 x 30,9 centímetros e produz até 10 gramas de oxigénio por hora, requerendo cerca de 100W (NASA, s.d.b, s.p.).

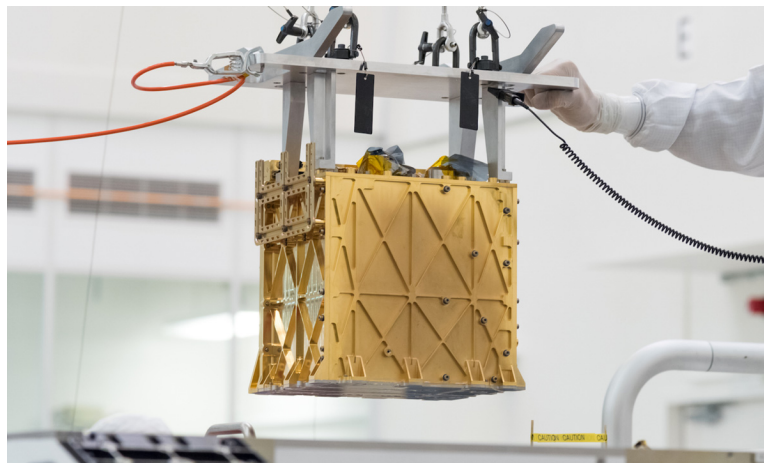


Figura 25 - MOXIE.
(NASA, s.d.b, s.p.)

No caso de funcionar, a NASA pretendia aumentar este conceito-teste em 100 vezes (Petranek, 2015) e entender o que seria necessário para garantir o funcionamento deste tipo de tecnologia nas viagens e respetivos retornos futuros de astronautas ao planeta vermelho (NASA, s.d.b, s.p.).

Por outro lado, a bordo da EEI, foram já realizadas experiências de cultivo (Hammond *et al.*, 1996, Nevzgodina *et al.*, 1981 & Grigoriev *et al.*, 1978 in Zhang *et al.*, 2022), considerando os autores NASA (2022), Zabel *et al.* (2019) & NASA (2007) (Romio, 2022) que, devido às mesmas, sabe-se, há vários anos, que a plantação (por exemplo, de alface (Suresh *et al.*, 2017)) em ambiente de gravidade-zero é possível. Estas experiências, realizadas, inclusivamente, de forma a averiguar-se o efeito da radiação no crescimento das plantas (Zhang *et al.*, 2022), ocorreram em estufas espaciais especializadas e num ambiente controlado, que faz uso de luzes LED e de fertilizantes, e alguns dos seus resultados foram enviados para a Terra, congelados, para análise. Além do APH (Advanced Plant Habitat) — uma câmara utilizada para a investigação botânica espacial, com câmeras, mais de 180 sensores monitorizados por pessoas na Terra, assim como controlos automáticos (de temperatura, humidade, etc.), não necessitando, assim, o *habitat* de grande manutenção por parte da tripulação — a bordo da EEI (Yadav & Yadav, 2023), existe, também, o EDEN ISS Experiment (cujo interior pode ser observado na Figura 26) — um simulador de estufas espaciais, onde são plantadas várias espécies de plantas diferentes em condições semelhantes às da Lua e de Marte, tendo sido, no mesmo, realizada uma colheita de 268kg de alimentos cultivados em 12,5 m² durante 9,5 meses (Zabel *et al.*, 2019 in Romio, 2022), o equivalente a 1 terço do consumo anual estimado, pela NASA (2007), para cada astronauta — localizado na estação Neumayer-Station III, na Antártida (Romio, 2022).

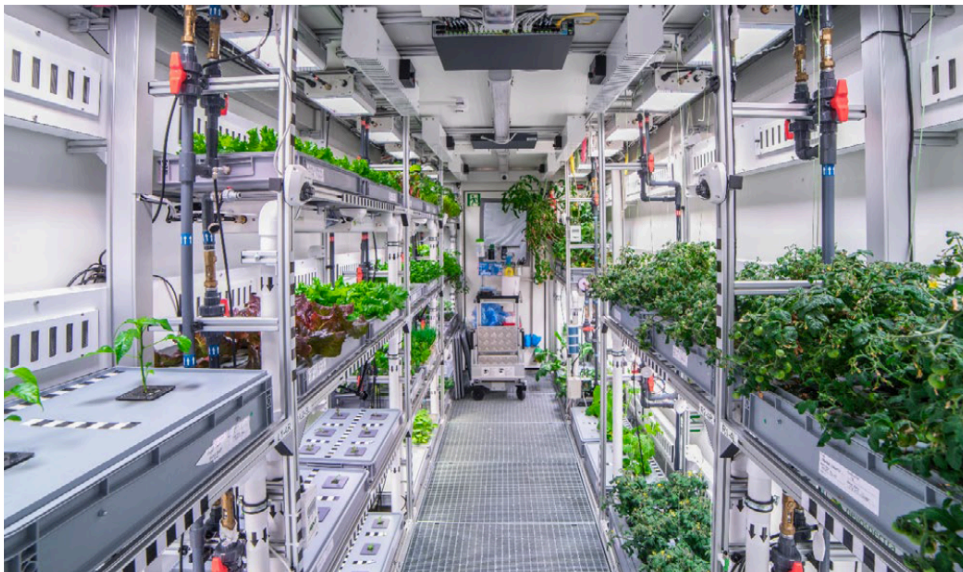


Figura 26 - Interior do simulador EDEN ISS.
(Romio, 2022, p.4)

A investigação e experiências desenvolvidas na EEI no campo da genética botânica têm explorado os mecanismos fundamentais de adaptação das plantas ao ambiente de microgravidade. Descobriu-se, por exemplo, que, certas movimentações de raízes que se acreditava acontecerem devido a um tipo de resposta celular à força da gravidade também acontecem em ambiente de microgravidade. Uma planta que tem sido estudada, tanto a bordo do Space Shuttle, como a bordo da EEI, é a *Arabidopsis thaliana*, (comummente, em inglês, *Thale Cress*) devido ao seu genoma ter sido totalmente

sequenciado, o que facilita a sua modificação/engenharia genética. Tem sido usado um microscópio de imagem de luz (LMM, *Light Microscopy Module*) comercial modificado (ainda a bordo da EEI, no entanto, podendo ser operado remotamente a partir da Terra), bastante capaz a nível de *hardware* e *software*, e que permitiu, por exemplo, observar-se os resultados de uma experiência de modificação genética da semente da *Arabidopsis thaliana* com um marcador de proteína verde-fluorescente chamado GFP, a partir do qual se comparou as raízes das plantas dessas sementes, sujeitas a diferentes condições de iluminação (incluindo nenhuma iluminação), tendo as experiências sido realizadas, simultaneamente, na EEI e numa câmara chamada ISSSES (ISS Environmental Simulator, em português, Simulador Ambiental da EEI), situada na Terra, mais precisamente, no Centro Espacial Kennedy (Kennedy Space Center) da NASA, na Flórida. “Nestas experiências, descobrimos que a luz teve um impacto muito profundo não apenas na direção do crescimento das raízes mas, também, na morfologia ou nos padrões de crescimento” das mesmas, disse Anna-Lisa Paul, investigadora da Universidade da Florida (T.L.- *“In these experiments, we found that light had a very profound impact on not only the direction of root growth but also the morphology or patterns of root growth”*), tendo a respetiva investigação sido apoiada pela NASA e patrocinada pelo CASIS (Center for the Advancement of Science in Space), o Centro para o Avanço da Ciência no Espaço, que é o organismo responsável pela gestão do laboratório dos EUA na EEI. (Rainey, 2017, s.p.)

Outras Experiências de Cultivo: Solos, Sementes e Espécies Específicas

Juilleret *et al.* (2018) desenvolveram um estudo em que analisaram a superfície de Marte numa perspectiva localizada, procurando classificar os solos deste planeta como é habitual fazer-se com os terrestres, através da utilização da Base de Referência Mundial (WRB, *World Reference Base*), apesar desta, na sua definição do termo “solo”, referir que o mesmo tenha de pertencer à Terra (“qualquer material nos primeiros 2 m da superfície da Terra que esteja em contato com a atmosfera, excluindo-se organismos vivos, áreas com gelo contínuo não coberto por outro material e corpos de água com profundidade superior a 2 m” (IUSS Working Group WRB, 2015, T.L. - *“any material within 2 m of the Earth's surface that is in contact with the atmosphere, excluding living organisms, areas with continuous ice not covered by other material, and water bodies deeper than 2 m”*)).

Os autores (Juilleret *et al.*, 2018) argumentam que, seguindo também a opinião de Certini *et al.* (2009), exista a necessidade desta classificação e de mapeamento de locais segundo a mesma, devido à motivação que ocasiona a crescente aparente possibilidade da utilização ou exploração de recursos extra-terrestres para, por exemplo, desenvolver a construção ou a agricultura espaciais.

Procedendo, então, a esta tentativa (ainda, segundo a WRB, versão Grupo de Trabalho IUSS WRB, 2015), Juilleret *et al.* (2018) consideraram que a Referência necessitaria de ajustes — se aplicada a este fim — devido à característica da generalidade da temperatura (fria) do solo (em Marte) implicar a classificação de todos os solos como

“Criossolos”. E, sendo o mesmo, apesar deste facto, relativamente desuniforme, quanto a outros indicadores e características, na perspetiva de se excluir a condição mencionada e “com base no conhecimento atual relativo à presença/ausência de água líquida, argila iluvial, matéria orgânica e influência antropogénica” (T.L. - “*based on the current knowledge on the presence/absence of liquid water, illuvial clay, organic matter, and anthropogenic influence*”), os autores consideraram — através de uma abordagem baseada em fotos tiradas, na cratera Gale, pelo robô Curiosity — ser possível classificar 13 Grupos de Solos de Referência (RSG, *Reference Soil Groups*) no planeta marciano (“*Cryosols, Leptosols, Solonchaks, Andosols, Plinthosols, Ferralsols, Durisols, Gypsisols, Calcisols, Cambisols, Arenosols, Fluvisols, and Regosols*”), apesar de, para algumas das classificações, considerarem serem necessários mais dados, químicos e minerais, para avaliar melhor o potencial dos solos marcianos, inclusivamente no suporte à vida (presente, caso exista, e futura).

Por outro lado, investigou-se, também, a questão da(s) semente(s) — “unidade básica de propagação, [que] desempenha um papel crucial na evolução e sobrevivência das plantas” (Ranganathan & Groot, 2023, p.92, T.L. - “*Seed, the basic unit of propagation, serves a crucial role in the evolution and survival of higher plants*”).

Identificou-se um estudo, de Oliveira *et al.* (2006), que revela o peso médio das sementes de uma determinada espécie, a partir da separação das mesmas em 4 grupos, categorizadas por sementes muito grandes, grandes, médias e pequenas, e em que os valores médios respetivos a estas categorias foram de 63,634, 42,787, 25,631 e 9,508g. Isto originaria um peso médio por semente de 35,39g. O estudo refere, também, outros trabalhos que revelam a existência de espécies cuja germinação tem um maior grau de sucesso quanto maior for o tamanho da semente germinada, apesar de o tamanho destas não ter influência em todas as espécies analisadas.

Ranganathan & Groot (2023) escreveram sobre a longevidade e a deterioração das sementes, especialmente relevante na ótica do seu armazenamento. Os autores começam por referir que, com o tempo, tal como acontece a todos os seres vivos, as sementes vão perdendo o seu vigor, envelhecendo, e, eventualmente, morrem, apesar de existir uma variação enorme na duração de vida entre espécies, por exemplo: enquanto uma semente da espécie *Phoenix dactylifera* germinou após 2000 anos de existência (Sallon *et al.*, 2008), as sementes de espécies como a *Shorea robusta* são viáveis apenas nos seus primeiros 7 a 10 dias de existência (Saha *et al.*, 1992).

Posto isto, os autores identificam, de modo geral, dois tipos de sementes, que se distinguem pelo seu comportamento quando armazenadas: as recalcitrantes e ortodoxas. As primeiras (sem nenhuma ordem em particular) — recalcitrantes — são sensíveis à dessecação e, portanto, normalmente, “surtem” bastante húmidas e é assim que se mantêm durante a sua fase metabólica ativa. Não possuem mecanismos eficientes contra a sua rápida deterioração, exibindo sinais de disfunção e propensão para a deterioração, mesmo quando mantidas em condições de alta humidade. E em condições de temperaturas muito baixas, as espécies de sementes recalcitrantes provenientes de zonas

tropicais, não sobrevivem. Por sua vez, as segundas — ortodoxas — são insensíveis à dessecação e passam por uma secagem de maturação, contendo mecanismos protetores em relação à deterioração, que incluem a acumulação de anti-oxidantes, proteínas protetoras, açúcares não redutores, certas hormonas, entre outros, conseguindo manter-se estáveis em condições secas. Existem, também, espécies ortodoxas que conseguem suportar o processo de dessecação, no entanto, não suportam temperaturas de armazenamento abaixo dos 0°C (Ellis *et al.*, 1990). (Ranganathan & Groot, 2023)

Assim, podemos averiguar que a longevidade das sementes depende, essencialmente, das suas condições genéticas e de armazenamento, sendo a duração de vida das espécies recalcitrantes relativamente curta, podendo estender-se entre alguns dias e alguns meses ou, em casos raros, até um ano, enquanto a das espécies ortodoxas se estende, habitualmente, por longos períodos de tempo, de vários meses ou vários anos, se armazenadas em condições-ambiente, secas e de temperatura baixa, já que, quanto mais alta a temperatura, mais as sementes se deterioram (devido à aceleração do seu ritmo de oxidação química). Neste contexto, é recomendado o uso de bancos de sementes, que as conservem nas condições benéficas descritas (Rao *et al.*, 2006). Além disso, quanto maior a concentração de oxigénio a que são expostas, maior a velocidade a que as sementes envelhecem (Groot *et al.*, 2012), podendo estas sobreviver (e até ter a sua longevidade estendida) sem oxigénio, ao contrário dos restantes seres vivos (González-Benito *et al.*, 2011). (Ranganathan & Groot, 2023)

Enquanto isto, segundo Yadav & Yadav (2023), existem já empresas a desenvolver intenções de liderar a produção espacial de alimentos. E, por outro lado, têm sido realizadas várias experiências em simulantes de solos lunares e marcianos (visto que nunca foram trazidas à Terra amostras do solo/rególito marciano (The Martian Garden, s.d.)) que, segundo Peyrusson (2021), são de extrema importância, como precursoras de futuras práticas agrícolas fora da Terra.

A de Wamelink *et al.* (2019) consistiu na sementeira de 10 espécies diferentes — agrião, rúcula, tomate, rabanete, centeio, quinoa, espinafre, cebolinho, ervilha e alho-francês — alinhadas em vários tabuleiros que continham solo terrestre, (ou simulantes) lunar ou marciano, e das quais nove cresceram bem à exceção dos espinafres, tendo sido obtidos os melhores resultados com o primeiro tipo de solo referido, seguidos do segundo, e, por fim, do solo lunar, tendo-se estes diferenciado, significativamente, dos solos anteriores, acreditando os autores, após a realização das suas experiências, que o cultivo nos solos lunares e marcianos seria possível.

O estudo de Kasiviswanatha *et al.* (2022) procurou a plantação de alface num simulante de solo marciano (e em solo comum de jardim, para comparação dos resultados obtidos) sem a utilização de qualquer adição de nutrientes/suplementos (apenas água) ao mesmo e, após realizada a respetiva colheita, o resultado desta foi utilizado como biofertilizante para a plantação de outras espécies — nabo, rabanete e alface (que apresentam, tipicamente, um índice de colheita elevado e uma baixa absorção de água (Gòdia *et al.*, 2002 & Hendrickx *et al.*, 2006 in Kasiviswanatha *et al.*, 2022)) — no

mesmo solo (simulante), de modo a averiguar-se se este método proveria benefícios ao cultivo das mesmas, tendo os autores considerado-o uma estratégia simples e eficiente. Além desta, mencionam outras estratégias, de dessalinização da água também simulante (através da adição à mesma da cianobactéria marinha *Synechococcus* sp. PCC7002 e da filtragem desta através de rochas vulcânicas basálticas), que podem ser utilizadas em conjunto e, *inclusive*, aumentar a probabilidade de germinação de sementes. A nível de resultados mais específicos, quanto ao nabo, apesar da percentagem (62%) de sementes germinadas em solo simulante de rególito basáltico ter sido superior às germinadas em solo de jardim (55%), as primeiras plantas nasceram atrofiadas e pouco saudáveis comparativamente às segundas. No entanto, após a adição de fertilizante químico, as mesmas cresceram 163%, passando a apresentar o fenótipo normal do nabo enquanto espécie. A alfafa, enquanto fonte de nutrientes para esta e as restantes culturas, resultou num crescimento das mesmas para os 190% (nabo, Figuras 27 a) e b)), 311% (rabanete, Figura 27 c)) e 79% (alface, Figura 27 d)) em comparação com as réplicas da experiência semeadas no mesmo solo, às quais não foi adicionada a alfafa, do que se conclui que o tratamento apresentou resultados de crescimento e produtividade da produção significativos.



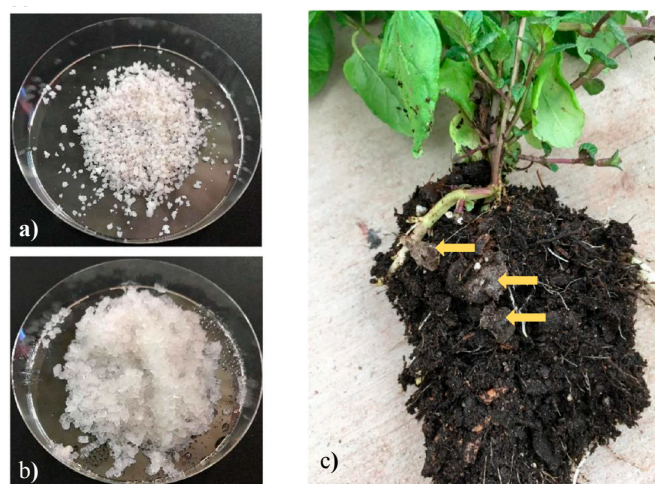
Figuras 27 a), b), c) e d) - Em cada uma das imagens, à sua esquerda, podem ser observados os resultados do cultivo das seguintes espécies sem a utilização de alfafa como bio-fertilizante e, à sua direita, com alfafa: a) e b) nabo; c) rabanete; d) alface.

(Kasiviswanatha *et al.*, 2022, p.8)

Os autores mencionam, também, micróbios e bactérias, que referem ter potencial para adaptação a ambientes extremos e cuja utilização poderia beneficiar o solo e o cultivo neste. (Kasiviswanatha *et al.*, 2022) E Wamelink *et al.* (2019), na sua realização das suas experiências, assumiram que seriam transportadas para Marte, também, bactérias, com o mesmo propósito da sua aplicação nas atividades de cultivo.

Por outro lado, Peyrusson (2021) analisou a possibilidade e efeitos da utilização de hidrogéis (que descreve como polímeros que absorvem bastantes quantidades de água, e cuja atuação e os mesmos podem ser observados nas Figuras 28 a), b) e c)) para a melhoria da agricultura em condições análogas às de Marte, especialmente, no contexto da problemática (anteriormente referida) do acesso à água, defendendo a procura da melhoria do rendimento das colheitas através da otimização do seu uso, para uma produção sustentável de alimentos no contexto de um colónia fora do planeta Terra. Através da utilização de um solo que consistiu em areia e argila recolhidas do deserto do Utah (devido à sua composição mineral e química semelhante à do solo marciano), o autor avaliou o crescimento de hortelã (altura e biomassa) e a germinação de sementes de rabanete (escolhidas pela sua capacidade de germinação rápida). As experiências

foram realizadas numa estufa a uma temperatura média de 24°C, variando entre os 16,2°C e 30,5°C, uma humidade média de 43% e um comprimento médio de luz visível de 14h, tendo sido a hortelã — escolhida devido à sua capacidade de crescimento e robustez sob condições desfavoráveis em nutrientes — regada (manualmente) com 70ml de água, diariamente (para a simulação de condições de irrigação normais) e a cada 4 dias (para a simulação de condições de irrigação reduzida). Foi verificado que a germinação da espécie referida falhou nos solos simulantes, tendo-se concretizado em 27% com a adição aos mesmos dos hidrogéis. E, “coletivamente, os resultados [do estudo] sugerem que a suplementação com hidrogel (...) pode ajudar as plantas a lidar com condições de irrigação limitada e simulantes do solo de Marte pobres em alcalino”. (Peyrusson, 2021, p.1, T.L. - “Collectively, the results suggest that supplementation with hydrogel and plant growth substrate could help plants cope with limited irrigation and poor alkaline Mars soil analogs”)



Figuras 28 a), b) e c) - Hidrogéis (apresentados nas figuras a) e b)) adicionados às espécies durante o cultivo das mesmas e cuja concentração junto às raízes das mesmas podemos observar na figura c), mais especificamente, nas zonas indicadas pelas setas (a amarelo) na figura.

(Peyrusson, 2021, p.4)

No seu estudo (que procura descrever uma missão a Marte “inovadora, económica e segura”, através da utilização do veículo Falcon Heavy da empresa SpaceX), Suresh *et al.* (2017, s.p., T.L. - “innovative, cost efficient and safe”) propõem o cultivo de alimentos — mais especificamente, alface, tomate-anão, pimenta-anã, rabanete e ervas para tempero — a bordo, vertical, através do método aeroponia (auxiliado pela presença de luzes LED), que resulta, segundo os autores, na utilização de 95% menos água do que a utilizada na agricultura tradicional, planeando uma missão capaz de sustentar 2 pessoas durante 253 dias, suportada, também, por um sistema bio-regenerativo (ou seja, que replica ciclos existentes naturalmente no nosso planeta). Os autores idealizam a utilização de um robô controlado através de um ambiente de realidade virtual e aumentada para a realização das tarefas agrícolas.

Numa outra investigação, apresentada na 54ª Conferência de Ciência Lunar e Planetária, uma equipa interdisciplinar de investigadores, da Universidade de Arkansas, defendeu que “o arroz pode crescer e sobreviver no rególito marciano com desafios que podem

ser ultrapassados por meio do controlo de genes relacionados com o *stress*” (s.p., T.L.- “*Rice Can Grow and Survive in Martian Regolith with Challenges That Could be Overcome Through Control of Stress-Related Genes*”). A equipa utilizou o simulante do solo de Marte desenvolvido pela NASA — o Mojave Mars Simulant (MMS) — para cultivar três variedades de arroz, das quais, uma selvagem e as outras duas com os genes editados, através de mutações que as permitem responder melhor a situações como a seca, a falta de açúcar ou a salinidade. Para a comparação de resultados, além dos três cultivos, a equipa realizou outras 3 experiências idênticas, só que em solo regular terrestre e, ainda, outras num solo híbrido, composto, em três quartos, pelo simulante do solo marciano e, em um quarto, por solo regular. Como resultado, obteve-se que, apesar das plantas terem crescido no solo simulado, não se desenvolveram tanto quanto as cultivadas em solo regular. E, nas plantas cultivadas em solo híbrido, foi possível observar imediatamente melhorias relativamente àquelas cultivadas em solo apenas simulante. Além disso, a equipa deduziu que 3 gramas de perclorato por quilo de solo são o limite a partir do qual nada cresce, sendo que as raízes das espécies mutantes conseguiram enraizar-se com 1 grama de perclorato por quilo de solo, supondo que existam vantagens na utilização deste tipo de modificações genéticas para o cultivo em Marte. De futuro, a equipa pretende repetir as experiências, desta vez num solo mais recente — o Mars Global Simulant —, bem como utilizar variedades de arroz com maior tolerância a concentrações salinas, determinar até que ponto o perclorato consegue penetrar nas plantas, a partir do solo, e, ainda, introduzir o arroz numa câmara fechada que replique a temperatura e a atmosfera de Marte. (University of Arkansas, 2023)

Também para o contexto da investigação focada na potencial colonização de Marte, um grupo de estudantes de Astrobiologia de Villanova realizou experiências de cultivo (desde 2017) com mais de 45 espécies diferentes (incluindo lúpulo e cevada) também num simulante de solo marciano — rico em óxido de ferro e já desprovido dos percloratos que, segundo Guinan *et al.* (2020), teriam de ser removidos do solo marciano, previamente à prática da agricultura no mesmo — e procurando replicar, através do maior número de variáveis possíveis, aquilo que seriam as condições de uma estufa no planeta vermelho, tudo com o propósito de procurar saber se o cultivo de plantas em Marte seria possível. Também tendo realizado experiências de cultivo através do método da hidroponia, os estudantes descobriram que o sucesso do cultivo das espécies nas condições mencionadas poderia ser melhorado através de duas estratégias: o aumento do nível de luz natural existente em Marte, (também) através da utilização de luzes LED, assim como a adição de excrementos de minhoca ao solo. E discerniram que a plantação de espécies que necessitassem de muita luz solar (como o tomate, o feijão ou o milho) não seria a hipótese mais indicada, além da batata, no entanto tendo obtido melhores resultados com a batata doce, enquanto que, contrariamente, a espécie dente-de-leão poderia ser uma ótima opção, devido a todas as partes desta planta serem comestíveis, nutritivas e tendo a mesma um nível de crescimento rápido, além de espécies como a alface, a rúcula, o espinafre, a ervilha, o alho, a couve-de-folhas e a cebola terem, também, apresentado resultados favoráveis. (Guinan *et al.*, 2020)

Zhang *et al.* (2022), por sua vez, realizaram um outro estudo, utilizando o Laboratório de Radiação Espacial da NASA (NSRL), relativo à exposição de sementes — neste caso, de Mostarda Mizuna e *Arabidopsis thaliana*, dois tipos de sementes diferentes — a radiação espacial (simulada), por a considerarem uma das principais preocupações em missões espaciais a longo-prazo, inclusivamente, em envios das mesmas em viagens prévias à chegada de seres humanos ao mesmo local. Explicam como estes (os seres humanos) e as sementes não sofrem, necessariamente, os mesmos efeitos perante as mesmas doses dos mesmos tipos de radiação devido aos seus tecidos biológicos serem diferentes e, portanto, a resposta destes à radiação também poder ser diferente. O estudo usou os valores de radiação medidos, durante a missão MSL, à superfície de Marte na região da Cratera Gale, para a irradiação das sementes que foram, em seguida, semeadas, tendo os autores observado a ausência de consequências quanto a algumas questões e cenários de radiações, no entanto, por exemplo, detetado atrofios na germinação e no desenvolvimento de raízes de sementes expostas a iões de titânio, afirmando, em resumo, que, em geral, as espécies de sementes hidratadas (recalcitrantes) demonstram-se mais sensíveis à radiação do que, tanto as espécies secas (ortodoxas), como plantas maduras, acreditando que estas conclusões estão em conformidade com as de outros estudos que analisaram, não obstante considerarem existirem, ainda, estudos por realizar no campo, para a obtenção de conhecimento mais sólido. (Zhang *et al.*, 2022)

Por fim, Morillo *et al.* (2022) realizaram um estudo, também, motivado pelo facto de a agricultura poder ser a solução para a obtenção de uma forma de se proporcionar a alimentação dos astronautas (de entre outras das necessidades metabólicas destes, como a de água ou de oxigénio) num empreendimento humano em Marte, referindo os autores, também, que seria importante, neste contexto, que se pudesse depender de meios ISRU (*In-Situ Resource Utilization*), ou, “por outras palavras, da utilização de material localmente existente sempre que possível”. Especificamente, então, direccionado para a agricultura em Marte, o estudo procurou isolar e identificar bactérias resistentes ao clorato, já que se identificou *in situ* — através dos robôs Phoenix, na região polar Norte, e Curiosity, na cratera Gale, e, ainda, em princípio, Viking, na zona Chryse Planitia e Utopia — que existem cloratos e percloratos — tóxicos para os seres vivos — ubiquamente distribuídos pelo solo do planeta e que, como vimos anteriormente, no caso de um hipotético empreendimento humano, estes dificultariam, significativamente, a atividade agrícola. Para resolver ou mitigar este problema, os autores identificaram 4 soluções:

- a seleção artificial de plantas com mecanismos mais adaptados para sobreviverem às características específicas do ambiente em Marte;
- a modificação genética de espécies para o mesmo fim;
- a fitorremediação, que consiste na utilização das próprias plantas para a melhoria das condições nocivas dos solos;

- a utilização de microorganismos, existindo bactérias que auxiliam a biorremediação e a remoção de sais tóxicos dos solos e que produzem substâncias que auxiliam a germinação e o desenvolvimento de sementes e de plantas.

Considerando-se esta última solução proposta, o estudo dos autores desenvolveu, então, experiências de identificação e isolamento de bactérias com maior tolerância à presença de cloratos (selecionados, especificamente, para as experiências, devido aos autores considerarem que estes existam em maior quantidade, em Marte, relativamente aos percloratos, apesar de identificarem os cloratos como menos tóxicos) em 17 colônias, e comprovou que, naquelas com mais cloratos, verificou-se, apesar de alguma resistência, um grau de sobrevivência e de diversidade biológica reduzido e inibido. (Morillo *et al.*, 2022, p.34, T.L. - “*in other words, the use of existing material at the site whenever possible*”)

Além do propósito do estudo apresentado, os autores referem que — não deixando estes sais (cloratos e percloratos), encontrados no solo, de ser extremamente nocivos para plantas e seres humanos (Zhang, Zeng & Nie, 2006; Zhang, Lin & Wu, 2008; Misra *et al.*, 2021) — Gayen *et al.* (2020) sugerem também que se poderia obter oxigênio em Marte a partir destes, sendo os mesmos, nesta perspectiva (contraditória), benéficos para a sobrevivência humana no planeta vermelho. (Morillo *et al.*, 2022)

Outros Estudos Relacionados com a Agricultura Espacial/em Marte

Num outro estudo, levado a cabo por estudantes de 3 Universidades de diferentes nacionalidades (italiana, francesa e inglesa) e em parceria com a ESA e Indústrias, Volponi *et al.* (2016) desenvolveram um conceito para um módulo (de entre outros que, em conjunto, formariam um empreendimento humano em Marte completo) de Estufa (a que chamaram GH, de *Greenhouse*), onde teorizaram que se cultivasse plantas e que o mesmo estivesse integrado com um sistema bio-regenerativo de suporte à vida, tendo o seu *design* tido, deliberadamente, em consideração o impacto na saúde psicológica da tripulação. Os autores avaliaram várias alternativas para os métodos de cultivo, a seleção de culturas e a composição da dieta pretendida, de forma a minimizar o sistema proposto, considerando, ainda, a integração deste com o re-abastecimento vindo da Terra (apesar de se pretender o auto-sustento do empreendimento). Como sistema de iluminação, após a comparação de alternativas, os LEDs provaram ser a opção com o consumo de energia mais baixo. E é proposta a utilização de um robô de ajuda multi-funções, destinado à automação parcial das tarefas a serem realizadas na estufa. Nas (3) opções de dieta criadas e exploradas pelos mesmos, os autores identificam, ainda, a quantidade de 2,2kg de alimentos necessários, em média, por dia, por astronauta. Além disto, estimam, para uma estufa destinada à alimentação de 6 pessoas, uma massa de robôs de 2362kg. (Volponi *et al.*, 2016)

Observando-se, em seguida, o trabalho de Meyer (2021a), intitulado “*The Basics of Farming in Space*” (Os Fundamentos da Agricultura no Espaço), o autor descreve como se poderá passar de um empreendimento avançado a uma base permanente (no Espaço). Aborda a Agricultura Espacial na perspectiva de um sistema capaz de reciclar,

eficientemente, através da combinação de seres vivos e de máquinas, muitos dos elementos produzidos pelos humanos — como ar, água e resíduos — e transformá-los, por sua vez, de volta, em comida, oxigénio e água (novamente) consumíveis. E explica a importância e pertinência deste tipo de sistema para um empreendimento fora da Terra, argumentando que seria a alternativa sustentável para que o mesmo não estivesse dependente de carregamentos enviados de longe. “Porquê desperdiçar os resíduos?” (T.L.- “*Why waste the wastes?*”, Meyer, 2021a, p.3) é a questão que o autor coloca, enquanto defende que a agricultura no espaço pode funcionar tal como a própria Natureza funciona na Terra — “reciclando massa utilizando energia” (T.L.- “*recycle mass using energy*”, Meyer, 2021a, p.3) — já que as plantas e as algas consomem, além de energia vinda diretamente do Sol, elementos emitidos pelos animais e pelos seres humanos, como nutrientes, que vão parar ao solo, e o dióxido de carbono, diretamente do ar — através de bactérias (ou combustão) que decompõem estes resíduos —, acontecendo também o inverso, ou seja, os animais e seres humanos receberem energia diretamente dos elementos emitidos pelas plantas e pelas algas, como o oxigénio. Para isto, o autor menciona o papel de máquinas como biorreatores e fotobiorreatores (e, talvez, incineradores) — com tanques, sistemas de controlo, válvulas inteligentes, bombas de líquidos e de gases, ventoinhas, geradores, condensadores, baterias, entre outros — que auxiliassem os processos biológicos mencionados. Neste conceito, para a criação de um ecossistema artificial, Meyer (2021a) defende também que os organismos aquáticos são bastante eficientes na produção de proteína fresca (especialmente, o camarão e alguns peixes) e que, mesmo que não sejam consumidos, ajudam a tornar o sistema mais eficiente. Aliás, o autor sugere que, à medida que um cultivo no espaço fosse crescendo, poderia suportar e englobar, progressivamente, mais espécies, e que a dieta das refeições dos astronautas seria cada vez mais variada. Por exemplo, segundo o mesmo, um empreendimento com 500 seres humanos poderia já incluir galinhas, um com 1000, cabras, e, um com 10 mil, animais de grande porte. Explica que o problema com a agricultura no Espaço não é o oxigénio mas, sim, o dióxido de carbono, referindo que um ser humano não o produz em quantidade suficiente para alimentar plantas suficientes para a sua própria alimentação. Adiciona, ainda, que um “jardim” de cogumelos ajudaria a melhorar a variedade dos menús (Meyer, 2021a) e defende que plantas mortas poderiam servir para a alimentação de peixes, além de propor, também, o consumo de insetos como a larva da farinha ou a utilização de minhocas neste sistema, e defender que quaisquer resíduos de seres humanos ou de animais seriam bons fertilizantes para as plantas (Meyer, 2021b).

Por outro lado, na área da Robótica dedicada à Agricultura, observou-se o estudo de Xu & Li (2022), que desenvolveram protótipos de robôs agrícolas — MARS mini e MARS X, autónomos, leves, multi-facetados e, financeiramente, acessíveis — que aumentariam a produtividade nas áreas de cultivo, através do desempenho de tarefas de fenotipagem (identificação das espécies cultivadas no terreno) e de precisão e que poderiam ser utilizados em Marte. Os protótipos dos robôs foram testados cada um através de 3 testes: de mobilidade, de navegação e de fenotipagem de alto rendimento (este último, mais especificamente, através de contagem de plântulas de algodão e de imagem hiperespectral). (Xu & Li, 2022) O facto dos mesmos terem peças impressas

em 3D (Xu & Li, 2022) permitiria a sua substituição num empreendimento autónomo (provido da devida máquina de produção deste tipo de peças).

Analizou-se, ainda, outro estudo relacionado com o processamento mecânico aplicado à agricultura. Neste caso, o estudo de Ruziev (2023) debruçou-se, mais especificamente, sobre a análise de folgas em máquinas destinadas à deslindação de sementes de algodão. Procurou avaliar, através de dados experimentais, os danos causados às mesmas através desta técnica — que acontecem, maioritariamente, devido a gargalos de sementes ocorridos durante o processo — e, com base na evitação destes, também, avaliar o tamanho ideal das folgas que permita a melhor germinação das sementes de algodão e produtividade das respetivas plantas. O autor refere, ainda, que as sementes podem sofrer danos internos e externos, e, que a qualidade destas é um fator determinante para o rendimento das colheitas agrícolas. (Ruziev, 2023)

Acredita-se que presentes e futuros desenvolvimentos e inovações deste tipo, e nesta área, serão passíveis de facilitar o trabalho dos astronautas no espaço sideral.

2.2.2.5. Outros Benefícios da Agricultura em Marte

Além da alimentação, a presença e o cultivo de plantas em Marte trariam outros benefícios, descritos neste subcapítulo.

Como já referido, naturalmente, as plantas produziriam oxigénio útil à respiração dos astronautas, fazendo parte do sistema bio-regenerativo utilizado no contexto de se tornar um local remoto (relativamente, à Terra) acessível à habitação humana. Além disto, poderiam auxiliar à reciclagem do dióxido de carbono e da água existentes no mesmo, contribuindo, ainda mais, para a sustentabilidade deste ambiente. (Yadav & Yadav, 2023; Wolff *et al.*, 2018 & El-Nakhel *et al.*, 2019 *in* Kasiviswanatha *et al.*, 2022; Rainey, 2017; Petranek, 2015)

Outro benefício da agricultura em Marte seria a produção de matéria-prima para fins bio-medicinais, podendo, inclusivamente, plantar-se espécies selecionadas, especificamente, para este propósito. (Hasan *et al.*, 2022; Mukundan *et al.*, 2023)

Os desenvolvimentos concretizados a nível da investigação e novas possibilidades agrícolas no Espaço fomentaria aplicações de conhecimento útil, também, à agricultura na Terra, especialmente, quando desempenhada em condições desafiantes. (Sicker & Paul *in* Rainey, 2017; Gann *et al.* (s.d.) *in* U of A, 2023; Paul *in* Rainey, 2017; Yadav & Yadav, 2023)

E, por último, tendo este conceito sido já, anteriormente, descrito, as plantas teriam um papel de alta relevância para a, um dia, talvez, procurada Terraformação do planeta Marte, mencionada por Paiva (2016), Petranek (2015), Meyer (2021c) e Robert Zubrin (*in* Petranek, 2015).

2.3. Dinâmica de Sistemas

Ainda no âmbito da presente investigação, do dimensionamento de uma cadeia de abastecimento (para o setor Espacial), considera-se relevante e pertinente o campo da Dinâmica de Sistemas, para a avaliação e previsão (ou estimativa) de aspetos, totais ou parciais, relativos à mesma, assim como das necessidades logísticas a que seria necessário esta responder, dado que, surgida no ramo da Biologia, no entanto, como defende o seu autor, tendo aplicações em diversas outras disciplinas, variadas (como a Economia ou a Psicologia), esta “ciência dos sistemas” consiste, precisamente, num método viável de abordagem à compreensão, cálculo ou verificação (ou seja, ao estudo) de algum engenho complexo e/ou originado por fatores, ou mesmo, tecnologias heterogêneas, em contraste com “o esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes” que se mostrou, já a algumas décadas, “insuficiente para atender aos problemas teóricos” que iam sendo abordados. E, assim, tornou-se “necessário um foco sistémico” (Bertalanffy, 2008, p.22) para o qual é extremamente aplicável o auxílio da computação, para a resolução dos problemas relativos a esta área que, tipicamente, “excedem (...) a matemática convencional” (Bertalanffy, 2008, p.41). (Bertalanffy, 2008, s.p.)

2.3.1. Simulação Computacional de Sistemas

Assim, no contexto da Dinâmica de Sistemas, os problemas a serem estudados podem ser modelados, obedecendo sempre a uma estrutura, mais ou menos complexa, sendo necessário fazê-lo por meio da adaptação dos pressupostos e critérios operacionais adequados à natureza de cada caso e, como vimos acima, podendo os mesmos “ser submetidos à computação”. (Bertalanffy, 2008, p.41)

E, na Literatura, foi possível encontrar-se, também, casos de simulação logística no setor espacial, como o estudo de Grogan *et al.* (2011) — neste caso, de macro-logística — que fez uso do *software* SpaceNet, para a realização de uma modelação de eventos discretos de modo a estudar e analisar o transporte, a entrega e o consumo de recursos (gerando o programa a procura dos mesmos) através de 4 cenários, que decorreriam na órbita terrestre e da Terra até à Lua, objetos próximos à Terra e a Marte, pretendendo, os autores, provar a versatilidade da ferramenta utilizada para tal, tendo quantificado o desempenho, custo e risco das estratégias delineadas. (Grogan *et al.*, 2011)

No seu trabalho, estimaram, ainda, as seguintes massas para os seguintes objetos: Palete, 650kg; Unidade de produção de energia, 2800kg; Módulo pressurizado para habitação (4 pessoas), 6000kg; Módulo pressurizado para habitação principal (4 pessoas), 7800kg; Módulo Logístico Pressurizado, 17500kg; Aparelho para carregamentos, 10kg; Unidade de suporte estrutural, 600kg. (Grogan *et al.*, 2011)

2.3.1.1. *Software* Vensim

Outro caso de simulação encontrado na Literatura e aplicado ao setor espacial foi o estudo de Charront *et al.* (2015), especificamente, direcionado para o estabelecimento de uma colônia humana em Marte que seria auto-sustentável a partir de 2054, para a modelação do qual foi utilizado o *software* Vensim, precisamente, por ser, segundo os autores, um caso que beneficiaria bastante de uma abordagem no contexto da Dinâmica de Sistemas — possibilidade em que assenta o próprio funcionamento deste *software*, de modelação contínua, que utiliza as variáveis que veremos em seguida, lá está, organizadas de acordo com uma estrutura que pretende representar, da forma mais fiel possível, as interligações e dinâmicas existentes entre todas as partes que, no seu conjunto, compõem (idealmente) a totalidade do sistema estudado. Os autores referem, ainda, que a técnica de simulação utilizada é útil, também, para a compreensão do impacto de variáveis individuais neste todo, e da variação destas.

Ainda no âmbito do *software* Vensim, as variáveis que compõem os sistemas a estudar poderiam ser, então, de *stock* — apresentadas no interior de retângulos, como demonstra o exemplo da Figura 29, e que acumulariam um fluxo direcionado a cada uma das mesmas, podendo, também, este cálculo, que é medido de acordo com os intervalos temporais que se pretenda, ser subtraído por um outro fluxo de saída das mesmas, e, também, sendo estes fluxos (representados pelas setas pretas na mesma figura), por sua vez, calculados a partir das interações devidas entre as variáveis diretamente relacionadas com os mesmos — (Charront *et al.*, 2015) ou “normais” (como o exemplo da “Exogeneous factor influences production rate 2.”, apresentado, também, na figura seguinte), às quais pode ser atribuída uma expressão de cálculo composta por outras variáveis, assim como por um variado leque de expressões integradas no próprio *software*, e, por fim, existem, ainda, setas azuis, que representam, por sua vez, a existência de ligação direta entre cada duas variáveis (não existindo limites no número de quantas ligações deste tipo podem existir por variáveis), assim como da direção da dinâmica entre as mesmas (representada pelo sentido da seta).

Desta forma, é possível modelar-se a arquitetura representativa do sistema estudado, da forma mais possível que o programa e os dados utilizados o permitirem, e entender-se qual seria a previsão de interações de todas as variáveis modeladas. (Charront *et al.*, 2015)

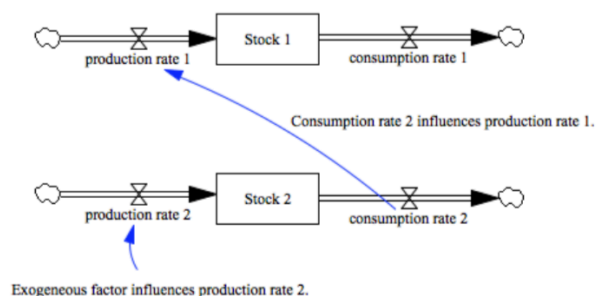


Figura 29 - Exemplo, relativamente, simples da modelação de uma determinada arquitetura através do *software* Vensim.

(Charront *et al.*, 2015, p.3)

Ainda a exemplo das capacidades deste *software*, no trabalho de Charront *et al.* (2015), a utilização do mesmo permitiu, durante uma simulação de 1500 dias (ou seja, 4 anos e 40 dias), o cálculo (a qualquer intervalo desejado) da previsão para os recursos que seriam necessários à obtenção e à manutenção da auto-suficiência da colônia idealizada, tendo os autores repartido este objetivo em fases, que englobaram a análise de várias áreas e fatores — como a arquitetura, as comunicações, a agricultura e os sistemas de produção energéticos do empreendimento proposto — considerando os mesmos que o campo abordado acarreta a dificuldade de obtenção de dados reais para servirem de *input* à mesma, devido à incerteza associada ao que seria ou será a realidade deste tipo de cenários espaciais ainda não concretizados. (Charront *et al.*, 2015)

Por último, perante quaisquer resultados obtidos através deste tipo de análise/abordagem do sistema em análise, Charront *et al.* (2015) mencionam, também, a necessidade da utilização de algum tipo ou técnica de análise qualitativa para a tomada de decisões baseadas nos mesmos.

3. Estudo de Caso

Com base na Revisão da Literatura realizada, elaborou-se um Estudo de Caso no setor espacial, com o intuito de, através da sua resolução (apresentada no capítulo em seguida — Capítulo 4), responder às perguntas de investigação descritas no Capítulo 1.

Mais concretamente, o objetivo deste Estudo de Caso foi o de gerar informação passível de validar a possibilidade e a exequibilidade do suporte logístico à sobrevivência e prosperidade de um empreendimento humano extraterrestre, sendo o conteúdo do presente capítulo o seguinte: começou-se por apresentar a Contextualização da problemática do Estudo de Caso, no subcapítulo 3.1, tendo-se procedido à Descrição concreta do mesmo, no subcapítulo 3.1.1, à Identificação dos Problemas/Desafios associados a este, no subcapítulo 3.2, e, por fim, à Análise das Causas-Raiz destes problemas/desafios, no subcapítulo 3.3.

3.1. Contextualização do Estudo de Caso

Como vimos, no capítulo anterior, desde o possível originar de algum tipo de cenário distópico causado pelos próprios seres humanos, à possível ocorrência (certa, segundo alguns autores), no futuro, de algum dos fenómenos mencionados — tais como o impacto de um asteroide com a Terra de dimensão capaz de causar uma catástrofe ambiental e, conseqüentemente, eliminar a vida humana, ou, ainda, por exemplo, o aparecimento de um vírus que venha a provocar o mesmo desfecho —, verificou-se que estas possibilidades constituem um argumento significativo a favor da ponderação da necessidade de expansão da Humanidade para outros corpos celestes para além do “nosso” planeta. Além disto, constatou-se, ainda durante a realização da Revisão da Literatura, outro ponto que fortalece este argumento, observando-se a própria história da Humanidade. Verifica-se uma vontade e uma propensão para a descoberta e mesmo a expansão da raça humana de e para novos mundos — tendência com a qual estaria alinhada a estadia, ou mesmo permanência, humana em novos astros.

Por outro lado, constatou-se que o estado atual da exploração espacial apresenta-se, aparentemente, suficientemente em condições para que se comecem a desenvolver os próximos passos neste campo, cujos autores e intervenientes parecem indicar serem a permanência de seres humanos e/ou a instalação de uma ou mais indústrias robotizadas, em um ou mais corpos celestes para além da Terra, incluindo asteroides, apresentando-se a ideia da existência de uma base, ou mesmo colônia, na Lua ou em Marte, cada vez mais realista, tanto devido à própria evolução da tecnologia, como aos esforços que têm vindo a ser testemunhados para que, um dia, este objetivo venha a ser concretizado.

E foi no contexto de esperança de, possivelmente, se contribuir de alguma forma para este objetivo — que visa a tentativa da expansão efetiva e permanente do território

habitacional da Humanidade — que foi elaborado o Estudo de Caso, apresentado em seguida.

3.1.1. Definição Concreta do Estudo de Caso

Como vimos, existem já vários conceitos idealizados para a colonização de novos astros, possibilidades exploradas — nomeadamente, através de experiências realizadas e mesmo do lançamento de robôs, sondas e orbitadores para diversos pontos do espaço exterior —, assim como veículos a serem desenvolvidos para serem capazes de transportar, tanto humanos, como grandes cargas, (pelo menos) até Marte.

3.1.1.1. Colonização Espacial e Marte

Apesar de ser algo, inquestionavelmente, ultra-desafiante e arriscado, a colonização do primeiro planeta a seguir à Terra a contar do Sol é apontada, pela maioria da comunidade ligada à exploração espacial, como aquilo que deve ser a “direção-norte” do futuro próximo da mesma — acompanhada da presença de uma base na Lua — tanto pelas questões (da necessidade e propensão da e para a expansão do *habitat* da Humanidade) já referidas na contextualização do presente Estudo de Caso mas, também, devido ao facto de Marte, de entre o grupo dos astros mais próximos do nosso, ser o local que apresenta, como vimos, as características significativas mais semelhantes às da Terra.

Com cerca de um terço do tamanho desta, o planeta vermelho apresenta, em geral, uma atmosfera — apesar de muito pouco densa comparativamente à do nosso planeta e com bastante dióxido de carbono e muitíssimo pouco oxigénio —, um terreno rochoso — com alguma água (ou, segundo alguns autores, bastante) apesar de esta não se encontrar em estado líquido a correr sobre a superfície do planeta e, sim, principalmente, em gelo, na atmosfera e misturada com o solo —, não se encontra demasiado longe (nem perto) do Sol em certa medida, apresentando as estações do ano também semelhantes às da Terra — apesar de com, sensivelmente, o dobro da duração destas, tal como o ano marciano é ligeiramente menor do que o dobro do ano terrestre — e o dia em Marte é apenas, também, ligeiramente maior do que o da Terra. Devido à combinação destas características (explicadas em mais detalhe e rigor na tabela seguinte — Tabela 1) — descobertas, medidas, identificadas e verificadas, especialmente, graças à extensiva pesquisa e exploração robótica e orbital já realizadas em e sobre Marte — os cientistas, como vimos, acreditam que este local teria condições suportáveis (com o devido auxílio tecnológico) à habitação humana. Durante a Revisão da Literatura efetuada, foi possível reunir os seguintes elementos, apresentados na Tabela 1, onde se comparam os planetas Terra e Marte, relativamente às características específicas que se consideraram relevantes para o presente estudo de caso.

Para além das características locais (ou seja, observadas no próprio planeta), acima mencionadas, verificou-se, também na Revisão da Literatura, através, por exemplo, do retorno de imagens e de dados de medições efetuadas na proximidade, em órbita ou na

superfície de Marte, que é possível comunicar com o planeta, existindo já uma rede de orbitadores a funcionarem, atualmente neste — apesar desta comunicação, entre a emissão e recepção de sinais Marte-Terra/Terra-Marte, estar sujeita a um intervalo de cerca de 20 minutos (variando consoante a conjuntura dos dois planetas). Além disto, verificou-se que, fisicamente, o planeta vermelho está à distância de alguns meses da Terra, em termos de transporte de seres humanos, o que seria uma distância razoável de ser percorrida — apesar de, também neste caso, existir uma condição, ou seja, de estas viagens estarem sujeitas a uma janela temporal que decorre, aproximadamente, de 2 em 2 anos (mais precisamente, de 26 em 26 meses), quando Marte e a Terra se encontram mais próximos.

Tabela 1 – Comparação de características entre os planetas Terra e Marte.
 (*tabela desenvolvida com base nas respetivas fontes mencionadas no capítulo 2)

	Terra	Marte
Proporção dimensional/ características da superfície:	70% da superfície terrestre está coberta por água: oceanos, lagos e rios	28% da dimensão da Terra; (praticamente) sem água em estado líquido à superfície do planeta. Superfície terrestre (ou seja, “seca”) praticamente da mesma dimensão da da Terra
Temperatura:	(chega a oscilar até 25°C no mesmo dia e local)	-50°C/-62°C, em média, tendo sido registadas temperaturas desde os -110 aos 13 ° Celsius (chega a oscilar, em alguns locais, 100°C)
Pressão atmosférica:	1013 milibares ao nível do mar; varia com a altitude mas, não ao longo do ano	6 a 7 milibares, em média, na superfície do planeta, variando ao longo do ano, ou seja, menos de 1% da da Terra ao nível do mar, ou igual à sentida na Terra a uma altitude de 45km
Existência de água:	3km de GEL, em estado líquido, gasoso e sólido	30/35m de GEL, quase na sua totalidade em estado sólido e gasoso, não existindo massas de água líquida sobre a superfície do planeta
Composição do solo:	Diversos tipos de solo existentes, com vastas áreas férteis a nível global	Diversos tipos de solo existentes, com sais possivelmente tóxicos para as plantas na maioria (se não totalidade) das amostras de solo analisadas
Densidade/Composição da atmosfera:	78% azoto, 21% oxigénio, 1.0% argónio, 0.04% dióxido de carbono, 1% de vapor de água, e, pequenas quantidades de outros gases	Entre 1/75 e 1/90 da densidade da atmosfera terrestre; 95% dióxido de carbono, 3% azoto, 1.6% argónio, 0,13% de oxigénio, e, vestígios de monóxido de carbono, água, metano e outros, juntamente com muita poeira
Vento:	—	Ventos até 100km/h, existência frequente de <i>dust devils</i> , tempestades de areia (levantada quando os ventos são de a partir de 72,42km/h) que chegam a cobrir todo o planeta

Gravidade:	A adequada ao Ser Humano	38% da da Terra
Duração e Estações do ano:	365/366 dias; 3 meses	687 dias terrestres; sensivelmente 2x mais longas do que na Terra
Duração do dia:	24 horas	24 horas, 39 minutos e 25 segundos
Proporção da intensidade da luz solar:	—	Acredita-se que cerca de 43/60% da terrestre, em média
Recursos existentes:	Ecosistemas e recursos diversos e abundantes	Ecosistema quase inexistente (comparativamente ao da Terra), com escassez de acessibilidade a recursos comuns na Terra (ex: água em estado líquido, alimentos, etc.)
Vida:	Vida humana, botânica, animal abundante e com enorme diversidade de espécies	Não encontrada até à data
Radiação:	Variação de 7% consoante a proximidade do Sol	Variação de 45% consoante a proximidade do Sol. Marte não tem ozono na sua atmosfera, permitindo a entrada direta até à superfície do planeta de radiação ultra-violeta, existindo, então, níveis de radiação prejudiciais para os seres humanos
Presença humana:	<i>Habitat</i> natural do ser humano; estima-se que uma população de 9 mil milhões de pessoas habitem, atualmente, a Terra	Que se saiba, nunca ocorreu

Ainda neste contexto, da exploração espacial, certamente, pelo menos, inicialmente, qualquer empreendimento humano (ou mesmo industrial) relativamente duradouro estabelecido fora da Terra teria a necessidade de ser abastecido — fosse a nível de competências, mão-de-obra, máquinas, ferramentas, alimentação, energia, água, materiais de construção e/ou objetos do quotidiano, etc. — estando, assim, crucialmente, pelo menos a curto e, muito provavelmente, também a médio-prazo, dependente do suporte vindo da Terra, com os devidos riscos que este facto acarretasse (por exemplo, caso um carregamento enviado da Terra não chegasse a tempo ao empreendimento).

3.1.1.2. Agricultura Espacial

Neste sentido, também, ainda, dentro do tema da colonização espacial, e, igualmente durante a Revisão da Literatura, detetou-se a relevância do tópico da Agricultura, caso se proceda à permanência prolongada de seres humanos noutra astro que não a Terra ou, mesmo, no Espaço em si. Pois, apesar de ser possível, como se pôde constatar, por exemplo, através do caso da Estação Espacial Internacional, sustentar, a nível de alimentação, os astronautas apenas através de cargas vindas da Terra, vimos como vários autores defendem que, para que as missões humanas estabelecidas em locais mais longínquos prosperassem, seria essencial que se conseguissem auto-sustentar ao nível da alimentação caso fosse necessário, sendo, assim, considerados significativamente

benéficos, e mesmo essenciais, o desenvolvimento e a prática da agricultura, numa colónia estabelecida para além da Terra.

Após o entendimento e a descrição do estado atual da indústria e da exploração espacial (também através da revisão da literatura) a nível daquilo que já foi realizado e explorado *in situ* — incluindo a análise de amostras do solo marciano e as experiências agrícolas já realizadas a bordo da EEI e de produção de oxigénio, por exemplo, a partir do ar de Marte —, analisaram-se, também, estudos e experiências, com “materiais” e ambientes simuladores, a partir dos quais foi possível verificar que a agricultura espacial é possível, e acreditar que também o seja, mais especificamente, em Marte, apesar de, certamente, serem necessárias as devidas adaptações a esta prática, dadas as diferenças identificadas entre o ecossistema da Terra e os restantes cenários exteriores a esta. Tendo-se identificado, também, espécies mais e menos indicadas para os cenários de cultivo, tanto em situações de menor força gravítica, como desprovidas de solo (neste caso, crescendo em água ou em ar) ou mesmo em solos diferentes, como (réplicas d)os solos lunar e marciano, verificou-se ainda a possibilidade da ciência genética agrícola vir a permitir, cada vez mais, o estudo e a criação ou a modificação de espécies que melhor se adaptem, por exemplo, ao ecossistema de Marte.

Idealizando-se, então, o cenário de uma colónia humana a viver fora do nosso planeta, acredita-se que, para que a mesma, a longo-prazo, conseguisse tornar-se auto-sustentável e prosperar de forma totalmente independente da Terra — o que se considera, como já explicado, que representasse a mitigação do risco do fim da Humanidade, mas, também, para que esse mesmo empreendimento não resultasse num desastre — necessitaria, obrigatoriamente, de uma forma de proporcionar e assegurar a sua própria Alimentação, considerando-se, para tal, a prática da agricultura como a solução viável avistada. Sabe-se que esta atividade necessitaria, inevitavelmente, tal como qualquer elemento natural — como, a exemplo, uma pessoa ou um vegetal — do devido tempo para o seu correto e saudável crescimento, e que, portanto, numa fase inicial, um empreendimento agrícola extraterrestre, provavelmente, não seria capaz de assegurar (nem de o fazer de forma consideravelmente isenta de riscos) a alimentação total necessária à população a que se destinasse, necessitando, esta, também, de recursos-extra enviados da Terra. No entanto, o plano — suportado por alguns dos estudos analisados, que exploraram a evolução de tais atividades ao longo do tempo — seria o de que, a longo-prazo, a atividade agrícola se estendesse a nível de volume, quantidade, variedade e complexidade de plantas e espécies cultivadas e, ainda, mesmo, à criação de animais, existindo o argumento de que a melhor forma de praticar a agricultura e a criação de espécies no espaço exterior fosse, essencialmente, procurar replicar as relações que acontecem no próprio ecossistema da Terra — por exemplo, os seres humanos consumirem o oxigénio produzido pelas plantas e, vice-versa, com o dióxido de carbono.

3.1.1.3. Outros Benefícios da Agricultura (além da Alimentação)

Neste sentido, além da alimentação, avistam-se outros benefícios extremamente significativos que a atividade agrícola poderia proporcionar a uma colônia espacial, nomeadamente, representando uma fonte natural de produção de oxigénio e, também, de reciclagem de resíduos (por exemplo, expelidos ou produzidos pelos seres humanos). Com os devidos meios e conhecimento, as espécies cultivadas poderiam, igualmente, servir à atividade da Medicina, produzindo-se remédios a partir das plantas obtidas. Por último, analisando-se, a fundo, a questão da permanência do ser humano num outro local concreto no espaço (exterior à Terra), esta motiva o argumento da tentativa de Terraformação desse mesmo local, sendo este argumento significativamente aplicado em concreto ao caso de Marte, considerando alguma da literatura analisada que existiria a tecnologia capaz de transformar o nosso planeta vizinho num lugar semelhante à Terra, e que, portanto, esse devesse ser o caminho a ser procurado, por ser aquele que representaria o verdadeiro sucesso da habitabilidade humana no espaço, fosse em 100, 1000 ou mais anos, não existindo, naturalmente, devido às várias incertezas de tal operação, e, também, consoante a(s) abordagem(s) que fosse(m) utilizada(s), nenhuma previsão concreta para quando seria possível realizá-la — a Terraformação de Marte).

Por fim, acredita-se, também, que, a fim de que a população de uma colônia espacial tenha a hipótese de prosperar e viver de modo saudável — tanto a nível físico, como social, psicológico, etc. — seriam necessários empreendimentos que abordassem as variadas vertentes da vida humana, e que, neste sentido, a agricultura pudesse contribuir não apenas a nível biológico e fisiológico, mas, também, psicológico, recordando-se, por exemplo, o facto, também referido na revisão da literatura, de que, de 2 em 2 meses, é enviada fruta fresca para a EEI, apenas por uma questão psicológica, e não por necessidade nutricional, visto que os nutrientes adquiridos a partir desta fruta seriam facilmente consumidos de outra forma.

Vimos, ainda, como alguns autores defendem que, para além dos benefícios de um empreendimento espacial permanente para o próprio local onde o mesmo se estabelecesse (por exemplo, em Marte), a investigação, conhecimentos e meios desenvolvidos para o realizar e tornar bem sucedido impactariam, também, significativamente, a ciência e a economia Terrestres, de forma positiva.

3.1.1.4. Objeto Principal do Estudo de Caso

Neste seguimento, e, visto que a presente dissertação teve como objetivo avaliar a viabilidade de uma solução logística capaz de suportar um empreendimento humano no Espaço, dentro daquele que se averiguou ser o cenário atual da exploração espacial, assim como das possibilidades que se avistam, futuramente, para a mesma, o objeto de foco escolhido para o presente Estudo de Caso, foi, concretamente, a definição conceptual de uma Cadeia de Abastecimento capaz de manter e de tornar próspera a Atividade Agrícola necessária à sobrevivência e à prosperidade de uma colônia humana em Marte (suportada pelo planeta Terra).

3.2. Identificação dos Desafios do Estudo de Caso

Perante o objeto descrito, procurou-se refletir e avaliar em que consistiriam os desafios implicados na realização do mesmo.

Essencialmente, considera-se que o desafio de base à sobrevivência e à prosperidade de uma atividade agrícola em Marte seja conseguir simular-se (sem falhas irremediavelmente prolongadas), num (ou mais) locais de Marte, um ambiente temperado suficientemente semelhante ao habitual da Terra, propício à agricultura, ou seja, capaz de possibilitar a germinação e o crescimento natural (especialmente, relativamente saudável) das espécies conhecidas de cultivo, e, também, de animais, neste outro planeta, em que (pelo menos, atualmente) o ambiente descrito não existe (nem um ecossistema a este respeito).



Figura 30 - Condições que caracterizam o ambiente atual de Marte.

Em vez disso, e como procura ilustrar o esquema da figura anterior (Figura 30), em Marte, (como vimos também na Revisão da Literatura) encontramos um ambiente caracterizado, em primeiro lugar, pela já sabida quase total ausência de água em estado líquido à superfície do planeta, um solo parcialmente tóxico (que contém, por exemplo, sais de perclorato, nocivos para as plantas terrestres), uma pressão atmosférica significativamente diferente daquela para a qual estão adaptadas as espécies terrestres (incluindo os seres humanos), temperaturas mais drásticas e, no geral, frias, comparativamente às que são medidas no nosso planeta, chegando a oscilar, em alguns locais, cerca de 100°C (encontrando-se as temperaturas mais quentes de Marte na zona equatorial), uma intensidade solar substancialmente baixa — pouco menor do que metade da terrestre — (facto relevante para o crescimento de algumas espécies de

plantas, no entanto, não de todas, como se verificou nas experiências analisadas), assim como uma gravidade de cerca de um terço da da Terra (o que, como vimos, também, em princípio, não representaria um problema para o crescimento habitual das plantas, no geral). Juntamente a um nível de radiação muito mais elevado do que o da Terra e, claro, nocivo para os seres vivos como estes se conhecem, existem também, regularmente, tempestades de areia (que chegam a cobrir a totalidade do planeta), e, por último, entre outros possíveis fatores significativos, encontramos uma atmosfera quase inexistente (também, comparativamente à da Terra) e carregada de dióxido de carbono que, neste caso, apesar de atualmente em demasia, como se sabe, é essencial para as plantas.

Além disto, dado o cenário desértico encontrado no planeta Marte, seriam, também, necessários meios e utensílios para a realização das atividades de preparação do solo (ou outro meio de cultivo), sementeira, rega, podagem, colheita, entre outras, típicas da e necessárias à agricultura (fossem estas robotizadas, desempenhadas por humanos ou através de ambas as formas) que atualmente não se encontram no planeta.

Haveria, ainda, tal como na Terra, a necessidade de se adoptar comportamentos e criar estratégias que não comprometessem as condições futuras do ambiente de cultivo e do crescimento das espécies, incentivando a sustentabilidade do empreendimento (contrariamente ao que acontece frequentemente na Terra, como, por exemplo, a prática de culturas exaustivas que resultam na perda de nutrientes e mesmo infertilidade dos solos).

3.3. Análise das Causas-Raiz dos Desafios Identificados

Dado este cenário atual, em Marte — no qual seria impossível que as espécies que conhecemos hoje se mantivessem literalmente vivas de forma natural, não apresentando este os recursos e os elementos necessários para tal —, um empreendimento agrícola implementado neste local (pelo menos, enquanto não se tornasse auto-sustentável) estaria crucialmente dependente da chegada destes itens do exterior, sendo o planeta Terra a única fonte conhecida susceptível de realizar este abastecimento.

No entanto, esta missão, de cumprir o abastecimento — crucial — de mantimentos e recursos enviados para (e chegados com sucesso a) Marte, em horários e frequências determinados, nas quantidades suficientes e, ainda, necessitando a mesma de ser executada de forma financeiramente exequível, acarreta uma enorme complexidade. Como vimos, no subcapítulo dedicado à Logística Espacial (na Revisão da Literatura), esta é uma atividade desafiante e crítica, sendo que, neste caso, associado ao fraco desempenho desta missão, estaria a forte probabilidade da não-sobrevivência do empreendimento desejado e necessário à sobrevivência da respetiva colónia.

Assim sendo, as causas-raiz dos problemas/desafios da realização do objeto principal do presente estudo de caso identificadas foram as seguintes:

- A longitude da Terra — ou seja, da fonte de fornecimento dos itens requeridos — encontrando-se os dois planetas, em média, a uma distância de 225 milhões de quilómetros, o que se traduz numa baixa flexibilidade na acessibilidade aos meios e recursos necessários, assim como na necessidade também de rigidez, inevitavelmente, associada à utilização dos mesmos pelo próprio empreendimento (incluindo os mais básicos destes, como a água, o oxigénio, etc.);
- A alta necessidade de controlo das condições de conservação — pressão, temperatura, humidade, radiação, entre outros — dos itens enviados (sendo uns destes mais sensíveis do que outros, como, por exemplo, no caso de serem enviadas sementes ou plantas vivas já germinadas, em vez de objetos comuns inorgânicos), tanto durante o transporte, como durante a armazenagem dos mesmos, assim como, certamente, a necessidade de monitorização das condições do próprio ambiente agrícola e de tudo o que isto envolve (máquinas, estruturas de suporte, etc.);
- E, por fim, o desconhecimento, a falta de experiência e a imprevisibilidade inerentes ao início de uma atividade num novo mundo (por agora, ainda completamente desconhecido, presencialmente, à raça humana), que podem resultar em erros nos cálculos das necessidades do empreendimento e são, igualmente, relevantes para o problema também apontado no subcapítulo anterior, da necessidade de adoção das práticas e estratégias que melhor contribuam para a sobrevivência e a prosperidade do empreendimento, sendo que algumas destas terão de ser criadas e desenvolvidas *in situ*, consoante a compreensão — pela prática e pela obtenção de dados experimentais — desta atividade agrícola específica, particular devido a fatores como, por exemplo, a diferente duração natural das estações do ano em Marte comparativamente às da Terra.

4. Propostas para Contornar os Desafios Identificados

Neste capítulo, serão apresentados três cenários (nos subcapítulos 4.1, 4.2 e 4.3) para o dimensionamento de uma Cadeia de Abastecimento como a referida — que permitiria o suporte e a prosperidade da atividade agrícola de uma colónia humana em Marte — que, com base no conhecimento adquirido e dados investigados durante a realização da Revisão da Literatura desta dissertação, foram elaborados com o objetivo de se averiguar a possibilidade de resposta aos Problemas/Desafios e respetivas Causas-Raiz identificados no capítulo anterior (Capítulo 3).

Deste modo, no subcapítulo 4.1, começou-se por definir (conceptualmente) as características gerais — duração (subcapítulo 4.1.1), localização (4.1.2) e arquitetura (4.1.3) — do empreendimento humano idealizado relevantes para a resolução do nosso Estudo de Caso, ou seja, cujo foco seria o setor agrícola deste empreendimento. Enquanto que, nos dois subcapítulos seguintes (4.1.4 e 4.1.5), averiguou-se, respetivamente, através da utilização de diferentes ferramentas, as necessidades deste empreendimento agrícola, em Marte, e qual a quantidade de carga respetiva que seria necessário importar da Terra — no *software* Vensim —, assim como a possibilidade, a nível tecnológico e financeiro, de suporte às necessidades identificadas — através do *software* Numbers(/Excel). No subcapítulo 4.1.6, analisaram-se, também, os Prós e o Contras do cenário de solução apresentado.

Nos subcapítulos 4.2 e 4.3, apresentaram-se, respetivamente, os segundo e terceiro cenários propostos para a solução do objetivo pretendido, elaborados (como iremos ver) com base no cenário 1. Enquanto que, para o mesmo, foi definido que existiria uma área de cultivo no empreendimento de 100 m² por pessoa — acreditando-se que esta seria a suficiente para a respetiva produção alimentar total necessária —, tendo-se em conta que, em missões de carácter espacial, a otimização do espaço disponível é de extrema importância, pretendeu-se medir, no segundo cenário proposto (no subcapítulo 4.2), qual seria o impacto da redução da área de cultivo disponível no empreendimento para metade (ou seja, neste caso, de 50 m² por pessoa) na produção alimentar local, e, conseqüentemente, nas necessidades do abastecimento da colónia importadas da Terra. E, como tal, os seguintes subcapítulos 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 apresentam, respetivamente, também, a simulação e a averiguação — das necessidades agrícolas da colónia perspectivada, juntamente com a possibilidade de suporte às mesmas — semelhantes às do primeiro cenário e com base nos modelos do mesmo, assim como a análise dos prós e contras da presente proposta.

O subcapítulo 4.3, por sua vez, foi elaborado através da utilização mista das duas estratégias referidas acima. Ou seja, pretendeu-se analisar quais seriam as vantagens e

desvantagens, comparativamente aos dois primeiros cenários, de se iniciar a missão proposta através da existência de metade da área de cultivo capaz de suportar a alimentação necessária à população e, após uma certa estabilidade no funcionamento dos sistemas propostos para o empreendimento, duplicar-se, então, a área de cultivo existente no mesmo para a que capacitaria a total produção alimentar local necessária (utilizada no primeiro cenário). Consequentemente, os subcapítulos 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 apresentam, respetivamente, o conteúdo homónimo ao dos cenários anteriores, no entanto, relativo a este terceiro cenário proposto.

4.1. Cenário de Proposta 1

Como vimos, os Problemas/Desafios do Estudo de Caso da presente investigação (identificados no capítulo anterior, Capítulo 3) condensam-se, essencialmente, na necessidade de que se tivesse acesso, em Marte (no contexto da sua colonização), ao ambiente, meios e utensílios, juntamente a comportamentos e estratégias, que permitissem a prática e o alcance de uma atividade agrícola próspera e capaz de sustentar a alimentação da população da colónia (além dos restantes benefícios referidos).

E para procurarmos solucionar o problema, começámos, neste subcapítulo, por definir as características gerais da colónia: neste caso, a sua duração (mais precisamente, da sua fase “inicial” (a longo-prazo) — aquela que se irá simular), a sua localização e a arquitetura das suas partes dedicadas à atividade agrícola. E, nos subcapítulos seguintes, apresentam-se as duas outras partes desta proposta de hipótese de solução para o problema identificado, consistindo as mesmas no seguinte, e com base no contexto da micro e macro-logística referido na literatura analisada (existindo ainda uma terceira parte, onde se avaliou as vantagens e desvantagens desta proposta):

- A primeira constitui a definição dos elementos, recursos e respetivos valores variáveis (quantidades ao longo do tempo) necessários para construir a simulação (contínua, através do *software* Vensim, que vimos ser uma ferramenta deveras adequada à procura de obtenção de dados provenientes de sistemas) do bom funcionamento do setor agrícola da colónia idealizada, a fim de se averiguar o que seria necessário (e não necessário) fornecer a partir da Terra, até à mesma, focando-se a hipótese presente na produção de alimentos local maior possível no contexto definido;
- A segunda parte constitui a averiguação dos dados (foguetões necessários e custos) que definiriam a própria Cadeia de Abastecimento que solucionaria o suporte das necessidades identificadas na simulação anterior.

4.1.1. Duração

Seguindo-se a lógica das oportunidades temporais que decorrem a cada 26 meses — devido ao favorável alinhamento planetário — para se realizarem as viagens até Marte,

e, considerando-se uma margem temporal suficiente para o início da missão envisioned — dada a sua complexidade e necessidade de preparação prévia — idealizou-se a data de Dezembro de 2035¹ como a data para o mesmo, ou seja, do lançamento da primeira viagem desta missão, considerando-se esta perspectiva como potencialmente conservadora, dados os avanços que se tem observado na indústria (e que alguns autores antevêem avisharem-se). Assim, cerca de seis a oito meses depois, os primeiros foguetões desta estratégia chegariam a Marte, propondo-se que o início deste empreendimento fosse constituído por uma missão não-tripulada (também em linha com o que averiguámos parecer pertinente na opinião de autores e peritos na área), que realizasse “apenas” atividades de pré-abastecimento e de preparação para a chegada, posterior, de astronautas.

Assim, em Fevereiro de 2038 (26 meses depois), seria lançada, para Marte, a primeira missão humana deste projeto (e, possivelmente, de sempre, considerando-se ser difícil de prever esta questão). Idealmente, os astronautas nesta missão iniciariam, desde o primeiro dia, esforços para a contínua e permanente presença humana no planeta (assumindo-se a devida rotatividade das pessoas presentes neste local).

Pensou-se que esta missão fosse iniciada com 10 pessoas (um número, relativamente, pequeno em relação à dimensão da colónia que se pretende atingir, no entanto, escolhido devido à tentativa de mitigação do risco que a incerteza-extra do início desta missão acarreta), pretendendo-se que, de futuro, a colónia crescesse, regularmente, em número de habitantes.

Avistando-se que o projeto da colonização de Marte será, como vimos, extremamente complexo e longo até ser cumprido o seu principal objetivo — da sua auto-sustentabilidade — idealizou-se realizar a simulação apresentada em seguida com uma duração de, sensivelmente, 60 anos (terminando, assim, a mesma, com o lançamento apontado para 6 de agosto de 2096). Considera-se que, numa perspectiva holística de previsão para a real dimensão da colónia pretendida, este período constituísse unicamente a fase inicial da mesma (pretendendo-se, claro, que esta continuasse a existir e a desenvolver-se também depois desta data final da presente simulação).

4.1.2. Localização

Tal como se verificou ser a norma nos artigos e restante literatura analisados, incluindo as indicações da NASA (de Outubro de 2015 (Manal *et al.*, 2022)) para a escolha do local onde aterrar astronautas, considera-se que a colónia devesse ser implementada num local com acesso ao maior número possível de recursos identificados como necessários, assim como com as condições também o mais favoráveis possível à presença humana.

¹ Todas as datas e intervalos de meses/anos mencionados nas simulações apresentadas neste Capítulo são relativos ao calendário do planeta Terra.

E, para o contexto desta investigação, pôde concluir-se que, os recursos, condições e características necessários à localização da colónia e respetivo empreendimento agrícola seriam: a proximidade de possíveis fontes de obtenção (enfantizando-se a importância da produção *insitu* para a sustentabilidade da colónia) de elementos vitais para os astronautas — água e oxigénio; fontes de outros recursos não vitais mas de extrema utilidade — como propelente para foguetões ou minérios que pudessem ser extraídos; a presença de condições climáticas, como a temperatura, pressão e luz solar o mais semelhantes quanto possível às da Terra — sendo estas variáveis ao longo da superfície marciana, tendo-se identificado que os sítios mais quentes de Marte (ou seja, com as temperaturas médias mais próximas da Terra) são as zonas equatoriais e o hemisfério Sul, especialmente, durante o Verão deste, apesar de esta ser também a zona atingida por uma maior radiação e ventos mais fortes, no geral (na altura do ano mencionada), e, quanto à luz solar, considerando-se a mesma de extrema importância para o aspeto psicológico da estadia/vida dos astronautas em Marte, além de para a produção de energia (apesar de sujeita a ciclos diários/noturnos, assim como dependente, precisamente, das condições locais (por exemplo, poeiras que reduziriam a eficiência dos painéis) e, neste aspeto, quanto mais perto o equipamento se encontrar do equador, em menor número necessitará de existir); o abrigo (incluindo-se através de locais com um campo magnético mais forte) relativo à radiação e aos possíveis impactos de cometas e asteróides; e as condições que se apresentassem mais favoráveis ao cultivo e à colheita de plantas, tendo sido apresentado um mapa, no Capítulo 2, que sugere o potencial do terreno de Marte para este fim.

Vimos, na literatura analisada, também, exemplos de lugares a evitar para a implementação da missão idealizada — como Syrtis Major (devido às rajadas de vento que testemunha) — juntamente com lugares considerados para outras propostas de colónias, como Mawrth Vallis (devido a várias vantagens que o local apresenta ao nível da construção, abrigo de certos perigos e possibilidade de produção de recursos locais), assim como a Cratera Jezero (pela temperatura elevada, fonte de água e relativos pouca poeira e campo magnético forte).

Vimos, também, uma proposta de missões humanas contemporâneas destinadas a três localizações diferentes, assim como propostas de implementação de colónias no interior dos tubos de lava encontrados em Marte, sendo esta hipótese suportada pelo argumento de que estes locais ofereceriam, naturalmente, já alguma proteção, como, por exemplo, da radiação excessiva, necessitando de menos recursos para a construção de *habitats* no planeta vermelho.

Outro ponto que se considera fulcral, no âmbito desta investigação, para a escolha da localização da colónia proposta, dado apoiar-se fortemente a tentativa futura da Terraformação de Marte — devido à segurança que tal ofereceria a tantos níveis, ao que representaria para a nossa própria espécie, e, à melhoria das condições de vida que representaria para todos aqueles que habitassem o planeta por longos períodos — é o de que este devesse ser, ainda, um local que estivesse o mais salva-guardado possível, caso (ou quando), certo dia, começasse a correr água líquida em Marte, não sofrendo o local

cheias que o pudessem destruir (por exemplo, encontrando-se a uma altitude suficiente para tal) e que o mesmo permitisse evitar a maior necessidade possível de alterações/re-adaptações/re-construções da infra-estrutura da colónia ocorrido esse “novo” cenário.

Posto isto, não se pretende definir, para a presente investigação, um local específico para a implementação da colónia idealizada, mas, ao invés, considerar-se, sim, um local em abstrato, sabendo-se (devido à informação já referida) que existem hipóteses candidatas, perante os requisitos identificados. No entanto, salvaguardando-se que, em caso de desempate, uma vez cumprindo mais do que um local estes requisitos com um nível muito parecido de prós e contras, dar-se-ia prioridade, certamente, no âmbito deste trabalho, à opção que apresentasse o tipo de solo mais propício à agricultura (pela sua composição e características, tais como um nível de humidade mais adequado).

Deixando-se, então, em aberto a definição do local específico para a implementação da colónia proposta, tendo-se constatado a importância da investigação científica para a escolha do mesmo, considera-se que fosse, ainda, possível, até ao hipotético início desta missão, descobrir-se um novo dado significativo (como a confirmação de uma boa porção de água em estado líquido bastante acessível à superfície marciana) que pudesse acrescentar uma contribuição para esta escolha (não obstante, como referido, considerar-se existirem já dados suficientes para se realizar esta seleção geográfica).

4.1.3. Arquitetura

Relativamente à definição da Arquitetura da colónia, cingindo-nos ao foco desta investigação, procurando averiguar e definir apenas, mais em concreto, a informação significativa para oferecer resposta ao Estudo de Caso apresentado, focámo-nos, unicamente, no setor agrícola da mesma, e não na sua totalidade.

Anteriormente, nesta investigação, vimos diferentes estudos e propostas de conceitos de estruturas idealizadas para o suporte às futuras colónias humanas em Marte, analisando-se, também, as propostas de espaços agrícolas de muitas destas.

No presente capítulo, da mesma forma que se idealizou uma localização em abstracto para a colónia proposta, o mesmo se fez para a definição da arquitetura do setor agrícola (e respetivas infra-estruturas) da mesma, desde que fossem cumpridos determinados critérios (também à semelhança do tópico anterior). Assim, e, com referência, também, dos trabalhos e estudos analisados, estes são:

- a praticidade da localização do empreendimento agrícola, relativamente, ao resto das infra-estruturas da colónia, considerando-se lógico que este espaço se encontre o mais perto possível das fontes de energia e dos recursos de que necessitará, e, ainda, dos astronautas, tanto por questões de fácil acesso, monitorização e resolução de possíveis problemas, como de inter-troca de recursos com estes (por exemplo: oxigénio (pessoas)—dióxido de carbono (plantas)), e, ainda, pela questão de

importância psicológica e de bem-estar que vimos, relativa à proximidade humana com espaços verdes e a natureza em geral;

- a segurança do mesmo, procurando-se a protecção do vento, tempestades de areia e radiação (encontrando-se, assim, possivelmente, mais para o interior da colónia, no entanto, não obrigatoriamente) mas, também, o isolamento deste espaço de modo a que não seja afetado por possíveis episódios de descontrolo do ambiente em qualquer outro dos espaços existentes que possam estar agregados a este sem uma divisória eficaz em caso de ocorrência de riscos de danificação da atividade agrícola;
- a modularidade do espaço destinado à produção agrícola, permitindo a possibilidade da sua extensão em conformidade síncrona com a própria expansão e escalabilidade da população e restantes infra-estruturas da colónia;
- e a redundância, considerando-se de extrema importância que exista mais do que um local de produção (e armazenamento) de mantimentos, por razões de mitigação do risco e respetivo impacto de consequências, possivelmente, fulcrais que a complexidade e a incerteza desta missão acarretam, relativos à danificação ou, mesmo, não-crescimento, dos alimentos necessários à sobrevivência da população da colónia.

Por outro lado, quanto às características materiais e tecnológicas das infra-estruturas necessárias para o empreendimento agrícola idealizado — e, também, com base nas alternativas analisadas — de uma forma geral, acredita-se que a hipótese mais eficiente assentasse, essencialmente, em estruturas implementadas na superfície do planeta.

Dado que transportar materiais de construção (ou qualquer outra carga) aumentaria os custos, volume e complexidade envolvidos na logística deste tipo de missão, definiu-se que as infra-estruturas necessárias seriam compostas, em boa parte, por materiais locais — como o basalto, areia ou rególito, chegando mesmo alguns autores a mencionar uma espécie de “betão marciano” — que vimos que também seriam passíveis de oferecer proteção contra a radiação. A sua utilização poderia facilitar a própria construção das infra-estruturas, especialmente, se fosse utilizado o método da impressão 3D para este fim. Este poderia, ainda, provavelmente, ser executado sem mão-de-obra (apesar de alguma supervisão, possivelmente, remota) humana. De resto, tudo aquilo que se considerasse não ser possível produzir-se, pelo menos, inicialmente, em Marte — devido, inclusivamente, à complexidade implicada pela necessidade de, provavelmente, durante muito tempo, os *habitats* e fatos “de ir ao exterior” dos astronautas terem de ser pressurizados e herméticos (para a garantia da possibilidade de permanência no novo planeta) — seria enviado em módulos, desde a Terra, sendo estes “desdobrados” e devidamente implementados no local.

Averiguámos, ainda, a hipótese do aproveitamento dos tubos de lava já existentes no planeta para a instalação dos espaços habitáveis e cultiváveis da colónia — que vimos terem dimensões suficientes para tal, chegando até aos 400 metros de largura. Considerou-se que — apesar das suas vantagens, ao nível da implementação de estruturas e de proteção, e de se ter verificado, na Revisão da Literatura, conceitos convidativos para o efeito pretendido — a possível baixa luz natural duradoura, assim

como as incertezas envolvidas com a utilização destes, especialmente, sem que se tenha, ainda, tanto quanto foi possível averiguar-se nesta investigação, entrado num destes tubos ou, sequer, observado o seu interior, levaram-nos a descartar (como solução inicial estrutural para o empreendimento ou, mesmo, colónia, na sua totalidade) — esta opção, defendendo que, de futuro, já presentes no planeta, os astronautas poderiam e deveriam explorá-los, tendo isto um interesse significativo para o próprio avanço do conhecimento geológico (e, possivelmente, biológico) do planeta marciano, além de para aplicações como, por exemplo, a sua utilização como armazéns ou abrigos temporários. Acredita-se que, a nível psicológico, a estadia permanente dos colonos nos tubos de lava não seria a ideia mais conveniente, apesar de diferentes indivíduos serem afetados de forma, também, diferente perante esta questão. No entanto, inquestionavelmente, pensa-se que existiria um isolamento da colónia, relativamente, ao próprio planeta, caso esta se mantivesse quase sempre debaixo da sua superfície, e que tal não seria positivo aos olhos da ideia, espírito e intenção da prosperidade da mesma.

Numa visão geral, para a totalidade do setor agrícola idealizado para esta colónia marciana, contemplar-se-iam os seguintes espaços: de cultivo, laboratórios, espaços de monitorização das plantações, sistemas implementados e do ambiente interior e exterior de Marte, armazéns, “verdes” (para o usufruto ou a contemplação dos colonos), aquários, viveiros, terrários ou outros espaços para animais (que só seriam introduzidos no empreendimento após a estabilidade, sustentação, confirmação e validação dos aspetos suficientes para tal) e, ainda, para os sistemas de gestão de resíduos e máquinas de produção de energia, água, oxigénio, etc..

Quanto aos equipamentos de produção de energia e de recursos necessários ao empreendimento agrícola, não se contemplou estruturas-extra para os mesmos, mas, sim, unicamente a sua massa, por se considerar que seriam já produzidos de modo a apresentarem a proteção necessária às condições deste planeta em que seriam instalados, contemplando-se, apenas, que, caso necessário ou arquitetonicamente lógico, estes fossem implementados debaixo das coberturas gerais da colónia, que poderiam ser produzidas com os materiais locais e métodos robóticos mencionados.

Propõe-se, então, um sistema modular em que cada módulo para 70 pessoas conteria um espaço de cultivo e respetivos laboratório e centro de monitorização, armazém, sistema de gestão de resíduos e infra-estrutura destinadas a insectos e animais, assim como um espaço verde para cada 210 pessoas, ou seja, cada 3 dos módulos de 70 pessoas, e respetivo centro de monitorização. A figura da página seguinte (Figura 31) pretende ilustrar, em esboço e em planta, um dos módulos destinados a 210 pessoas propostos para o empreendimento.

Acredita-se que a utilização de um sistema modular, como o apresentado, permitiria uma expansão eficiente à colónia.

Por fim, os espaços destinados aos animais (também representados na figura anterior) não se encontrariam, de início, na colónia, no entanto, iriam crescendo, à medida das

necessidades e do desenvolvimento da mesma, idealmente, junto às zonas de cultivo e/ou verdes já existentes.

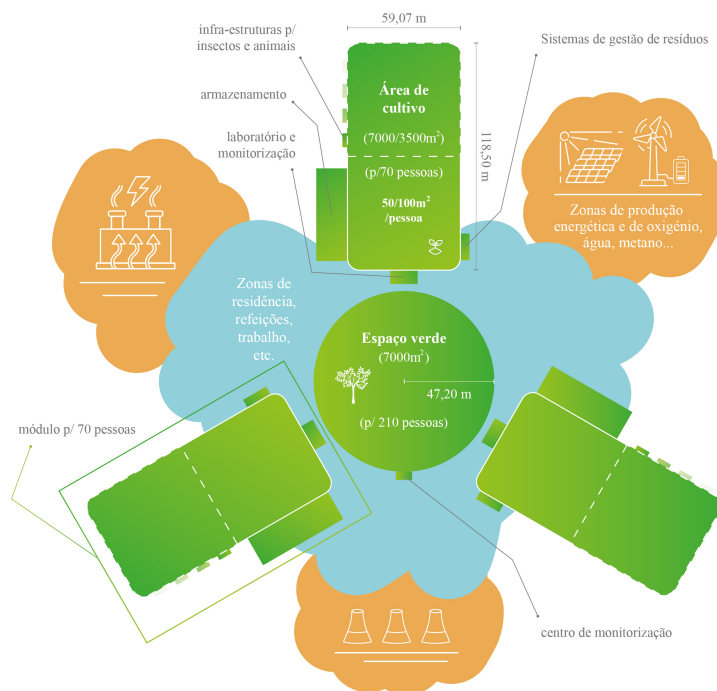


Figura 31 – Esboço proporcional, em planta, do módulo proposto para cada 70 pessoas, repetido 3 vezes, juntamente com o espaço verde destinado a cada 3 destes módulos (ou seja, a cada 210 pessoas).

Passaremos, então, no próximo subcapítulo, à definição e averiguação de uma estimativa para as necessidades logísticas do empreendimento agrícola idealizado.

4.1.4 Modelação (no *software* Vensim) das Necessidades do Empreendimento Agrícola

Estimemos, agora, através do *software* de modelação de sistemas dinâmicos Vensim, as necessidades do empreendimento agrícola para o qual se pretende elaborar uma Cadeia de Abastecimento, lembrando que identificámos, como problemas do Estudo de Caso desta investigação, a necessidade da obtenção do ambiente, meios e utensílios e comportamentos e estratégias necessários à sobrevivência e prosperidade do mesmo, sendo algumas das causas-raiz identificadas deste desafio a alta necessidade de controlo das condições do próprio ambiente agrícola e das suas espécies, juntamente, com o desconhecimento, falta de experiência e imprevisibilidade inerentes à realização da missão idealizada.

As necessidades identificadas para o empreendimento serão medidas, nesta simulação, ao nível da sua procura e consumo, ao longo de um período perspectivado de (como vimos) cerca de 60 anos. Como tal, o modelo foi definido para uma duração de 728 meses, utilizando-se o mês como unidade de medida temporal e os resultados sendo registados a cada 26 meses (por ser este o intervalo ideal e, por isso, definido entre as viagens da missão simulada), como indica a Figura 32.

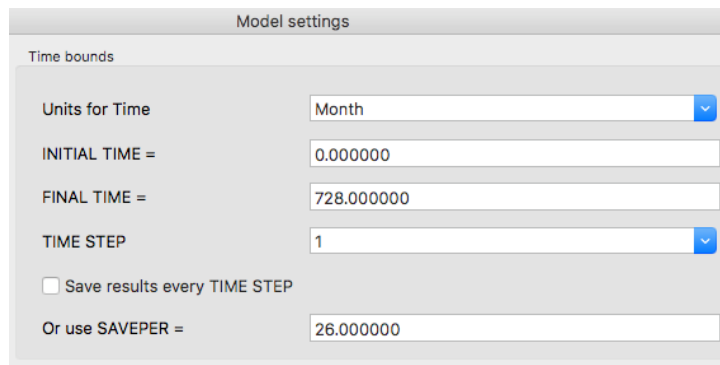


Figura 32 – Definições do modelo de simulação das necessidades do empreendimento agrícola da colônia marciana no programa Vensim.

Anteriormente, vimos como este tipo de simulação se baseia, essencialmente, em dois elementos, sendo estes as variáveis de *stock* (representadas no interior de um retângulo) — que rastreiam a produção e o consumo, ao longo da simulação, das unidades, variáveis, definidas e identificadas — e os fluxos (representados, por sua vez, por setas) — que são aquilo que faz variar os recursos registados nas variáveis. No entanto, existem, ainda, outras variáveis para além das de *stock* (representadas, visualmente, apenas por texto), que contribuem para a variação dos valores registados durante a simulação. (Por outro lado, existem também as variáveis-sombra, caracterizadas com o seu texto a cinzento e entre “<>”, que servem para a repetição de variáveis já existentes no modelo, no entanto, que se encontrem distantes, visualmente, de mais do que uma das variáveis às quais devam estar conectadas, por setas, permitindo o uso deste tipo de variáveis uma leitura visual do modelo menos confusa, evitando-se o cruzamento-extra de setas entre variáveis.)

Também na literatura analisada, vimos formas de categorizar as necessidades logísticas deste tipo de missões em alguns estudos e planos — como, por exemplo, da NASA, através da técnica “Classes de Abastecimento” —, assim como as necessidades consideradas essenciais neste tipo de empreendimento — água, oxigénio, alimentos, abrigo, energia, materiais, etc. Agora, tendo, também, em mente que as unidades definidas no modelo de simulação devem ser compatíveis, simularemos uma série de elementos contínuos, através das variáveis e respetivas estimativas apresentadas em seguida, incluindo-se a simulação das relações e interações entre estas.

Para tal, os dados de base utilizados advêm de alguns dos diversos estudos e referências mencionados na Revisão da Literatura, ou seja, alguns destes são reais — tendo sido registados durante missões decorridas — e outros tendo por base a realização de (também) simulações ou experiências de teste — visto o cenário real do contexto deste tipo de propostas se encontrar, muitas vezes, inalcançável para que se pudesse realizar as experimentações necessárias em contexto real.

Procurando-se, então, utilizar as referências mais próximas possível encontradas, apesar da complexidade, incerteza e dificuldade que este tipo de estimativas acarreta, procurou-se calculá-las com o máximo de rigor possível, no contexto desta investigação, e através de uma perspetiva conservadora, procurando-se colmatar

incertezas e não simular um cenário excessivamente otimista. Ou seja, atribuindo-se margens de segurança (por exemplo, em percentagem) onde se considerou necessário, ou, também por exemplo, arredondando-se certos valores para excesso.

Em última análise, pretende-se identificar a carga necessária a transportar para Marte, assim como a dimensão da colónia ao nível do número de indivíduos que esta suportaria. Portanto, utilizar-se-á duas variáveis (uma de fluxo e outra de *stock*) que aglomerarão a totalidade das necessidades identificadas traduzidas em quilogramas (kg) de carga necessária a ser enviada da Terra, assim como o número de pessoas presentes na colónia, também a cada 26 meses simulados.

4.1.4.1 Variáveis Utilizadas

A totalidade das variáveis apresentadas em seguida, juntamente com as suas respetivas interações — ou seja, o modelo construído para a presente simulação — podem ser observadas no Anexo I (Modelo de Simulação no *software* Vensim das Necessidades do Empreendimento Agrícola Proposto — Cenários 1 e 2) desta dissertação, assim como a lista das unidades e expressões de cálculo atribuídas a uma destas variáveis, no Anexo II (Variáveis do Cenário de Simulação 1).

Pessoas (variável de *stock*): como representa a Figura 33, esta variável apresenta dois fluxos respetivos, de entrada (“chegada”) e de saída (“saída”) de unidades (neste caso, pessoas) da mesma, que serão compostos, respetivamente, por astronautas enviados e chegados à colónia juntamente com nascimentos ocorridos em Marte, e, os regressos dos astronautas ao planeta Terra juntamente com, infelizmente, mas, acredita-se, realisticamente, alguns óbitos.

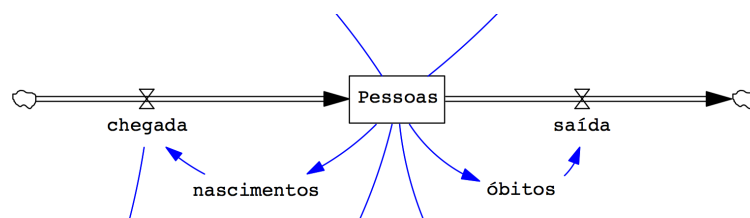


Figura 33 – Variável “Pessoas” e respetivo fluxo completo de influência direta no “stock” da mesma no modelo elaborado no software Vensim para o cálculo das necessidades logísticas do empreendimento agrícola envisioned para uma colónia humana em Marte.

Atribuiu-se, na simulação, à variável de *stock* “Pessoas”, a expressão “chegada-saída” e, como já referido que existiriam 0 pessoas no início da estratégia envisioned, esta variável compreendeu, também, o valor inicial de 0 “unidades”.

Este cresceu para as 10 após os primeiros 26 meses da simulação, e, a partir desse momento, definiu-se que, a cada 26 meses posteriores (o intervalo a que estariam espaçadas, equidistantemente, as viagens até ao planeta marciano), chegariam à colónia mais “n” pessoas que na viagem anterior, sendo este valor igual a 50 durante os primeiros 10 anos da simulação (sensivelmente, pretendendo-se representar o período equivalente a cada 5 viagens) e crescendo a cada, também, cerca de 10 anos, tal como

indica a tabela seguinte (Tabela 2). As datas nesta contidas referem-se aos lançamentos da Terra e, não, às chegadas a Marte.

Tabela 2 – População Enviada da Terra para a colónia marciana.

Valores de “n”	Datas dos lançamentos	Meses da Simulação	População Enviada	População Enviada acumulada
0	6 dezembro 2035	0	0	0
+10	6 fevereiro 2038	26	10	10
+50	6 abril 2040	52	60	70
	6 junho 2042	78	110	180
	6 agosto 2044	104	160	340
	6 outubro 2046	130	210	550
	6 dezembro 2048	156	260	810
+100	6 fevereiro 2051	182	360	1170
	6 abril 2053	208	460	1630
	6 junho 2055	234	560	2190
	6 agosto 2057	260	660	2850
	6 outubro 2059	286	760	3610
+300	6 dezembro 2061	312	1060	4670
	6 fevereiro 2064	338	1360	6030
	6 abril 2066	364	1660	7690
	6 junho 2068	390	1960	9650
	6 agosto 2070	416	2260	11910
+600	6 outubro 2072	442	2860	14770
	6 dezembro 2074	468	3460	18230
	6 fevereiro 2077	494	4060	22290
	6 abril 2079	520	4660	26950
	6 junho 2081	546	5260	32210
+1000	6 agosto 2083	572	6260	38470
	6 outubro 2085	598	7260	45730
	6 dezembro 2087	624	8260	53990
	6 fevereiro 2090	650	9260	63250
	6 abril 2092	676	10260	73510
+1500	6 junho 2094	702	11760	85270
	6 agosto 2096	728	13260	98530

- Chegada: estes valores foram incluídos na simulação através da inserção na variável de fluxo “chegada” da seguinte expressão (4.1):

$$\begin{aligned}
 & “0+STEP((10/26), \\
 & 0)+STEP(50/26,26)+STEP(50/26,52)+STEP(50/26,78)+STEP(50/26,104)+S \\
 & TEP(50/26,130)+STEP((100/26),156)+STEP((100/26),182)+STEP((100/26), \\
 & 208)+STEP((100/26),234)+STEP((100/26),260)+STEP((300/26), \\
 & 286)+STEP((300/26),312)+STEP((300/26),338)+STEP((300/26), \\
 & 364)+STEP((300/26),390)+STEP((600/26),416)+STEP((600/26), \\
 & 442)+STEP((600/26),468)+STEP((600/26),494)+STEP((600/26), \\
 & 520)+STEP((1000/26),546)+STEP((1000/26),572)+STEP((1000/26), \\
 & 598)+STEP((1000/26),624)+STEP((1000/26),650)+STEP((1500/26), \\
 & 676)+STEP((1500/26),702)+STEP((1500/26),728)”
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Pressupõe-se que as pessoas enviadas para a colónia teriam as características principais pelas quais os astronautas têm sido, tipicamente, selecionados, até aos dias de hoje. Isto de modo a evitar-se, o máximo possível, problemas, conflitos e tensões de origem e causas humanas (provavelmente, inevitáveis) e, também, procurando elevar-se a probabilidade de sucesso da missão. Ou seja, considera-se que as pessoas enviadas para a colónia deveriam ser indivíduos com boa condição física, elevada resistência ao *stress*, que trabalhassem bem em equipa, tivessem um bom sentido de autonomia e, pelo menos alguns, de liderança, pensamento crítico e alta capacidade de resolução de problemas, e, também, tolerância e boa capacidade e vontade de comunicação e de resolução de conflitos. Além disto, deveriam ser versáteis nas suas habilidades e conhecimentos, tanto a nível individual como ao nível de grupo, salvaguardando-se, sempre, que fosse enviada a proporção também típica da indústria espacial de profissionais de saúde (habitualmente, médicos), pilotos, engenheiros e cientistas variados. Supõe-se também que todos os indivíduos enviados tivessem o treino (físico, psicológico e de conhecimentos) necessário à sua preparação para a missão. Com o passar do tempo, imagina-se que estes requisitos variariam, gradualmente, de acordo com o que fosse sendo apurado que fizesse sentido, especialmente, abrangendo novas vocações profissionais, sendo enviados, por exemplo, professores, enfermeiros, etc.

Considera-se, também, a utilização do rácio de género proposto por Mukundan *et al.* (2023), de 505 homens para 495 mulheres, tendo em conta a respetiva diferença da mortalidade típica entre géneros.

O número de indivíduos enviados para a colónia, tal como as variáveis apresentadas em seguida, ainda relativas à população da mesma, consideram-se difíceis de prever a longo-prazo, no entanto, procurou-se fazê-lo através de uma perspetiva que nos pareceu plausível, tendo em consideração que se acredita que existirão avanços científicos e tecnológicos em vários campos ligados ao Espaço e às suas ciências nas próximas várias décadas em que decorreria esta missão.

- Saída: quanto à variável de fluxo “saída”, também respetiva à variável de *stock* “Pessoas”, imagina-se que, a início, grande parte, se não mesmo a totalidade, dos colónos regressasse à Terra, tendo este número a tendência para decrescer ao longo do tempo. Ou seja, ao longo dos anos e décadas que se fossem passando, acredita-se que mais pessoas se mantivessem em Marte durante mais tempo, devido, principalmente, a 2 aspetos, sendo o primeiro a exigência inicial das condições de vida que se supõe que fosse sendo aliviada com o passar do tempo e o segundo a aquisição de experiência e de conhecimento relativos à vida humana neste novo planeta, incluindo ao nível da saúde, que também se supõe que facilitaria a permanência dos colónos neste novo local. Assim, considerou-se, para as viagens de volta (ou “Partidas de Marte”) — ocorridas, provavelmente, como vimos também na revisão bibliográfica desta dissertação, cerca de 15 meses após os intervalos das chegadas ao planeta vermelho — os seguintes valores, crescentes, e, que se consideraram realistas, para a “População Retornada” de Marte (no Próximo Mês de Registo da Simulação, e, complementar “População Não-Retornada”, assim como a “População Acumulada na Colónia no Presente Mês de Registo” ainda sem a contabilização de nascimentos e óbitos), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – População da colónia marciana Retornada à Terra.

Meses de Registo da Simulação	População Enviada	Meses das Partidas de Marte na Simulação	População já Retornada no Próximo Mês de Registo da Simulação	População Não-Retornada	População Acumulada na Colónia no Presente Mês de Registo
0	0	15	0	0	0
26	10	41	10	0	10
52	60	67	60	0	60
78	110	93	100	10	110
104	160	119	150	10	170
130	210	145	200	10	220
156	260	171	240	20	270
182	360	197	340	20	380
208	460	223	440	20	480
234	560	249	520	40	580
260	660	275	620	40	700
286	760	301	720	40	800
312	1060	327	980	80	1100
338	1360	353	1280	80	1440
364	1660	379	1580	80	1740
390	1960	405	1800	160	2040

416	2260	431	2100	160	2420
442	2860	457	2700	160	3020
468	3460	483	3140	320	3620
494	4060	509	3740	320	4380
520	4660	535	4340	320	4980
546	5260	561	4620	640	5580
572	6260	587	5620	640	6900
598	7260	613	6620	640	7900
624	8260	639	6980	1280	8900
650	9260	665	7980	1280	10540
676	10260	691	8980	1280	11540
702	11760	717	9200	2560	13040
728	13260	743	10700	2560	15820

Os valores expressos nesta tabela foram traduzidos para a simulação através da atribuição à variável “saída” da expressão 4.2:

$$\begin{aligned}
& “0+STEP((10/26),26)+STEP((50/26),52)+STEP((40/26),78)+STEP((60/26), \\
& 104)+STEP((50/26),130)+STEP((40/26),156)+STEP((110/26), \\
& 182)+STEP((100/26),208)+STEP((80/26),234)+STEP((120/26), \\
& 260)+STEP((100/26),286)+STEP((260/26),312)+STEP((340/26), \\
& 338)+STEP((300/26),364)+STEP((220/26),390)+STEP((380/26), \\
& 416)+STEP((600/26),442)+STEP((440/26),468)+STEP((760/26), \\
& 494)+STEP((600/26),520)+STEP((280/26),546)+STEP((1320/26), \\
& 572)+STEP((1000/26),598)+STEP((360/26),624)+STEP((1640/26), \\
& 650)+STEP((1000/26),676)+STEP((220/26),702)” \tag{4.2}
\end{aligned}$$

Observe-se que o número de indivíduos/população que sai até ao mês de registo da simulação seguinte nunca é superior ao que chegou na viagem imediatamente anterior, pelo que se salvaguardaria que a quantidade de indivíduos a partir de Marte conseguisse sempre retornar à Terra nos mesmos veículos utilizados (mesmo que por outros indivíduos) e chegados a Marte na viagem anterior.

Como podemos observar também na Figura 33, existem outras duas variáveis que influenciam diretamente a variável de *stock* “Pessoas”, sendo estas:

- “nascimentos” — esta variável tem uma dificuldade de previsão acrescida pois, até ao momento, que se tenha conseguido obter informação, nunca nasceu nenhum bebé humano em Marte nem no Espaço (neste caso, a caminho de Marte) e não existe todo o conhecimento necessário para se conseguir antever (no âmbito desta investigação)

a totalidade das implicações envolvidas com o nascimento e desenvolvimento de crianças nascidas neste novo planeta, acreditando-se que, também apenas com a experiência adquirida na colónia é que iria sendo possível saber-se como lidar devidamente com este tipo de situação. Não obstante, como se pretendia a prosperidade e o desenvolvimento da colónia, apoiar-se-ia esta possibilidade, no entanto, apenas (idealmente) a partir do mês de registo de simulação em que começassem a não regressar indivíduos logo após os seus primeiros 15 meses de estadia em Marte — por se considerar demasiado cedo responder a este desafio durante as primeiras missões da estratégia definida propostas. Como tal, e não se pretendendo regular muito esta questão, decidiu-se atribuir a esta variável um valor aleatório entre 0 e 8 nascimentos a cada 1000 habitantes na colónia (refletidos na variável “Pessoas”), sendo o valor de 8‰ a taxa bruta de natalidade identificada em Portugal em 2022 (PORDATA, 2023) — utilizando-se a mesma como referência por se considerar que este seja um país de características demográficas semelhantes (excetuando, talvez, a China) aos de onde é natural a grande maioria dos astronautas profissionais até ao momento (Wikipédia, 2023). Assim (e também de modo a arredondar-se para as unidades o número de nascimentos), atribuiu-se a expressão 4.3 a esta variável:

$$“INTEGER(0+STEP(((RANDOM UNIFORM(0,8,0))*Pessoas/1000)/26,52))” \quad (4.3)$$

Esta variável foi, ainda, adicionada à variável “chegada”;

- e “óbitos” — somando-se os valores dos óbitos registados em indivíduos até aos 59 anos (também em Portugal, devido às mesmas razões) no ano de 2022 (217 + 61 + 37 + 187 + 439 + 814 + 2.520 + 6.661) (PORDATA, 2023a), obtém-se o valor de 10.936. O que, numa população de 10.119.870 (Countrymeters, 2023), no mesmo país e ano, corresponde ao valor arredondado às centésimas de 1,08‰. Assim, atribuiu-se à presente variável um valor aleatório compreendido entre 0‰ — visto que o número de mortes poderia ser literalmente zero — e este valor multiplicado por 10 e arredondado às unidades — 10,8‰, ou seja, 11‰ — por se imaginar que, em primeiro lugar, não viajariam indivíduos que se soubessem em risco de saúde ou (como já referido) em fraca condição física — o que levaria a menos mortes — no entanto, e em segundo lugar, acredita-se que, devido ao elevado risco da natureza desta missão, fosse bastante possível existirem falhas ou problemas — tais como descontrolos nas condições dos ambientes habitados, incluindo-se também a insuficiência de cuidados médicos necessários — que levassem ao aumento do número de mortes na população desta colónia marciana comparativamente ao risco (reduzido) que a mesma encontraria na Terra, e, em terceiro lugar, apesar de, com o adquirir de experiência e de consolidação de estratégias de sobrevivência e de vida em Marte, a estadia prolongada neste planeta poderia resultar em problemas de saúde para os humanos, inclusivamente, originados por bio-modificações nestes mesmos. Assim, atribuiu-se à variável “óbitos” a mesma expressão ao longo da totalidade do tempo da simulação, sendo esta a seguinte (expressão 4.4):

$$“INTEGER((RANDOM\ UNIFORM(0,11,0))*Pessoas/1000/26)” \quad (4.4)$$

A mesma variável foi, também, adicionada à variável “saída”.

Consumo de alimentos/pessoa: sabe-se que a quantidade de calorias diárias necessárias é variável de ser humano para ser humano, diferindo, por exemplo, entre homens e mulheres e mesmo entre alimentos com pesos, nutrientes e volumes diferentes. No entanto, identificou-se, na literatura analisada, uma média de 2,2kg² de comida/dia/pessoa para uma alimentação considerada saudável, tendo-se atribuído o valor de 2,2kg*365/12*26 a esta variável.

Consumo humano: criou-se, também, esta variável para o cálculo do consumo total, em quilogramas, de alimentos por pessoa, multiplicado pela quantidade de pessoas no empreendimento/colônia a cada momento registado, traduzido na expressão 4.5:

$$“consumo\ de\ alimentos/pessoa” * Pessoas” \quad (4.5)$$

Utensílios para alimentação: quando nos alimentamos, habitualmente, recorremos a utensílios (apesar de estes variarem entre culturas) de preparação e de consumo das refeições e, ainda, de limpeza dos mesmos (que, aliás, vimos ser ainda mais essencial em condições de baixa gravidade, devido à maior facilidade de propagação de bactérias). Como tal, apesar de nos ser bastante difícil prever de forma precisa quais seriam estas necessidades, entre talheres, pratos e outros utensílios, decidiu-se atribuir a esta variável um valor de 0,5kg por pessoa que chegar ao empreendimento, como uma média ao longo do tempo, acreditando-se que muitos dos objetos transportados inicialmente passariam, após um tempo, a ser produzidos localmente, em Marte (através de processos, por exemplo, de cerâmica e de fundição), no entanto, assumiu-se que também poderiam ser transportados, com o passar do tempo, itens não enviados de início e, possivelmente, mais pesados como, por exemplo, eletrodomésticos. Optou-se por um valor médio por pessoa devido a, apesar de estes utensílios poderem ser partilhados por pessoas diferentes quando não estão a ser utilizados simultaneamente, eventualmente, também será necessário repô-los ou substituí-los.

Área de cultivo: primeiramente, observámos que, em todos os estudos ou conceitos analisados que incluíam espaços dedicados à agricultura, estes mesmos espaços constituíam, habitualmente, a maior área necessária relativamente aos restantes espaços propostos. Sabendo que as zonas destinadas a este fim necessitam, então, de uma área considerável, em termos de números averiguámos que:

- num estudo que apresentou três dietas (cada uma com duas variantes), a destas que contempla a produção *insitu* da maior quantidade de alimentação possível (ou seja, que menos dependeria do abastecimento da Terra) e que apresenta uma alimentação

² Todos os pesos mencionados neste Capítulo são relativos ao planeta Terra pois, a carga necessitaria de ser transportada para Marte a partir da mesma.

- mais variada contempla uma área cultivada de $576\text{m}^2/6$ pessoas, ou seja, 96m^2 /pessoa;
- segundo outro dos estudos analisados, 1 estufa para 48 pessoas necessitaria de 2000m^2 , mais uma área de circulação de 500m^2 , o que resulta numa área total de 2500m^2 e um volume de 37500m^3 , ou seja, uma área de $52,1\text{m}^2$ /pessoa;
 - com base em dados da experiência EDEN da EEI e nos valores normativos da NASA, também se averiguou o valor de 286kg de alimentos produzidos numa área de $12,5\text{m}^2$ em 9,5 meses — um terço da alimentação estimada para cada astronauta na EEI — o que significaria $37,5\text{m}^2$ /pessoa para a garantia da alimentação deste durante 1 ano.

Perante o objetivo já descrito para os diferentes cenários de simulação apresentados nesta investigação, neste (Cenário 1) procurou-se a definição da área de cultivo que se acreditou possibilitar ao máximo a produção de alimentos em Marte e a redução da dependência destes vindos da Terra. Assim, considerou-se, para o mesmo, uma área de cultivo de 100m^2 /pessoa, parecendo-nos este um número conservador e compreendedor de uma margem de segurança, utilizada devido a eventualidades não-planeadas e para que se procedesse à utilização de estratégias de cultivo sustentáveis analisadas na revisão da literatura, e, também, a saber-se que os terrenos necessitam de pousio, de rotação de espécies plantadas e, muito possivelmente, de tratamentos. No *software* Vensim, foi, então, introduzida a expressão 4.6 para o cálculo desta variável.

$$“100 * \text{Pessoas}” \quad (4.6)$$

Infra-estrutura (área de cultivo): Vimos como a fabricação e preparação da infra-estrutura do empreendimento, no geral, seria, inicialmente, executada por robôs, enviados previamente à chegada dos humanos, e, posteriormente, com o auxílio destes, tanto com materiais enviados da Terra (possivelmente, reutilizando-se também algum material dos próprios foguetões enviados), como por materiais locais, através de processos como a fabricação aditiva.

Para, então, especificamente, a parte agrícola do empreendimento, idealizou-se a sua composição através de estruturas, provavelmente, metálicas (pelo menos, inicialmente, enviadas também da Terra), de suporte a algum tipo de lona translúcida mas que protegesse as espécies cultivadas da radiação e dos fenómenos climatéricos extremos (como algumas temperaturas), abruptos e indesejáveis (como tempestades de areia) que ocorrem tipicamente em Marte, estando estes dois materiais unidos através de soluções de isolamento hermético e que permitissem a pressurização das estufas de cultivo (inclusivamente, para a aptidão do ambiente destas à presença dos seres humanos nas mesmas). E pressupôs-se, também, que estas estruturas englobariam os canais necessários que comporiam o sistema de rega a ser utilizado, assim como as luzes LED que suplementariam as culturas sempre que a luz natural em Marte (reduzida comparativamente à que chega à superfície da Terra, como vimos) não fosse suficiente para o pretendido desenvolvimento destas (tendo-se averiguado, num dos estudos

analisados uma massa de 3851kg para um sistema de iluminação de uma estufa para 6 pessoas, o que equivaleria a 44928,33kg/70 pessoas). Assim, tendo-se como referência uma estufa terrestre de 2m de altura, 3m de comprimento e 3m de largura (ou seja, de 9m²), de 34,4kg (Nortene, s.d.), calculou-se que uma estufa semelhante de, neste caso, 7000m² (correspondente ao módulo proposto para cada 70 pessoas vezes os respetivos 100m² de área de cultivo) pesasse cerca de 26756kg. No entanto, para a atribuição de uma margem de tradução de uma estufa terrestre para uma marciana, decidiu-se multiplicar este valor por 5, de modo a garantir-se que o tipo de estrutura e respetivos materiais utilizados seriam capazes de oferecer a resistência necessária às condições marcianas e, contabilizando-se, ainda, os sensores necessários a estes espaços, assim como o sistema de rega e luzes, obtendo-se o valor de 133780kg. Este foi atribuído à variável “infa-estrutura (área de cultivo)” através da expressão 4.7:

$$“133780/7000*(Área de cultivo-área de cultivo passado)” \quad (4.7)$$

(Esta alternativa não foi contemplada na presente simulação, no entanto, no futuro, acredita-se que fosse possível produzir-se vidro (mais precisamente, de polimetilmetacrilato (PMMA), como vimos no trabalho de Mukundan *et al.* (2023), conhecido comumente como acrílico) com a proteção necessária para as estufas do empreendimento (que seria, possivelmente, menor que a inicial, caso as espécies cultivadas já estivessem mais ambientadas às condições de Marte) a partir de areias locais.)

Área de cultivo passado: como podemos observar na expressão de cálculo da variável anterior, esta — à qual foi atribuída a expressão 4.8 — foi criada, tanto para a subtração da infra-estrutura de cultivo já enviada para a averiguação da nova infra-estrutura deste tipo que seria necessário enviar-se, como de modo a ser possível calcular-se o volume da produção agrícola (variável descrita mais adiante), relativa à área de cultivo no mês de registo anterior, ou seja, de modo a ser possível contabilizar-se o tempo de colheita.

$$“DELAY FIXED(Área de cultivo,26,Área de cultivo)” \quad (4.8)$$

Laboratórios e monitorização: Considerou-se, em concordância com alguns dos trabalhos analisados, que a investigação relativa à sementeação e plantação de espécies especificamente para a produção das mesmas em Marte seria de extrema importância no contexto da sobrevivência e prosperidade de uma colónia humana neste planeta. Como tal, foi contabilizada, também nesta simulação, uma estimativa para a infra-estrutura e equipamento necessários a laboratórios dedicados a este fim (e, inclusivamente, à investigação genética agrícola, e, futuramente, também, animal). Além disso, no âmbito da implementação de “ecossistemas” no Espaço — ao que se pretenderia que o sistema proposto nesta investigação se aproximasse o máximo possível —, identificou-se, igualmente, a pertinência da utilização de sistemas de gestão de resíduos (descritos na respetiva variável, apresentada mais adiante). Neste sentido, vimos como, por uma questão de redundância e de segurança, foi proposto agregar-se um laboratório e centro

de monitorização (do ambiente interior do empreendimento, área de cultivo e respetivo sistema de gestão de resíduos) a cada módulo de plantação destinado a 70 pessoas. E, para a estimativa da massa de cada um destes locais — que se pretende que cumprissem ambas as funções descritas —, utilizou-se a mesma do módulo Destiny da EEI (14514,95kg) — o laboratório que serve à realização das experiências e monitorização dos sistemas da própria EEI (já preparado para suportar as radiações e temperaturas exigentes do Espaço, tendo-se, inclusivamente, aferido que a nível de radiação, medições efetuadas pelo robô Curiosity demonstraram que os astronautas em Marte estariam expostos a condições semelhantes às da EEI) — acrescentando-se ao mesmo, para uma margem de segurança e proporção relativa ao empreendimento proposto, um factor de multiplicação de 1,7, sendo $1,7 \times 14514,95\text{kg}$ equivalente a 24675,42kg. Assim, introduziu-se a expressão 4.9 na variável da simulação “laboratórios & monitorização”:

$$“24675.4*(\text{módulos } 70 \text{ pessoas novos})” \quad (4.9)$$

Como podemos observar, para o propósito acima, visto que a variável em causa não só corresponde a módulos aglomerados (e não a valores arbitrários), como também não é consumível (à semelhança de outras das variáveis já descritas) mas, sim, enviada uma única vez para cada adicionais 70 pessoas no empreendimento, foram necessárias as seguintes quatro variáveis auxiliares:

- módulos 70 pessoas novos: variável a partir da qual foi possível calcular-se os novos módulos de 70 pessoas no empreendimento, através da expressão 4.10:

$$“\text{módulos } 70 \text{ pessoas}-\text{módulos } 70 \text{ pessoas passado}” \quad (4.10)$$

- módulos 70 pessoas: onde se pretendeu identificar o número de módulos de 70 pessoas que existiriam no empreendimento ao longo da simulação, tendo-se em atenção que este não corresponderia exatamente à variável descrita em seguida, devido à mesma não se encontrar arredondada em excesso — como se definiu ser necessário, pretendendo-se que, para cada pessoa adicional a qualquer múltiplo de 70 indivíduos na colónia, fosse logo, juntamente com a carga da viagem dessa mesma pessoa, também enviado o equipamento para o início da construção de um novo módulo (significando isto que, muitas vezes, nestes módulos, não seria cultivada nem implementada de imediato a sua capacidade total, crescendo os mesmos organicamente, em simultâneo com o próprio crescimento da população total do empreendimento). Isto foi traduzido na expressão 4.11:

$$“IF THEN ELSE(\text{Pessoas} > \text{módulos } 70 \text{ pessoas auxiliar} * 70, \text{módulos } 70 \text{ pessoas auxiliar} + 1, \text{módulos } 70 \text{ pessoas auxiliar})” \quad (4.11)$$

- módulos 70 pessoas auxiliar: onde se dividiu o número de habitantes (“Pessoas”) no empreendimento por 70, arredondado a números inteiros, através de (4.12):

$$\text{“INTEGER}(Pessoas/70)\text{”} \quad (4.12)$$

- módulos 70 pessoas passado: por fim, esta variável pretendeu identificar, através da expressão 4.13, a carga já enviada na viagem anterior ao mês corrente de registo da simulação (devido, como já referido, à necessidade destes equipamentos serem enviados apenas uma vez, e não cumulativamente, para cada 70 pessoas no empreendimento ao longo da simulação, sendo esta carga passada extraída do cálculo da nova carga a enviar).

$$\text{“DELAY FIXED}(módulos 70 pessoas,26,módulos 70 pessoas)\text{”} \quad (4.13)$$

Espaço verde: tendo-se identificado, na literatura analisada, a importância deste tipo de espaços (ou seja, do contacto com a Natureza, assim como da luz natural) para a saúde psicológica e o bem-estar da população de uma colónia em Marte, definiu-se, como já referido, o acrescento de um destes a cada grupo de 3 módulos de 70 pessoas implementados. No entanto, ao contrário destes, os espaços “verdes” propostos apenas seriam implementados após a construção na colónia da totalidade de cada 3 dos módulos de 70 pessoas (ou seja, após a instalação de cada respectivas 210 pessoas) à exceção do primeiro destes espaços, que seria enviado e implementado aos 78 meses de registo da simulação (juntamente, com as 110 pessoas enviadas nessa mesma viagem). Estes espaços seriam, a nível de infra-estrutura, muito semelhantes aos espaços de cultivo (incluindo, igualmente, os sistemas de rega, luzes e sensores necessários), priorizando-se as entradas possíveis (que não deixassem de garantir a proteção do ambiente exterior necessária) de luz natural, e, compreenderiam uma área de cerca de 7000m² (equivalente a, imagine-se, uma praia de 200 x 35 m²). Como tal, foi introduzida a seguinte expressão (4.14) na presente variável:

$$\text{“STEP}(133780,78)+STEP(0-133780,104)+STEP(133780*(módulos 210- \text{módulos 210 passado}),208)\text{”} \quad (4.14)$$

Podemos também observar, pela expressão anterior, que foi necessário definir-se outras duas variáveis auxiliares:

- módulos 210: onde se agrupou, por arredondamento a números inteiros (e, por defeito), cada 210 pessoas presentes no empreendimento, através da expressão 4.15:

$$\text{“INTEGER}(Pessoas/210)\text{”} \quad (4.15)$$

- módulos 210 passado: variável que permitiu a subtração dos módulos já enviados (sendo que estes o seriam, à semelhança dos de 70 pessoas, também uma única vez)

na viagem anterior à do mês de registo corrente, com a expressão 4.16:

$$\text{"DELAY FIXED(módulos 210,26,módulos 210)"} \quad (4.16)$$

Centros de monitorização: também em linha com as tendências de agricultura digital e inteligente analisadas na revisão da literatura desta investigação, assim como para a garantia de uma maior segurança, considerou-se que seria benéfico realizar-se a monitorização, conjunta, da totalidade do ambiente interior (temperatura, níveis de oxigénio, etc.) e dos sistemas destes módulos de 210 pessoas. Conservou-se, então, um espaço dedicado ao efeito, ao qual se considerou suficiente atribuir a mesma massa do módulo da EEI (Destiny) já referido (sem os 70% de margem anteriormente contemplados, visto que o mesmo não serviria a função de laboratório e, sim, apenas a descrita), tendo-se calculado a presente variável por meio da expressão 4.17:

$$\text{"14515*(espaços verdes/133780)"} \quad (4.17)$$

Produção agrícola: esta variável pretende simular a quantidade de alimentos (total, em kg) produzida nas áreas de cultivo do empreendimento proposto. Tendo-se em conta a informação recolhida e analisada nesta investigação, para os tempos de produção até às colheitas das quantidades pretendidas de alimentos a produzir, e, para as necessidades (dos próprios terrenos) de variação ou intercalamento das culturas semeadas, pressupôs-se que a área proposta de terreno de cultivo por pessoa permitisse, em média, a produção de 1,10 vezes a alimentação necessária para essa pessoa mesma pessoa (a cada 26 meses de registo da simulação). Assim, atribuiu-se à presente variável a seguinte expressão (4.18):

$$\text{"(1.1-impvistos na produção)*(área de cultivo passado/100)*("consumo de alimentos/pessoa)"} \quad (4.18)$$

Imprevistos na produção: como podemos observar na expressão da variável anteriormente descrita, na tentativa de simulação de dificuldades acrescidas imprevistas, ou seja, de possibilidades reais — provocadas, por exemplo, por problemas na rega das culturas, com bactérias ou qualquer outro tipo de fator que pudesse colocar em causa a produção agrícola do empreendimento —, procurou-se atribuir um fator de variação aleatório, entre 0 e 40% (tendo-se em conta que este é um valor médio de todas as áreas de cultivo do empreendimento), à produção, através da expressão 4.19:

$$\text{"RANDOM WEIBULL(0,0.4,0.4,0,1,0)"} \quad (4.19)$$

Armazém / Balanço de importações, produção e consumo: esta variável pretendeu refletir (também, em kg) a quantidade de alimentos que existiu no empreendimento ao longo do mês de registo passado até ao corrente. Ou seja, à soma da alimentação importada da Terra que chegou a Marte no mês de registo passado, com a produção

local total do mês de registo corrente, assim como com o que restou em armazém do mês de registo anterior, subtraiu-se o consumo total de alimentos necessário nesse período de 26 meses até ao mês de registo corrente, obtendo-se, desta forma, o balanço de todas estas quantidades, ou seja, dos alimentos que, na sua totalidade, ficariam em armazém após decorrido cada mês de registo. Para tal, foi utilizada a seguinte expressão de cálculo (4.20):

$$\begin{aligned} &“(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra \\ & passado>0,Alimentação necessária a importar da Terra passado,0)) \\ & +Produção local total+(IF THEN ELSE(“Armazém / Balanço de importações, \\ & produção e consumo passado”>0,“Armazém / Balanço de importações, \\ & produção e consumo passado”,0))*(1-imprevistos no armazenamento)- \\ & Consumo total necessário passado” \end{aligned} \quad (4.20)$$

Esta variável serviu, também, como meio de se observar se a disponibilidade de alimentos na colónia seria, ao longo da simulação, sempre, pelo menos, suficiente (ou seja, positiva), como podemos verificar através do gráfico da Figura 34.

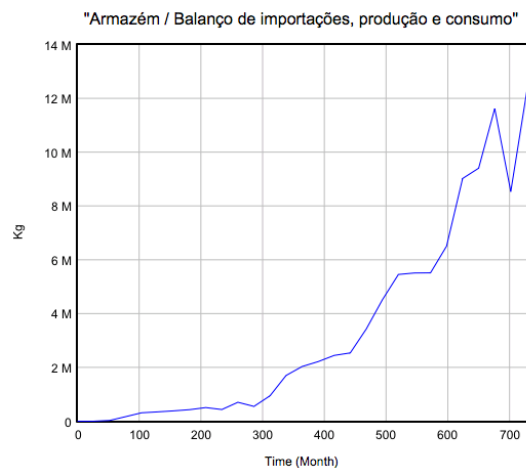


Figura 34 – Resultados da variável “Armazém / Balanço de importações, produção e consumo”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1. *(x=26 y=0kg; x=52 y=27404,2kg)

Imprevistos no armazenamento: como pudemos também observar na expressão anterior, e, à semelhança da variável “imprevistos na produção”, na igual tentativa de simulação de dificuldades acrescidas imprevistas — provocadas, neste caso, por exemplo, por problemas com bactérias, humidade ou, também, qualquer outro fator colocasse em causa a viabilidade dos alimentos armazenados no empreendimento —, procurou-se atribuir um fator de variação aleatório ao armazenamento (também em média para o conjunto dos armazéns existentes), através da expressão 4.21, considerando-se que a viabilidade do armazenamento de alimentos acarreta menos riscos do que a da produção destes.

$$“RANDOM WEIBULL(0,0.2,0.2,0,0.1,0)” \quad (4.21)$$

Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar: de modo a fomentar-se uma maior diversidade alimentar dos habitantes do empreendimento — e, com base nas ideias de Meyer (2021a; 2021b), apresentadas na Revisão da Literatura —, seriam enviados para o empreendimento proposto módulos de estruturas para viveiros, terrários, aquários, etc. (um para cada módulo de 70 pessoas), de modo a que se começasse a incluir em Marte, passo a passo, a vida animal e ecossistema (apesar de, ainda, artificializado) tão presentes na Terra e próprios da mesma — sabendo-se, inclusivamente, que a inclusão destes seres no sistema agrícola comportaria benefícios ao mesmo.

Para o asseguramento da estabilidade e condições necessárias à receção e correto desenvolvimento destes espaços e respetivos seres vivos, os primeiros destes apenas seriam enviados a partir da instalação de 6 módulos de 70 pessoas no empreendimento (ou seja, de 2 módulos de 210) (e aquando do funcionamento regular dos mesmos). Posteriormente, a partir desta fase, de 130 em 130 meses (ou seja, sensivelmente de 10 em 10 anos, de 5 em 5 janelas temporais de viagem Terra-Marte) seriam enviadas estruturas desta natureza adicionais. Assim, por exemplo, um módulo de 70 pessoas inicial, ou seja, que no mês de registo 208 já tivesse recebido um terrário para insectos, passados 130 meses iria receber, também por exemplo, um aquário para camarões. Enquanto que os módulos de 70 pessoas novos receberiam, ainda, apenas um destes módulos (para se garantir a escalabilidade estável e viável do crescimento da vida animal neste novo ambiente). A ideia seria a de que, com o passar do tempo, os animais a serem enviados fossem de porte cada vez maior, por exemplo, pela seguinte ordem: insectos, camarões, peixes, galinhas, coelhos, cabras, vacas. E a infra-estrutura enviada incluiria já, também, os próprios seres vivos que nela habitariam.

Para tal, definiu-se, como peso médio destes módulos o de 5850kg — utilizando-se como referência o módulo pressurizado analisado na revisão da literatura destinado à habitação de 4 seres humanos (com um peso de 7800 (e carga máxima de 10000kg), tendo-se multiplicado o mesmo por 0,75%, por se considerar um respetivo volume mais adequado ao propósito pretendido) — adicionando-se o de 186kg para os seres vivos enviados — equivalente aos respetivos 3 seres humanos (médios) destinados ao módulo analisado, como referência para o peso conjunto dos animais ou insectos dele habitantes. Isto resulta num total de 6036kg para o total do peso destes módulos a serem enviados.

$$\begin{aligned}
 & \text{"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"} + \text{"infra-estrutura} \\
 & \text{(insectos e animais) a enviar futuro"} + \text{"infra-estrutura (insectos e animais) a} \\
 & \text{enviar futuro 2"} + \text{"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro} \\
 & \text{3"} + \text{"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 4"} \quad (4.22)
 \end{aligned}$$

Então, a presente variável foi definida através da expressão 4.22, seguindo-se a descrição de uma série de variáveis que possibilitaram o seu cálculo, assim como as suas respetivas expressões de cálculo:

- Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro (expressão 4.23): variável a partir da qual é calculada a quantidade e respetiva massa (6063kg/módulo) dos primeiros módulos de infra-estrutura com este fim a serem enviados para cada respetivo módulo de 70 pessoas:

*“IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado">0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado")*6036,0)”* (4.23)

- Infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar (expressão 4.24): onde se definiu o número de módulos destinados a insectos e animais no empreendimento (equivalente ao número de módulos para 70 pessoas), a partir da data em que seria iniciado o envio destes (comestíveis) para o mesmo:

“STEP(módulos 70 pessoas,208)” (4.24)

- Infra-estrutura (insectos e animais) passado: onde se pretendeu registar o valor da variável anteriormente descrita no mês de registo prévio ao corrente da simulação, através da expressão 4.25:

“DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar",26,"infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar)” (4.25)

- Variáveis em que se definiu o envio dos segundos, terceiros, quartos e quintos módulos destinados a insectos e animais, por esta ordem, a serem enviados para cada módulo de 70 pessoas que lhes seria correspondente (após os referidos intervalos de 130 meses, equivalentes a 5 janelas de viagem, cerca de 10 anos e 2 terços):

- Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro (expressão 4.26):

“DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro", 130,"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro)” (4.26)

- Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2 (expressão 4.27):

“DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro", 130,"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro)” (4.27)

- Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3 (expressão 4.28):

“DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2", 130,"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2)” (4.28)

- Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 4 (expressão 4.29):

*“DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3",
130,"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3")”* (4.29)

Produção de Insectos e Animais: dos insectos e animais produzidos no empreendimento, considerou-se que, em média, a cada 26 meses, 20% dos destes que existiriam nos 26 meses de registo da simulação anteriores (visto, obviamente, os insectos e animais necessitarem de tempo para evoluir, crescer e, também, reproduzir-se) servissem de alimentos aos seres humanos no empreendimento, incluindo alimentos que estes produzissem (como, por exemplo, ovos). Atribuiu-se, então, a expressão 4.30 ao cálculo desta variável, considerando-se como o peso dos animais existentes, em média, o dobro deste no momento inicial dos mesmos para o empreendimento (186kg*2):

“0.2“infra-estrutura (insectos e animais) passado”*372”* (4.30)

Produção local total: pôde, assim, obter-se o cálculo da totalidade dos alimentos produzidos no empreendimento, através da expressão 4.31:

“Produção de Insectos e Animais+Produção agrícola” (4.31)

Fauna para os espaços verdes: vimos como a relativamente curto, médio e longo-prazos, foi definido que se iria inserindo insetos e animais no empreendimento por razões alimentares, no entanto, também se pretende fazê-lo por questões psicológicas. Assim, esta variável serve de cálculo para o envio de biodiversidade — como, por exemplo, pássaros e minhocas — destinada aos espaços verdes do empreendimento, através da expressão 4.32, que engloba o peso para os seres vivos em questão (para o qual se utilizou o peso dos 186kg homónimos enviados junto com os módulos de infra-estruturas para insectos e animais multiplicados por 2):

*“372*espaços verdes passado/133780”* (4.32)

E, como vemos, foi necessária a utilização da seguinte variável auxiliar:

Espaços verdes passado: para a devida segurança e estabilidade do ambiente do empreendimento, apenas após 52 meses de serem enviados os espaços verdes para o empreendimento é que será enviada a biodiversidade destinada aos mesmos — igualmente a estes, também uma única vez para cada módulo, esperando-se que a mesma se desenvolvesse e reproduzisse organicamente. Utilizou-se a expressão de cálculo 4.33:

“DELAY FIXED(espaços verdes,52,espaços verdes)” (4.33)

Consumo animal: como será óbvio, além dos astronautas, também a vida animal no empreendimento necessitaria de alimento. Para tal, decidiu-se atribuir a esta uma percentagem de 10% do consumo humano, pressupondo-se que os restantes 90% fossem supridos pela parte da colheita agrícola que não será consumida pelos astronautas em substituição do consumo destes próprios insectos e animais a alimentar, juntamente com os restantes resíduos alimentares também não consumidos, tipicamente, por humanos mas, sim, por animais. Utilizou-se, então, a expressão 4.34 para o cálculo desta variável:

$$\text{"IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais)">0,0.1*Consumo humano,0)} \quad (4.34)$$

Consumo total necessário: por sua vez, esta variável serviu para se realizar o cálculo acumulado de todo o empreendimento, através da expressão 4.35:

$$\text{"Consumo humano+Consumo animal"} \quad (4.35)$$

Pressupõe-se que o consumo e o armazenamento dos alimentos — tanto importados, como produzidos localmente — seriam realizados de acordo com uma lógica FIFO, articulada com a correta gestão das diferentes validades dos mesmos, de modo a garantir-se o seu melhor aproveitamento possível.

Alimentação necessária a importar da Terra: esta variável contemplou, primeiramente, o consumo inicial necessário (multiplicado por 1 vez e meia, para uma margem de segurança) aos astronautas que chegariam ao empreendimento na primeira viagem tripulada — ou seja, sem que estivessem ainda implementadas as zonas de cultivo do mesmo e, conseqüentemente, se tivesse procedido às suas primeiras colheitas, ou seja, não existindo, ainda, a produção local de alimentos — assim como, também, na segunda viagem (correspondente ao consumo total previsto para a população nesta chegada ao empreendimento), devido à produção local não ser ainda, muito provavelmente, suficiente para garantir de forma segura a alimentação necessária à população total no empreendimento e por, também, se ter em conta uma margem de segurança face ao nível de risco exigente da implementação deste empreendimento. Em seguida, a mesma variável serviu para que se calculasse, no mês corrente de registo da simulação, a alimentação necessária a todo o empreendimento que não fosse ser suprida pela própria produção local total desse mesmo período, juntamente com o excedente em armazém do mês de registo passado. Além disto, apesar de se pretender que este empreendimento fosse o mais independente possível do abastecimento da Terra, devido à natureza e circunstâncias deste tipo de missões, decidiu-se atribuir uma margem de segurança de 40% ao consumo humano previsto para o mês de registo corrente da simulação, de forma a procurar garantir-se sempre a sobrevivência da população, pelo menos, ao nível alimentar, no caso de ocorrência de falhas de impacto significativamente elevado. Assim, foi utilizada a expressão 4.36 para o cálculo desta variável:

$$\text{"STEP}(17398.3*1.5,26)+\text{STEP}(17398.3*6,52)+\text{STEP}((\text{Consumo total necessário-Produção local total-} \text{"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado"})+0.4*\text{Pessoas}*\text{"consumo de alimentos/pessoa"}-17398.3*7.5,78)\text{"} \quad (4.36)$$

Seriam enviados o tipo de alimentos atualmente fornecidos aos astronautas, que vimos serem, de modo geral, alimentos irradiados, termo-estabilizados, bebidas e alimentos reidratáveis, etc..

Salvagarde-se que a população no empreendimento ainda conseguiria sobreviver tendo apenas ao seu dispor até uma determinada percentagem da totalidade de alimentos que se considerou ideal, e, ainda, que, em caso de necessidade, poder-se-ia enviar carregamentos-extra — especialmente, se os mesmos não fossem tripulados — de alimentos fora das janelas ótimas de lançamento de 26 em 26 meses. Estes cenários não foram contemplados na presente simulação por não terem sido, aparentemente, necessários, no entanto, considera-se que representariam formas a considerar de atenuação e possível mitigação dos riscos envolvidos com a presente proposta.

Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado (expressão 4.37): esta foi uma variável auxiliar criada para a possibilidade de cálculo de duas das variáveis já mencionadas (*inclusive*, a imediatamente anterior):

$$\text{"DELAY FIXED("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo", 26,0)\text{"} \quad (4.37)$$

Alimentação necessária a importar da Terra passado: através da expressão 4.38, esta variável auxiliar serviu de cálculo dos valores do mês de registo da simulação anterior da respetiva variável “Alimentação necessária a importar da Terra”.

$$\text{"DELAY FIXED(Alimentação necessária a importar da Terra,26,0)\text{"} \quad (4.38)$$

Abastecimento terrestre para a agricultura: em seguida, nesta variável, procurou-se calcular todos os utensílios e equipamento que seriam necessários para as atividades agrícolas — de sementeação, rega, cuidado, colheita, etc. das culturas — consistindo estes no seguinte:

- Terra: vimos, na revisão bibliográfica desta investigação, diversos meios em que seria possível praticar-se a agricultura no espaço — como a terra (tradicional), a água (hidroponia) e o ar (aerponia). E, apesar de os meios menos tradicionais aparentarem ser, possivelmente, mais eficientes a nível de recursos numa certa perspectiva, devido ao facto de se considerar que existam (tanto quanto foi possível averiguar-se) menos estudos e práticas empíricos, e, estudos e práticas empíricos realizados para um menor número de espécies, assim como de, a nível holístico, estes meios requererem recursos-extra — como a produção de mais água ou a construção

de estruturas de suporte às culturas (que substituíssem a própria terra) — comparativamente ao meio mais tradicional de plantação e, ainda, de se pretender o incentivo da, um dia, terraformação de Marte e por isso a normalização da utilização deste meio tradicional para o desenvolvimento da agricultura e flora do planeta-vizinho, optou-se por que, desde o início destas práticas em Marte, estas fossem realizadas através deste meio tradicional — com base em terra. E, como se averiguou que o solo marciano fosse, em parte, tóxico para muitas das espécies de cultivo terrestres, definiu-se que seria enviada terra terrestre para Marte. Para o cálculo da quantidade desta necessária, conseguiu-se derivar, de um dos estudos analisados, que seria necessária uma quantidade de cerca de 56kg/m^3 (com arredondamento por excesso) de terra para as plantações. E foram, então, criadas as seguintes variáveis com as respetivas expressões:

- terra auxiliar (expressão 4.39):

$$“56*Área\ de\ cultivo” \quad (4.39)$$

- terra passado (expressão 4.40):

$$“DELAY\ FIXED(terra\ auxiliar,26,terra\ auxiliar)” \quad (4.40)$$

- terra (expressão 4.41):

$$“terra\ auxiliar-terra\ passado” \quad (4.41)$$

- Sementes e plantas: vimos que existem, essencialmente, 2 grandes grupos de sementes — as ortodoxas e as recalcitrantes — em que as do primeiro grupo aguentariam a viagem até Marte, se mantidas em condições favoráveis à sua conservação — secas e de temperatura baixa —, enquanto as do segundo grupo não aguentariam sem germinarem ou se deteriorarem. Como tal, assumiu-se que, numa fase inicial, apenas sementes do primeiro grupo fossem levadas até Marte, de forma a economizar e reduzir o risco da missão, e que, com o passar do tempo, sementes do segundo grupo fossem transportadas em condições já semeadas, germinando e crescendo durante a viagem (de modo a não chegarem ao seu destino extintas). De resto, não mencionaremos, por falta de conhecimento especializado na área, as espécies específicas que fariam parte da dieta agrícola da colónia (e das sementes e plantas enviadas) visto que, após a revisão da literatura, foi possível verificar que existem combinações de espécies que suportariam uma alimentação saudável dos astronautas e de se ter observado dados relativos a estimativas das áreas cultivadas nas respetivas experiências. Assim, estimou-se o peso das sementes a serem enviadas para o empreendimento através dos valores aferidos (também no Capítulo 2 deste trabalho) de 42kg de sementes necessários para 6,72 pessoas/500 dias — o que se traduziu em 9,88kg/pessoa (ou seja 100m^2 de área de cultivo)/790 dias (ou seja, 26

meses) — e das sementes/plantas germinadas durante as viagens até Marte, sendo que, para tal, apesar de se ter verificado que um dos estudos analisados revelou uma biomassa total de 670,64g/m² (se somarmos a totalidade das parcelas apresentadas no Apêndice 1 do mesmo) numa colheita efetuada 159 dias depois da sementeação, considerando-se que esta duração seja aproximada ao tempo de viagem até Marte, como esta seria a massa no fim da viagem e se considera que o custo de tonelada enviada seja acentuadamente mais significativo devido ao momento de descolagem dos foguetões do planeta Terra, decidiu-se atribuir também a estas plantas/sementes, que ainda seriam sementes do início das viagens, o peso médio anterior identificado para o peso das sementes, no geral, multiplicado por 4 (procurando-se representar através desta margem o peso médio destas plantas durante a viagem), acrescentando-se-lhe, apenas, o peso da terra para estas mesmas sementes/plantas. Assim, nesta variável de simulação, utilizou-se a expressão 4.42:

$$\frac{STEP(9.88 * \text{Área de cultivo} + 0.5 * (\text{espaços verdes} - \text{espaços verdes passado})}{133780 * 7000,0} + STEP(((9.88 * 0.6 + (9.88 * 4 + 56) * 0.4) - 9.88) * \text{Área de cultivo} + 0.5 * (\text{espaços verdes} - \text{espaços verdes passado}) / 133780 * 7000,182) \quad (4.42)$$

- **Adubos/fertilizantes:** considerou-se que seria benéfico enviar-se um suplemento agrícola com as funções de adubos e de fertilizantes para as áreas de cultivo do empreendimento. No entanto, este seria reduzido — considerando-se uma quantidade de 5% da terra enviada — pretendendo-se que fossem adotadas técnicas no empreendimento como as que vimos na análise da literatura — por exemplo, a *Zero Budget Natural Farming* — que estimulam as espécies plantadas de modo sustentável e através da não-utilização de substâncias contra-producentes e tóxicas para o solo a médio e longo-prazos — como certas substâncias químicas — acreditando-se, então, ser possível utilizarem-se para este fim, principalmente: os próprios resíduos agrícolas locais e substâncias produzidas a partir destes, assim como os produtos do sistema de gestão de resíduos (que veremos em seguida). Esta variável foi, então, calculada através da expressão 4.43:

$$0.05 * \text{terra auxiliar} \quad (4.43)$$

- **Outros utensílios:** identificou-se, ainda, a necessidade de serem enviados os seguintes utensílios, apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Utensílios (e respetivos pesos) de auxílio à atividade agrícola do empreendimento proposto.

Tipo	Descrição	Peso
Recipientes:	Propõe-se a utilização de caixas, onde seriam enviadas as sementes(/plantas) para o empreendimento, servindo as mesmas para as atividades de colheita e armazenamento da produção agrícola (que destas necessitasse), considerando-se a quantidade de 1 caixa por cada 20 kg das sementes(/plantas) enviadas.	1,5kg (caixa)

Luvas:	Calculou-se a quantidade de envio de 10 pares de luvas agrícolas por módulo de 70 pessoas existente no empreendimento.	0,2kg (par)
Pás e outras ferramentas:	Também para cada área de cultivo dos módulos de 70 pessoas, definiu-se o envio de 20 destas ferramentas.	1kg (ferramenta)
Outros (margem):	Decidiu-se acrescentar uma margem excedente de contemplação de outras ferramentas, materiais ou utensílios que possam também ser necessários.	5% de “Outros utensílios”

Assim, atribuiu-se a esta variável a expressão 4.44:

$$“(1.5*\textit{sementes e plantas}/20+(10*0.2+20)*(\textit{módulos 70 pessoas novos}))*1.05” \quad (4.44)$$

Estas 4 variáveis foram aglomeradas da seguinte forma (expressão 4.45):

$$“\textit{terra+sementes e plantas+adubos/fertilizantes+Outros utensílios}” \quad (4.45)$$

Robôs agrícolas: considera-se que o trabalho agrícola seria benéfico psicológica, física e socialmente para os colónos (não deixando de ser essencial para a sustentabilidade da proposta desta investigação), no entanto, para tarefas, possivelmente, muito repetitivas, ou mesmo por necessidade do aumento de produtividade agrícola nalguma determinada altura (por exemplo, devido à redução da disponibilidade temporária dos astronautas para resolução de problemas ou por motivos de doença), este tipo de trabalho pudesse ser auxiliado por robôs — pois, analisaram-se trabalhos publicados relativos à evolução da robótica no setor agrícola e, inclusivamente, deste tipo de robôs, especificamente, também, para Marte, que suportam esta ideia. Apesar de não considerarmos totalmente fiável que se dependesse desde ajudadores total e inicialmente para a preparação dos terrenos prévia à chegada dos astronautas (como defende pelo menos um dos trabalhos analisados), observado o estado da arte deste campo considera-se credível que a utilização deste meio para o aumento da produtividade agrícola fizesse sentido e, como tal, partindo-se da massa de robôs calculada (na literatura) para uma estufa de 6 pessoas de 2362kg, imaginou-se que fosse enviada a proporção desta relativa a 10 pessoas — 3937kg — por cada novo módulo de 70 pessoas enviado para o empreendimento a partir da quinta viagem tripulada (ou seja, quando, idealmente, já existisse alguma previsibilidade e estabilidade nas condições de produção de modo a ser efetuada uma integração bem sucedida destes robôs agrícolas). (Os robôs poderiam e deveriam ser distribuídos também pelos módulos previamente existentes no empreendimento.) Atribuiu-se, assim, à variável “robôs agrícolas” a expressão 4.46:

$$“STEP(3937*\textit{módulos 70 pessoas novos},130)” \quad (4.46)$$

Infra-estrutura (armazenamento): como já descrito, pretendendo-se que existisse um módulo de armazenamento por novo módulo de 70 pessoas no empreendimento, calculou-se o seu peso, com base na previsão da sua capacidade máxima (apesar de não

se ter calculado o volume desta) — tendo-se contabilizado o consumo de alimentos por 70 pessoas e respetivo consumo animal (10%) com uma margem de 50% adicional, juntamente com os robôs e outros utensílios também destinados a cada módulo de 70 pessoas, mais um dispositivo de descarregamento pequeno de 10kg observado nos trabalhos analisados no capítulo 2 — ou seja, de $(2,2\text{kg} \cdot 365\text{dias} / 12\text{meses} \cdot 26\text{meses} \cdot 70\text{pessoas} \cdot 1,10 \cdot 1,50 + 839,9\text{kg} + 3937\text{kg} + 10\text{kg} =) 205737,65\text{kg}$ — proporcionada ao valor aferido (também na literatura analisada) de uma massa de 3400kg para um módulo logístico pressurizado com a capacidade de conter 17500kg — ou seja, 39971,87kg. Atribuiu-se, então, à presente variável a expressão 4.47:

$$“39971,87 \cdot (\text{módulos } 70 \text{ pessoas novos})” \quad (4.47)$$

Sistemas de gestão de resíduos: tal como se verificou acontecer na EEI, seria possível que o empreendimento proposto funcionasse com o suporte de um sistema de gestão de resíduos (em vez do desperdício destes), englobado na rede proposta, composta, também, por outras estruturas (já mencionadas — como as estufas — e que veremos em seguida — como máquinas de produção de ar/água) para o suporte à vida no empreendimento. Urina, excrementos e outros resíduos (como lixo) poderiam ser utilizados para a geração de água, fertilizante ou oxigénio, em complementariedade com as próprias culturas nos campos do empreendimento, reduzindo-se a dependência destes da Terra. Para tal, aferiu-se que a massa de um sistema deste tipo, para 6 pessoas, é de 982kg, o que, equivalido a 70 pessoas, poderia considerar-se ser 11457kg. Assim, foi criada, na simulação, a variável “sistemas de gestão de resíduos” à qual foi atribuída a expressão 4.48:

$$“11457 \cdot (\text{módulos } 70 \text{ pessoas novos})” \quad (4.48)$$

Máquinas de produção de água, oxigénio e metano: claramente, para o funcionamento da variável anterior e não só, seriam necessários, ao empreendimento, recursos como a água, o oxigénio, o metano e o dióxido de carbono:

- Água: para tal, e como referido na revisão da literatura, acredita-se, com base em medições realizadas roboticamente em Marte, que exista uma quantidade considerável de água neste planeta (cerca de um centésimo (ou, mesmo, ligeiramente mais) da água existente na Terra) — apesar de (praticamente) não em estado líquido — e que esta poderia ser extraída por meio de diversas tecnologias dos diferentes estados em que se encontra. Tendo-se salientado, previamente, a importância da implementação do empreendimento junto a locais considerados como possíveis “fontes” de água, idealizou-se incluir no empreendimento equipamento para o fim da extração desta, e um estudo analisado refere que seja possível obter-se 68,2 kg de água por hora, através de um processo de electrólise (mencionado em seguida). Também a partir dos trabalhos analisados, aferiu-se o consumo médio diário necessário para cada astronauta de 9,6kg de água, ao qual se decidiu juntar 200kg de água, também por pessoa, para as áreas de cultivo e 67kg para os espaços verdes (1/3

do valor anterior, devido à proporção de 1 espaço verde para 3 áreas de cultivo). Isto daria um total de 218744,5kg/pessoa/26 meses. Destes, vimos, também, que o sistema de gestão de resíduos produziria 7,73kg de água/dia/6 pessoas, ou seja, 1018,86/pessoa/26 meses. Sobrando 217725,64kg de água/pessoa/26 meses no empreendimento, vimos como o sistema de extração de água referido e descrito, em mais detalhe, em seguida, possibilitaria a obtenção de 1294436kg de água/pessoa/26 meses. Com um resultado de 1076710,36kg subtraído dos 217725,64kg de água em falta, considera-se que esta quantidade fosse capaz de servir as necessidades de água da colónia já descritas, assim como as da produção dos recursos descritos em seguida, como margem de reserva de segurança e, ainda, para o consumo animal no empreendimento, não se contemplando assim, na modelação das necessidades deste empreendimento, o abastecimento terrestre de água (considerando-se que o mesmo apenas seria necessário na primeira viagem tripulada do plano proposto, caso os sistemas enviados, previamente — e que iniciariam a produção deste recurso, a água — falhassem, o que não se considerou ser o caso, para a presente simulação);

- Oxigénio: seria também, obviamente, necessária a obtenção de oxigénio, mais especificamente, de 2,8kg, em média, por dia, por pessoa. Tendo-se averiguado que as estufas seriam capazes de produzir uma quantidade deste recurso de 1,87kg/dia/6 pessoas — ou seja, 0,32kg/dia/pessoa — restaria colmatar-se 2,48kg/dia/pessoa (ou 1961,27kg/pessoa/26 meses) desta necessidade. E o sistema de extração de água mencionado (DLSS), produziria, também (a partir de dióxido de carbono da atmosfera marciana e de hidrogénio eletrolisado a partir de lençóis freáticos), oxigénio (e metano, como veremos em seguida) a um ritmo de 68,2 kg/h (ou seja, de 1636,8kg/dia e 1294436kg/26 meses). Existiria, ainda, a necessidade de se produzir oxigénio como combustível de regresso dos astronautas à Terra, para o que seriam necessários 933000kg/100 pessoas. Se aglomerarmos os 933000kg de combustível com o oxigénio a colmatar para o consumo de 100 pessoas (196127kg), obtemos o valor de 1129127kg, que, como podemos testemunhar, é inferior à capacidade de produção da máquina de obtenção de oxigénio, por 165309kg. Assim, considera-se que também não seria necessário o envio de oxigénio para o empreendimento (contando-se, também, que fosse enviado e instalado o sistema necessário já na primeira missão (não-tripulada) do plano proposto), visto que existe esta margem de kg de oxigénio, que serviria de reserva de segurança, assim como para o consumo animal no empreendimento;
- Metano: tendo sido referido que o sistema apresentado produza oxigénio e metano a um rácio de 4:1, estima-se que produzisse 409,2kg/dia de metano (323609kg/26 meses), que seria necessário como combustível, numa quantidade de 267000kg/100 pessoas. Sendo a quantidade de metano produzida *insitu* suficiente (com uma margem de reserva), também não se incluiu nas necessidades da simulação o envio deste;
- Dióxido de carbono: necessário para as estufas, assim como para o processo de geração de água, oxigénio e metano, obtido, diretamente, da atmosfera de Marte,

existindo nesta em abundância (portanto, não necessitando de ser importado da Terra e de ser inserido como variável na presente simulação).

Considerou-se, então, que, na primeira missão (mês de registo 0) — ainda não-tripulada — deveria ser enviada uma máquina de produção de água, oxigénio e metano para o empreendimento, para que, idealmente, fosse implementada desde início, e iniciasse a produção destes recursos de imediato. Foi também considerada a necessidade de envio de uma segunda máquina — por uma questão de redundância — na primeira viagem já tripulada da simulação (mês de registo 26). Além do envio de ambas estas máquinas, idealizou-se, ainda, o de uma nova a partir da presença de cada 100 pessoas adicionais no empreendimento. Cada máquina destas teria, estimou-se (a partir do peso do aparelho MOXIE — perante a falta de dados diretamente relativos ao sistema analisado — que vimos estar a provar a possibilidade tecnológica de obtenção de oxigénio em Marte a partir, também, do dióxido de carbono da atmosfera deste planeta), 116622kg, visto que, em proporção, para a produção de 0,01kg de oxigénio/hora, o aparelho de referência teria 17,10kg (68,2 kg de oxigénio/hora*17,10kg de massa do aparelho/0,01kg de oxigénio/hora). Utilizou-se, assim, a expressão 4.49 para a definição do cálculo da variável “máquinas de produção de água, oxigénio e metano”:

“STEP(116622,0)+STEP(116622(“máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2”-“máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado”-1),52)”* (4.49)

Como é possível observar-se, foram necessárias variáveis auxiliares de apoio ao cálculo da variável anterior, às quais se atribuiu as seguintes expressões, respetivamente:

- Máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado (expressão 4.50):

“DELAY FIXED(“máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2”,26,“máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2”)” (4.50)

- Máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2 (expressão 4.51):

“IF THEN ELSE((Pessoas/100)<INTEGER(Pessoas/100),“máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar”+1,“máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar”)” (4.51)

- Máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar (expressão 4.52):

“INTEGER((Pessoas+1)/100)” (4.52)

Produção e distribuição de energia: na revisão da literatura, foram identificadas diversas propostas de tecnologias a partir das quais seria possível obter-se a energia necessária em Marte para alimentar o empreendimento proposto. E das alternativas analisadas,

apresentando estas requisitos e implicações diferentes, averiguou-se que algumas poderiam funcionar de forma complementar — como, por exemplo, a solar e a eólica —, que outras encontram-se ainda em desenvolvimento — como uma solução da ESA para obtenção de energia eólica especificamente para Marte, ou, um sistema da NASA de fissão de energia nuclear para suportar estadias prolongadas em superfícies planetárias — e que outras, ainda, por exemplo, seriam mais adequadas para colónias a partir de 100 pessoas. E, devido às diferenças das tecnologias analisadas, propôs-se, para a produção de energia no empreendimento idealizado, uma solução híbrida, isto é, composta por várias alternativas, *inclusive*, por uma questão de redundância, sabendo-se também (a partir de um estudo observado) que, para uma população de 4 a 500 pessoas, a necessidade de energia estimada por pessoa seria de cerca de 24 or 25 kW. Acredita-se que fosse útil a inclusão, nesta solução, (reforçando-se a necessidade da localização do empreendimento pertinente para tal) do par de energias solar-eólica — através da utilização de painéis foto-voltaicos (para os quais vimos, existirem, inclusivamente, numa frequência comum e grande quantidade, areias minerais ricas em silício em Marte, que poderiam ser utilizadas para a sua fabricação), que, a nível de quantidade, seriam necessários em 2,25 vezes comparativamente a uma solução com o mesmo rendimento obtido na Terra, sendo uma alternativa de funcionamento já comprovado em Marte e de relativa fácil implementação e manutenção, e de longa esperança de vida, juntamente com turbinas Darrieus, que vimos poderem ser especialmente úteis durante as tempestades em Marte, assim como uma correspondente bateria, também com uma expectativa de vida útil longa — e, ainda, uma forma de produção de energia de fissão nuclear — que vimos acreditar-se vir a ser a solução energética, possivelmente, mais fidedigna em Marte e cuja vida útil poderia ser prolongada, se combinada com baterias que auxiliassem à estabilização da corrente — juntamente com uma fonte de energia termal — podendo esta, inclusivamente, re-aproveitar o calor residual dissipado pela energia nuclear. E assim, sem ser especificada, no contexto desta investigação, a quantidade de equipamento correspondente a cada um dos tipos de energia do conjunto da solução proposta — até porque se acredita que seria conveniente e eficiente estas proporções irem sendo alteradas consoante a dimensão da população a que as mesmas dariam resposta —, a estimativa da massa da infra-estrutura para a geração da energia necessária ao empreendimento foi realizada com base nos valores apresentados por um estudo, tendo-se somado as suas parcelas que referem unidades com esta função — “Unidade de Energia e Suporte” (“*Power and Support Unit (PSU)*”), e, “Sistema de Energia de Fissão à Superfície” (“*Fission Surface Power System (FSPS)*”) —, de valores, respetivamente, 2800 e 9500 kg, para uma tripulação de 4 astronautas. Adaptando-se, assim, o valor de 12300kg para cada módulo de 210 pessoas, obtendo-se 645750kg, — tendo-se optado pelo envio prévio deste equipamento mesmo que os módulos destinados aos astronautas não estejam ainda completos, por uma questão de redundância, além de equipamento semelhante, no entanto, estimado para 140 pessoas (obtendo-se o valor de 430500kg), que seria enviado na missão inicial não-tripulada da simulação e serviria ao primeiro módulo de 70 pessoas do empreendimento, também com uma margem de redundância, dada a vital necessidade deste equipamento, e os riscos que poderiam ocorrer, inicialmente, com o mesmo (para além de no resto da sua vida útil). Este equipamento serviria à totalidade da energia necessária por pessoa nas

restantes atividades do dia-a-dia destas. Assim, foi atribuída à presente variável a expressão 4.53:

$$\text{“STEP}(430500,0)+\text{STEP}((645750*\text{módulos } 210-\text{módulos } 210 \text{ passado})-430500,26)\text{”} \quad (4.53)$$

Manutenção, Inovação e Aumento da produção local: pensou-se, inicialmente, em atribuir à carga enviada uma margem adicional, que representasse o envio de elementos-extra, tanto para fins de manutenção de carga anteriormente enviada para o empreendimento — como, por exemplo, através do envio de peças suplentes —, como de renovação de estruturas, equipamentos ou utensílios do empreendimento por razões de inovação que pudesse ter ocorrido desde o momento em que se estaria a planear este projeto até ao momento efetivo do envio da respetiva carga (que poderia ser décadas depois) e que, portanto, justificasse esta substituição. No entanto — e apesar destes aspetos serem algo cuja estimativa de contabilização é difícil — considerou-se também que os próprios avanços tecnológicos acabassem por, possivelmente, anular o excedente na carga programada inicialmente (ou seja, que, muito possivelmente, as estruturas a carregar no futuro fossem, entretanto, mais leves ou otimizadas) e que, ainda, o aumento gradual que se acredita que ocorresse na produção de materiais *insitu* resultaria, também, num balanço anulado das diferenças de carga que pudessem existir. Como tal, não se considerou útil introduzir esta variável ou margem na simulação.

Carga necessária: por fim, através desta variável foi possível averiguar a quantidade total de carga, em toneladas, que seria necessário transportar até ao empreendimento, a cada mês de registo da simulação, para a sobrevivência e prosperidade do mesmo.

Para tal, utilizou-se, então, a expressão 4.54:

$$\text{“}((\text{IF THEN ELSE}(\text{Alimentação necessária a importar da Terra}>0,\text{Alimentação necessária a importar da Terra},0))+\text{carga espaços verdes}+\text{carga módulos de 70 pessoas}+\text{"Infra-estrutura (área de cultivo)"})+\text{outra carga}+0*\text{variável auxiliar de modelação}+\text{produção e distribuição de energia})/1000\text{”} \quad (4.54)$$

Como podemos ver, a expressão anterior (4.54) utilizou-se de algumas variáveis auxiliares, tendo as mesmas sido criadas com o objetivo da simplificação visual da modelação, e que aglomeraram, por sua vez, os valores das variáveis descritas na sua própria expressão de cálculo respetiva:

- Carga espaços verdes (expressão 4.55):

$$\text{“centros de monitorização}+\text{espaços verdes}+\text{Fauna para os espaços verdes”} \quad (4.55)$$

- Carga módulos de 70 pessoas (expressão 4.56):

“infra-estrutura (armazenamento)”+“infra-estrutura (insectos e animais) a enviar”+laboratórios e monitorização+sistemas de gestão de resíduos” (4.56)

- Outra carga (expressão 4.57):

“abastecimento terrestre para a agricultura+“máquinas de produção de água, oxigénio e metano”+robôs agrícolas+utensílios para alimentação” (4.57)

(Variável auxiliar de modelação: esta variável, também visível no modelo de simulação (Anexo I), foi criada, simplesmente, por razões de funcionamento do próprio *software*, tendo-lhe sido atribuída a expressão: “DELAY FIXED(Carga necessária,26,0)”, sendo os valores que a mesma origina anulados na expressão de cálculo da variável “Carga necessária”, não tendo a mesma influência nos resultados da presente simulação.)

Comportamentos e estratégias: esta não é uma variável da simulação no *software* Vensim — por não se tratar de algo material — no entanto, considerou-se que fizesse também parte das soluções para os problemas identificados no capítulo anterior — no estudo de caso desta investigação. Pois, para além do ambiente, e dos meios e utensílios que se identificou serem necessários em Marte para a sustentabilidade e prosperidade do empreendimento proposto, mencionou-se, também, a necessidade da adopção de estratégias e comportamentos que não comprometessem as condições futuras do ambiente obtido no empreendimento. E, assim, considera-se que seria necessário transmitir à população da colónia e incentivar uma mentalidade de valorização da atividade agrícola, especialmente, tendo-se observado a insuficiência desta, atualmente, em geral, na Terra, incluindo-se nas gerações mais jovens. Acredita-se que, certamente, as circunstâncias desafiantes e cruciais vividas no empreendimento fossem, já, por si só, contribuintes para a noção da necessidade de valorização da agricultura, seres vivos em geral e espaços verdes, porém, recomendar-se-ia que existisse uma educação ativa para a mesma — sem nunca ser aceite a sua subvalorização —, assim como o incentivo de princípios e práticas da agricultura sustentável já praticados na Terra — como o *zero-budget farming*, agricultura de carbono, culturas rotativas, utilização de resíduos das próprias culturas, produção orgânica, sementeira de culturas companheiras, etc. — juntamente com a atualização e inovação destas atividades numa relação de complementariedade com as tecnologias que também pudessem contribuir para os fins pretendidos e para a harmonia dos astronautas com estes ambientes e atividades, como a robótica ou a monitorização através de sensores (que poderia ser um bom meio de sensibilização, através do confronto da população com os dados gerados pelo próprio empreendimento), existindo comportamentos e estratégias a nível socio-cultural e de interesse técnico da população adequados ao sucesso do empreendimento agrícola proposto.

Considera-se, ainda, que, para as Causas-Raiz dos problemas em relação aos quais se procurou resposta — longitude entre o empreendimento e a Terra, alta necessidade de controlo das condições de conservação dos itens enviados, assim como do próprio ambiente agrícola e, por fim, o desconhecimento, a falta de experiência e a imprevisibilidade inerentes a um novo mundo desconhecido à presença humana —, ao não poderem ser eliminadas, a sua mitigação foi procurada através da atribuição de margens de segurança às variáveis do sistema definidas, ou mesmo propondo-se a redundância, por exemplo, de espaços de funções equivalentes no empreendimento, assim como pela proposta de meios de monitorização de algumas destas, como as condições de conservação dos alimentos ou do ambiente interno das áreas existentes (ao nível do oxigénio, dióxido de carbono, etc.).

4.1.4.2. Resultados da Simulação

Apresentam-se, em seguida, nas Figuras 35 e 36, os gráficos dos resultados da simulação do presente cenário para as variáveis “Pessoas” e “Carga necessária” a transportar para o empreendimento, ao longo da totalidade dos 728 meses de simulação do modelo elaborado, assim como os mesmos resultados nas respetivas Tabelas 5 e 6.

Estes valores resultantes da simulação serão utilizados como a base para o próximo subcapítulo.

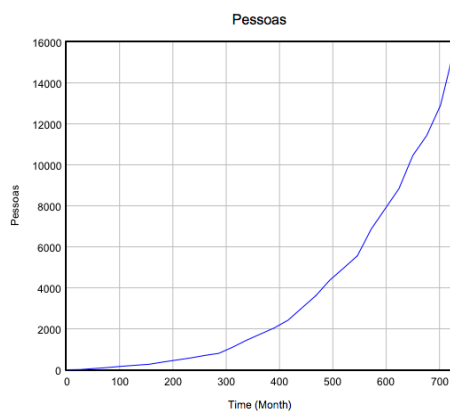


Figura 35 – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.

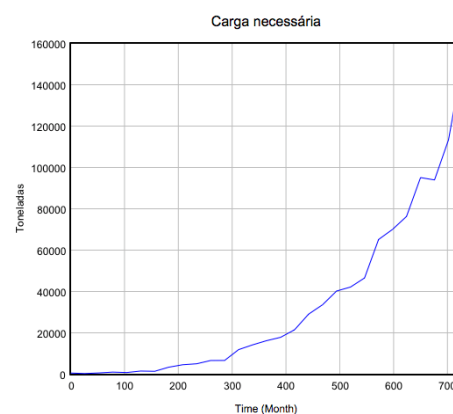


Figura 36 – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.

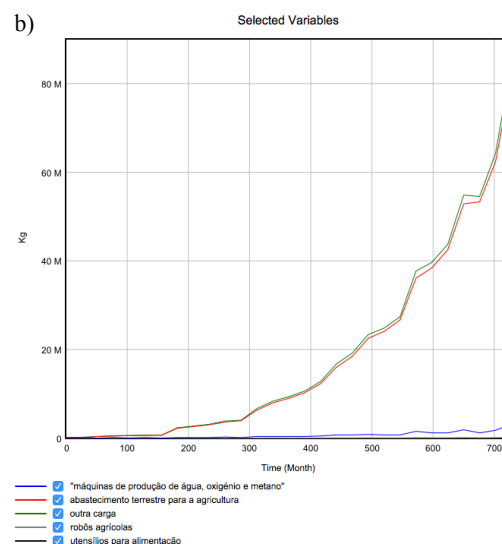
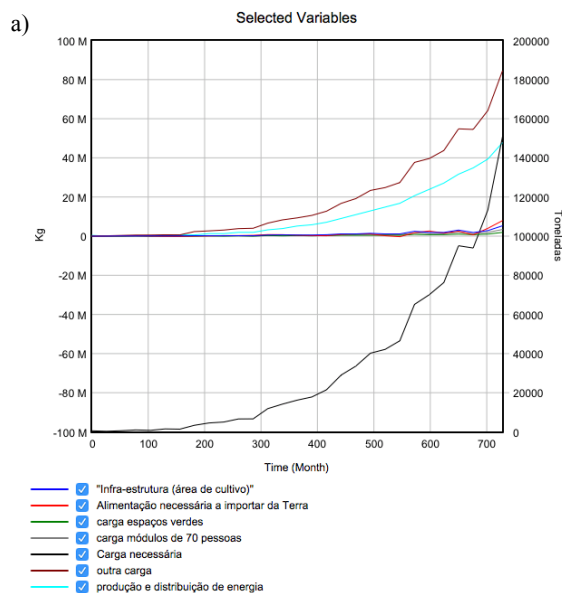
Tabela 5 – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.

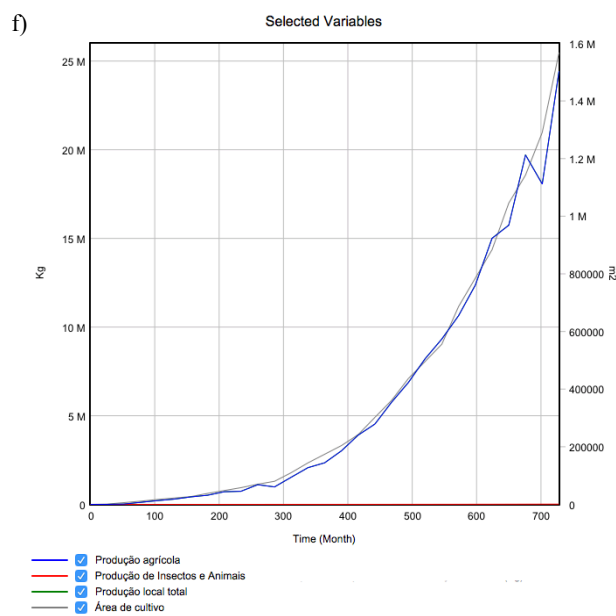
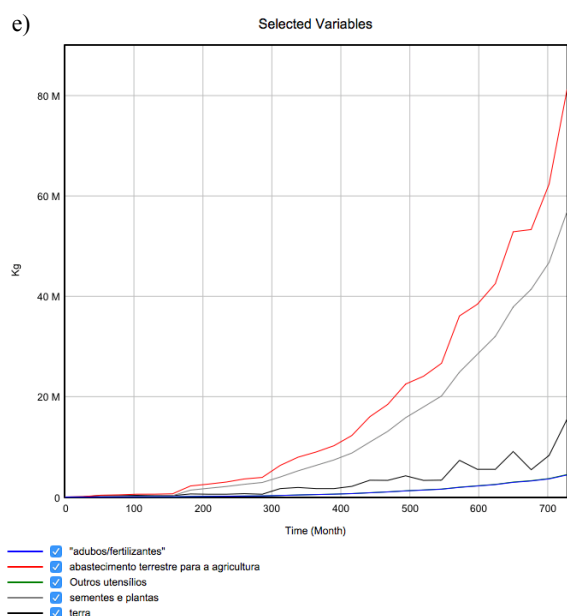
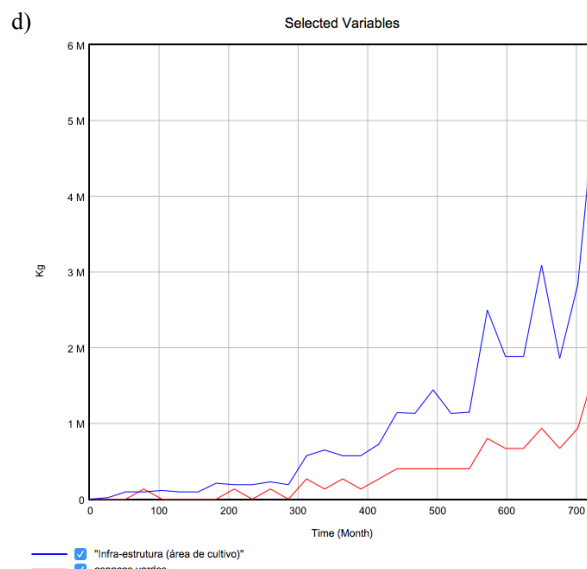
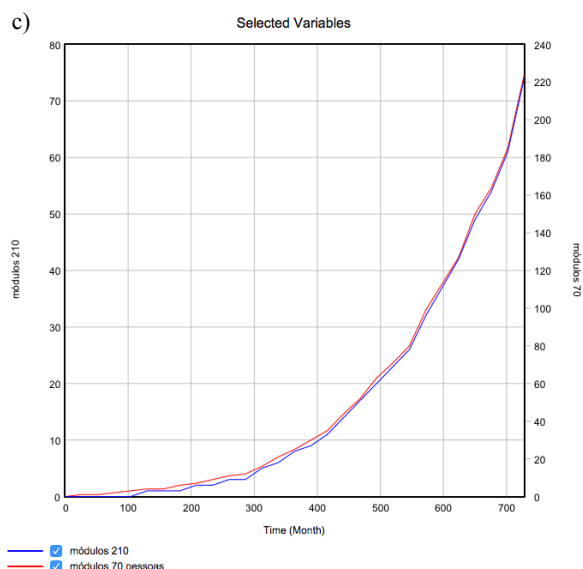
Time (Time)	Pessoas
0	0
26	10
52	60
78	110
104	170
130	220
156	270
182	380
208	480
234	580
260	700
286	800
312	1100
338	1440
364	1740
390	2040
416	2420
442	3018
468	3611
494	4366
520	4958
546	5559
572	6865
598	7851
624	8837
650	10455
676	11427
702	12909
728	15677

Tabela 6 – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1.

Time (Time)	Carga necessária
0	547.122
26	307.417
52	586.795
78	994.122
104	790.912
130	1510.67
156	1384.68
182	3366.21
208	4558.67
234	5029.46
260	6606.6
286	6641.92
312	11878.1
338	14181.6
364	16206.1
390	17822.9
416	21489.1
442	29033.8
468	33591.1
494	40209.7
520	42157.2
546	46544.7
572	65134.9
598	70040.7
624	76298.6
650	95093.3
676	93947.1
702	113380
728	150885

Apresentam-se, também, nas Figuras 37 a), b), c), d), e) e f), os resultados de outras variáveis que podem ser interessantes, elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas.





Figuras 37 a), b), c), d), e) e f) – Resultados de outras variáveis (elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas) durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 1: a) todas as variáveis conectadas diretamente à variável “Carga necessária”, mais a própria³; b) todas as variáveis que compõem a variável “outra carga”, mais a própria; c) todas as variáveis que compõem a variável “abastecimento terrestre para a agricultura”, assim como a própria; d) ambas as variáveis que compõem a variável “Produção local total”, assim como a própria e, ainda, a variável “Área de cultivo”; e) variáveis que indicam o número de módulos existentes/necessários no empreendimento destinados a 70 e 210 pessoas, a cada momento de registo; f) variáveis relativas à infra-estrutura necessária para a área de cultivo e os espaços verdes da colônia.

4.1.5 Análise da Possibilidade de Suporte às Necessidades do Empreendimento Agrícola Identificadas

Identificadas no subcapítulo anterior as necessidades do empreendimento agrícola idealizado, considerou-se essencial que se averiguasse a possibilidade tecnológica e capacidade financeira para o suporte macro-logístico do mesmo.

³ Consultar o Anexo I para a visualização do modelo da simulação.

Para tal, procurou-se saber: que veículo(s) de transporte(s) seria(m) utilizado(s), a sua capacidade de carga, a sua capacidade de pessoas e o seu custo para a realização deste abastecimento Terra—Marte.

E com base na revisão da literatura efetuada, sabemos que um veículo de transporte com a capacidade pretendida — o transporte de pessoas e de grandes cargas para e de volta de Marte — não existe, atualmente. No entanto, observou-se, igualmente, que existem hipóteses já pensadas para o mesmo, encontrando-se uma delas em progresso de desenvolvimento, com vários protótipos já desenvolvidos e em fase de testes — o Starship-Super Heavy, da empresa SpaceX. Tanto que, dada a plausibilidade aparente de o mesmo vir a atingir estes objetivos (para o qual está a ser desenvolvido) acredita-se que a partir de meio da década de 2020 ou da primeira metade da de 2030, a NASA está a ponderar a sua utilização para tornar a levar astronautas à superfície da Lua, no âmbito do programa Artemis. E o mesmo foi, também, o proposto para a realização das missões idealizadas por mais do que um dos estudos analisados com âmbitos semelhantes ao desta investigação.

Por aparentar ser a alternativa mais plausível e próxima de se tornar realidade para a realização de viagens humanas e de transporte de grandes cargas de e para Marte, *inclusive* acreditando-se que assim fosse antes do ano 2035 — o ano definido para o início do projeto proposto —, este veículo seria, também, o proposto para o abastecimento do empreendimento idealizado. Como tal, enunciam-se, em seguida, as características e capacidades para as quais o sistema Starship-Super Heavy se encontra a ser desenvolvido relevantes para o contexto deste trabalho:

- Capacidade de carga: acredita-se que venha a carregar uma carga útil de 110 toneladas (100 toneladas métricas);
- Capacidade de pessoas: está a ser desenvolvido para uma capacidade de 100 pessoas;
- Custo do transporte para Marte: devido à possibilidade da sua reutilização, acredita-se que o seu custo, como vimos, fosse muito abaixo do passado da indústria, estimando-se que chegasse abaixo dos 10 milhões de dólares ou de 100\$/kg de toneladas métricas de carga útil.

Após a obtenção destes dados, foi então possível definir-se um plano de transporte, no qual se contabilizou o número de foguetões a serem enviados, neste cenário 1 proposto, tanto para o transporte de pessoas, como de carga, assim como os custos totais deste transporte. Para tal, foi utilizado o *software* Numbers/Excel, considerando-se esta a ferramenta indicada para se atingir o objetivo pretendido de forma eficiente, dada a natureza e não complexidade dos dados a trabalhar.

Foram, então, calculados os dados mencionados, expressos nas tabelas apresentadas em seguida — Tabelas 7, 8 e 9⁴ — a partir da quantidade de pessoas enviadas para a colónia (que podemos observar na Tabela 2) e de toneladas necessárias (resultante da simulação de subcapítulo anterior):

Tabela 7 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte da Carga a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 1.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação	Carga Necessária (em toneladas)	Carga Necessária (em toneladas métricas)	Carga Necessária Dividida por Foguetões	Foguetões Necessários	Custo do Transporte da Carga Necessária
6 dezembro 2035	0	547,122	496,481	4,965	5	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	307,417	278,963	2,790	3	30 000 000,00 €
6 abril 2040	52	586,795	532,482	5,325	6	60 000 000,00 €
6 junho 2042	78	994,122	902,107	9,021	10	100 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	790,912	717,706	7,177	8	80 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	1510,670	1370,844	13,708	14	140 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	1384,680	1256,515	12,565	13	130 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	3366,210	3054,637	30,546	31	310 000 000,00 €
6 abril 2053	208	4558,670	4136,724	41,367	42	420 000 000,00 €
6 junho 2055	234	5029,460	4563,938	45,639	46	460 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	6606,600	5995,100	59,951	60	600 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	6641,920	6027,151	60,272	61	610 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	11878,100	10778,675	107,787	108	1 080 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	14181,600	12868,966	128,690	129	1 290 000 000,00 €
6 abril 2066	364	16206,100	14706,080	147,061	148	1 480 000 000,00 €
6 junho 2068	390	17822,900	16173,230	161,732	162	1 620 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	21489,100	19500,091	195,001	196	1 960 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	29033,800	26346,461	263,465	264	2 640 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	33591,100	30481,942	304,819	305	3 050 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	40209,700	36487,931	364,879	365	3 650 000 000,00 €
6 abril 2079	520	42157,200	38255,172	382,552	383	3 830 000 000,00 €
6 junho 2081	546	46544,700	42236,570	422,366	423	4 230 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	65134,900	59106,080	591,061	592	5 920 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	70040,700	63557,804	635,578	636	6 360 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	76298,600	69236,479	692,365	693	6 930 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	95093,300	86291,561	862,916	863	8 630 000 000,00 €

⁴ Tendo-se utilizado o Euro como moeda, visto a estimativa de 10 milhões de dólares apresentada ser um valor aproximado (máximo) do que seria o custo real do lançamento de um foguetão Super Heavy-Starship, utilizando-se, assim, um arredondamento por excesso, para uma estimativa conservadora.

6 abril 2092	676	93947,100	85251,452	852,515	853	8 530 000 000,00 €
6 junho 2094	702	113380,000	102885,662	1028,857	1029	10 290 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	150885,000	136919,238	1369,192	1370	13 700 000 000,00 €
Soma Total =						
			880416,042		8818	88 180 000 000,00 €

Tabela 8 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte de Pessoas a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 1.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Pessoas Enviadas	Pessoas Divididas por Foguetões	Foguetões Necessários	Custo do Transporte das Pessoas
6 dezembro 2035	0	0	0,0	0	0,00 €
6 fevereiro 2038	26	10	0,1	1	10 000 000,00 €
6 abril 2040	52	60	0,6	1	10 000 000,00 €
6 junho 2042	78	110	1,1	2	20 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	160	1,6	2	20 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	210	2,1	3	30 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	260	2,6	3	30 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	360	3,6	4	40 000 000,00 €
6 abril 2053	208	460	4,6	5	50 000 000,00 €
6 junho 2055	234	560	5,6	6	60 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	660	6,6	7	70 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	760	7,6	8	80 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	1060	10,6	11	110 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	1360	13,6	14	140 000 000,00 €
6 abril 2066	364	1660	16,6	17	170 000 000,00 €
6 junho 2068	390	1960	19,6	20	200 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	2260	22,6	23	230 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	2860	28,6	29	290 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	3460	34,6	35	350 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	4060	40,6	41	410 000 000,00 €
6 abril 2079	520	4660	46,6	47	470 000 000,00 €
6 junho 2081	546	5260	52,6	53	530 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	6260	62,6	63	630 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	7260	72,6	73	730 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	8260	82,6	83	830 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	9260	92,6	93	930 000 000,00 €
6 abril 2092	676	10260	102,6	103	1 030 000 000,00 €

6 junho 2094	702	11760	117,6	118	1 180 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	13260	132,6	133	1 330 000 000,00 €
Soma Total =		98530		998	9 980 000 000,00 €

Apesar de termos aferido a proporção de 5:2 do custo do transporte da Terra para Marte : Marte para a Terra, optou-se por não se contabilizar as viagens de volta do empreendimento programadas para as pessoas enviadas para o mesmo, devido a saber-se que a quase totalidade do custo seria o combustível e de se ter, na simulação prévia, antevisto a sua produção nas quantidades necessárias.

Tabela 9 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte Total (Carga e Pessoas) a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 1.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Soma dos Foguetões Necessários por Viagem	Soma dos Custos por Viagem
6 dezembro 2035	0	5	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	4	40 000 000,00 €
6 abril 2040	52	7	70 000 000,00 €
6 junho 2042	78	12	120 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	10	100 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	17	170 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	16	160 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	35	350 000 000,00 €
6 abril 2053	208	47	470 000 000,00 €
6 junho 2055	234	52	520 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	67	670 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	69	690 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	119	1 190 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	143	1 430 000 000,00 €
6 abril 2066	364	165	1 650 000 000,00 €
6 junho 2068	390	182	1 820 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	219	2 190 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	293	2 930 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	340	3 400 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	406	4 060 000 000,00 €
6 abril 2079	520	430	4 300 000 000,00 €
6 junho 2081	546	476	4 760 000 000,00 €

6 agosto 2083	572	655	6 550 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	709	7 090 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	776	7 760 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	956	9 560 000 000,00 €
6 abril 2092	676	956	9 560 000 000,00 €
6 junho 2094	702	1 147	11 470 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	1 503	15 030 000 000,00 €
Soma Total =		9 816	98 160 000 000,00 €

4.1.6 Prós e Contras do Cenário de Proposta 1

Considera-se que o presente cenário apresenta os seguintes Prós e Contras:

- Prós:

- Proporciona, em teoria, uma produção agrícola que abrangeria o consumo alimentar total necessário na colónia;
- Representaria, muito possivelmente, um nível de risco baixo relativamente à capacidade de sobrevivência alimentar da colónia do que se a mesma não dispusesse desta área de cultivo, e, por isso, um nível de relativa baixa incerteza e de alguma segurança;
- Uma maior área de cultivo poderia representar uma conseqüente maior diversidade de espécies no empreendimento, e, também, de espécies cada vez mais adequadas às condições marcianas, dependendo da investigação que fosse sendo realizada (*insitu* e não só, necessariamente);
- Incentiva um contacto significativo dos astronautas com elementos naturais e com a atividade agrícola;
- Permite o transporte de pessoas suficiente para que, em 2096/97, ao fim de, sensivelmente, 60 anos, se obtivesse uma população humana considerável em Marte;
- A longo-prazo, representaria pouca dependência alimentar da Terra;
- Uma vez conseguido um determinado nível de confiança e estabilidade na produção agrícola marciana, poderia dar-se a colmatação de custos “eternos” de transporte alimentar terrestre para este local;

- Contras:

- Necessita de infra-estrutura e de sistemas em proporção da área de cultivo existente, o que se traduz em custos e complexidade logística para as missões a realizar;
- Implica, possivelmente, um nível de trabalho agrícola significativo por parte dos astronautas (que vimos, mais a médio-longo prazo poder ser auxiliado por robôs).

4.2. Cenário de Proposta 2

Como, previamente, referido, para este segundo cenário proposto, o objetivo foi o de se calcular as necessidades do empreendimento apresentado no primeiro cenário, no entanto, desta vez, com base na redução, para metade, da área de cultivo considerada destinada à produção alimentar para cada pessoa habitante do mesmo.

Deste modo, todas as opções e estratégias para a conceção do empreendimento e solução propostos descritas no subcapítulo do cenário anterior (4.1) seriam idênticas neste cenário — tais como a duração, localização e arquitetura do empreendimento, assim como as quantidades de entradas e saídas da população do mesmo, mantendo-se, igualmente, os módulos de 70 e 210 pessoas, juntamente, com as variáveis de simulação utilizadas — para que se pudesse avaliar as melhorias, vantagens e/ou desvantagens observadas através da comparação dos cenários apresentados, do modo o mais preciso possível (no contexto desta investigação), tendo sido apenas ajustadas, então, as expressões de cálculo das variáveis que representariam a alteração da quantidade de área de cultivo proposta (por exemplo, “infra-estrutura (área de cultivo)”, que consistiria numa carga menor em cada viagem relativamente à do primeiro cenário apresentado), sendo assim possível obter-se os valores em que a mesma se traduziria.

Encontram-se, então, descritas, nos subcapítulos seguintes (4.2.1 e 4.2.2), as diferenças da simulação e resultados dos cálculos para este cenário (2) relativamente ao anterior, juntamente com a menção dos prós e contras identificados para o mesmo (no subcapítulo 4.2.3).

4.2.1 Modelação (no *software* Vensim) das Necessidades do Empreendimento Agrícola

Como referido, para diversas das variáveis do modelo de simulação do presente cenário — tais como, “chegada” e “saída” de pessoas, ou, “laboratórios e monitorização” — manteve-se os valores do cenário anterior (cenário 1), devido ao cálculo das mesmas não depender, diretamente, da quantidade de área de cultivo existente no empreendimento (tendo sido, como já referido, esta a alteração conceptual deste cenário de hipótese em relação ao primeiro apresentado na presente investigação).

Os “espaços verdes” foram, também, mantidos, por se os considerar essenciais para o bem-estar da população na dimensão em que já tinham sido definidos. E variáveis como os “imprevistos na produção” — cujo o cálculo também seria efetuado da mesma forma da do Cenário 1, considerando-se que os riscos que estas representam seriam os mesmos — mantiveram, então, também, as suas expressões de cálculo.

Para a variável “máquinas de produção de água, oxigénio e metano”, após efetuados os cálculos das componentes “de construção” desta (água, oxigénio, metano, dióxido de

carbono), contando-se com os valores atualizados para a necessidade de água das áreas de cultivo e a emissão de oxigênio das estufas, aferindo-se que o balanço entre as necessidades de produção e a capacidade de produção desta máquina ainda parecia oferecer uma margem de segurança adequada, decidiu-se manter a expressão de cálculo utilizada no cenário anterior para a presente variável homônima.

4.2.1.1 Variáveis Alteradas

De resto, apresentam-se as alterações efetuadas ao modelo já construído no *software* Vensim (para o cenário 1), agora para a representação do Cenário 2 (cuja lista completa das variáveis utilizadas e respectivas unidades e expressões de cálculo pode ser encontrada no Anexo III):

Área de cultivo: tendo-se reduzido a área de cultivo utilizada no primeiro cenário (de 100m²/pessoa) para metade, utilizou-se, na modelação, a expressão 4.6-A para esta variável:

$$“50*Pessoas” \quad (4.6-A)$$

Infra-estrutura (área de cultivo): adaptou-se o valor do Cenário 1 atribuído a esta variável (133780/7000) para 55% do mesmo, ou seja, utilizou-se a expressão 4.7-A:

$$“73579/7000*(Área\ de\ cultivo-área\ de\ cultivo\ passado)” \quad (4.7-A)$$

Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro: para o cálculo desta variável, o peso da infra-estrutura a enviar destinada a insectos e animais (comestíveis) por módulo de 70 pessoas (5850kg), assim como o conteúdo desta (186kg), também foram reduzidos a 55%, para o que se utilizou a expressão 4.23-A:

$$“IF\ THEN\ ELSE(“infra-estrutura\ (insectos\ e\ animais)\ auxiliar”-“infra-estrutura\ (insectos\ e\ animais)\ passado”>0, (“infra-estrutura\ (insectos\ e\ animais)\ auxiliar”-“infra-estrutura\ (insectos\ e\ animais)\ passado”)*3319.8,0)” \quad (4.23-A)$$

Produção de Insectos e Animais: para esta variável, também se reduziu o peso dos insectos e animais existentes no empreendimento, em média, para 55% (186kg*2*0,55), utilizando-se a expressão 4.30-A:

$$“0.2*“infra-estrutura\ (insectos\ e\ animais)\ passado”*204.6” \quad (4.30-A)$$

Alimentação necessária a importar da Terra: visto o empreendimento, neste cenário simulado, ter apenas a capacidade de produção de até metade da alimentação necessária

à sua população, decidiu-se aumentar, em 1 terço, a margem de redundância da quantidade de alimentos enviada na segunda missão tripulada — equivalente ao consumo estimado para 80 pessoas, em vez de 60 (como no cenário 1) — e, ainda, da margem de segurança de 40 (cenário 1) para 60% do consumo humano previsto para os seguintes meses de registo correntes da simulação, utilizando-se, assim, a expressão 4.36-A para o cálculo da presente variável:

$$\begin{aligned} & \text{"STEP}(17398.3*1.5,26)+\text{STEP}(17398.3*8,52)+\text{STEP}((\text{Consumo total} \\ & \text{necessário-Produção local total-} \text{"Armazém / Balanço de importações,} \\ & \text{produção e consumo passado"})+0.6*\text{Pessoas}*\text{"consumo de alimentos/} \\ & \text{pessoa"}-17398.3*9.5,78)\text{"} \end{aligned} \quad (4.36-A)$$

Armazém / Balanço de importações, produção e consumo: esta variável manteve a expressão de cálculo utilizada no primeiro cenário, mas, não obstante, foi também utilizada para se confirmar a disponibilidade de alimentos na colónia sempre, pelo menos, suficiente, ao longo de toda a simulação, como demonstra a seguinte figura (Figura 38).

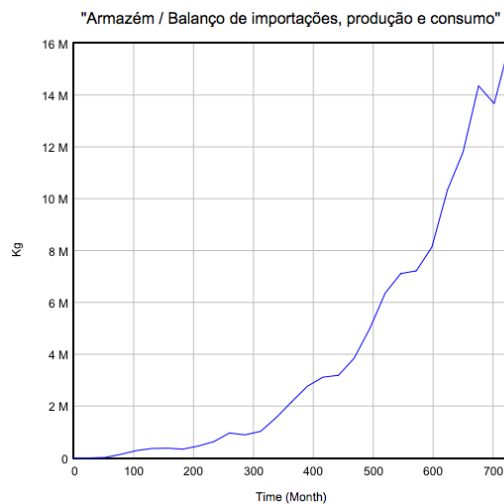


Figura 38 – Resultados da variável “Armazém / Balanço de importações, produção e consumo”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2. *(x=26 y=0kg; x=52 y=18051,7kg)

Robôs agrícolas: a massa de robôs identificada, na literatura, para o cálculo desta variável utilizada no cenário anterior (3937kg) foi reduzida a 50%, utilizando-se, então, a expressão 4.46-A:

$$\text{"STEP}(1968.5*\text{módulos } 70 \text{ pessoas novos},130)\text{"} \quad (4.46-A)$$

Infra-estrutura (armazenamento): do cálculo da previsão da capacidade máxima de armazenamento de cada módulo destes, destinado às respetivas 70 pessoas, utilizado no cenário anterior $2,2\text{kg}*365\text{dias}/12\text{meses}*26\text{meses}*70\text{pessoas}*1,10*1,50 + 839.9\text{kg} + 3937\text{kg} + 10\text{kg} = 205737,65\text{kg}$, apenas foi necessário, para esta nova simulação, alterar-se o valor de 3937kg (correspondente à massa dos robôs a enviar) para 1968,5kg —

com o resultado de 203769,15kg — obtendo-se a massa proporcional para a infraestrutura a calcular de 39589,43kg. Assim, atribuiu-se, à presente variável a expressão 4.47-A:

$$“39589.43*(módulos\ 70\ pessoas\ novos)” \quad (4.47-A)$$

Produção e distribuição de energia: considerando-se a diferença na energia necessária à monitorização, rega e iluminação de apenas metade da área de cultivo dos campos do empreendimento (comparativamente, à área total do primeiro cenário apresentado), optou-se por reduzir esta variável para 95%, através da expressão 4.53-A:

$$“(STEP(430500,0)+STEP((645750*módulos\ 210-módulos\ 210\ passado)-430500,26))*0.95” \quad (4.53-A)$$

4.2.1.2 Resultados da Simulação

À semelhança do cenário anterior, apresentam-se, em seguida, nas Figuras 39 e 40, os gráficos dos resultados da simulação do presente cenário para as variáveis “Pessoas” e “Carga necessária” a transportar para o empreendimento, ao longo da totalidade dos 728 meses de simulação do modelo elaborado, assim como os mesmos resultados nas respectivas Tabelas 10 e 11 — valores resultantes da simulação que também serão utilizados no próximo subcapítulo, apresentando-se, também, nas Figuras 41 a), b), c), d), e) e f), os resultados de outras variáveis que podem ser relevantes, elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas.

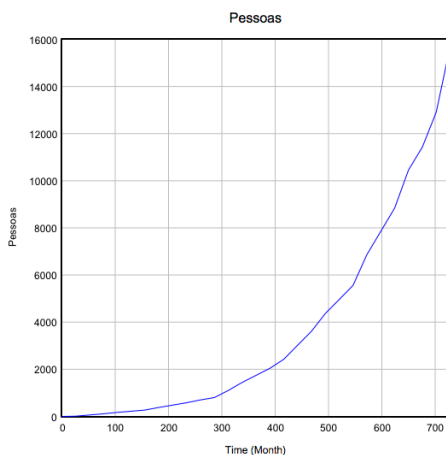


Figura 39 – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2.

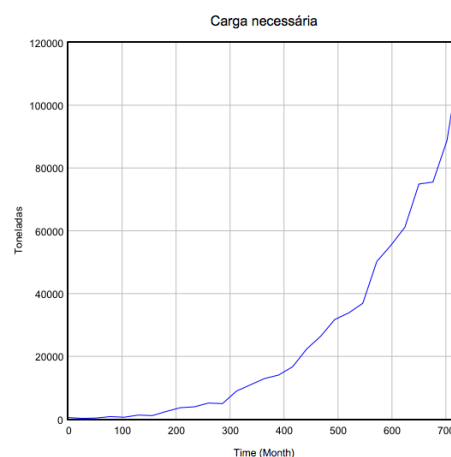


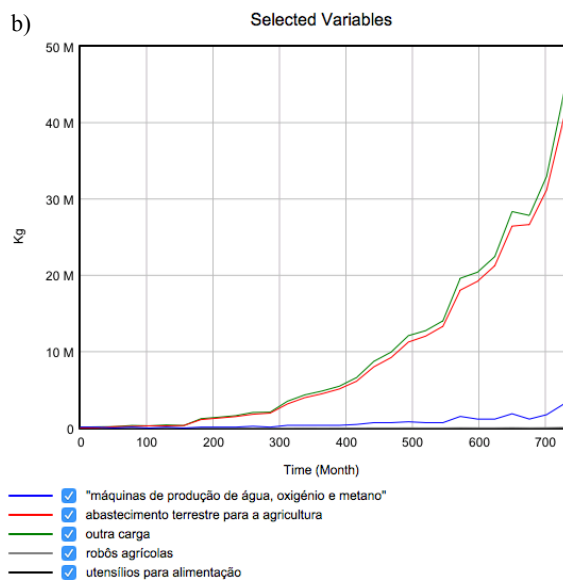
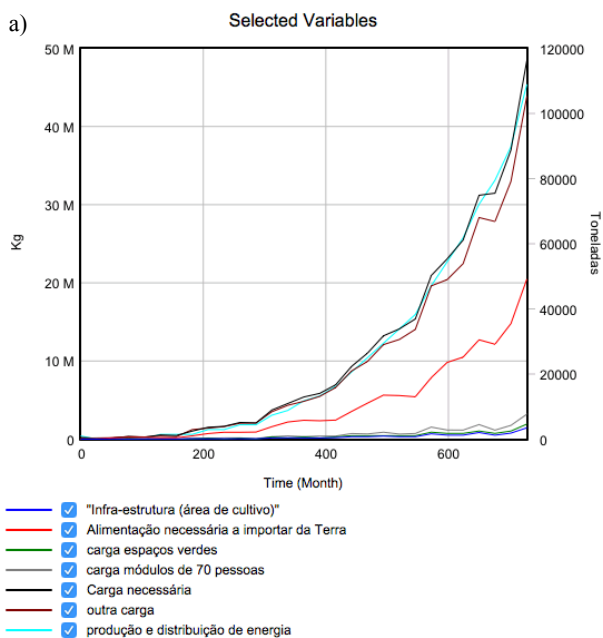
Figura 40 – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2.

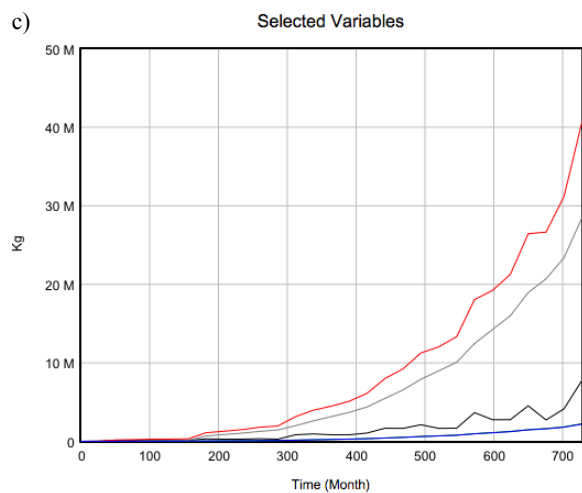
Tabela 10 – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2.

Time (Time)	Pessoas
0	0
26	10
52	60
78	110
104	170
130	220
156	270
182	380
208	480
234	580
260	700
286	800
312	1100
338	1440
364	1740
390	2040
416	2420
442	3018
468	3611
494	4366
520	4958
546	5559
572	6865
598	7851
624	8837
650	10455
676	11427
702	12909
728	15677

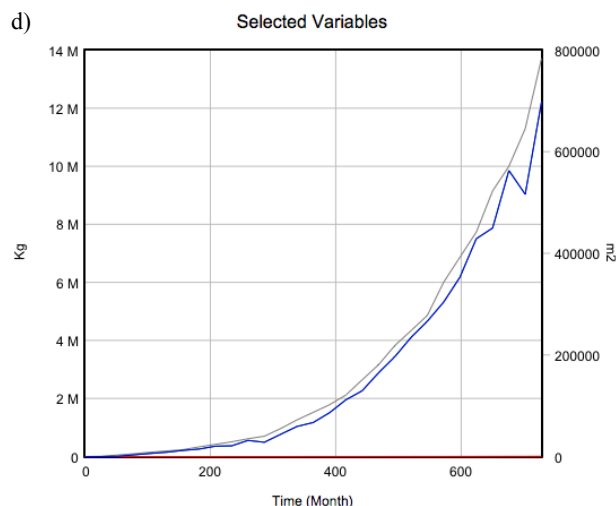
Tabela 11 – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2.

Time (Time)	Carga necessária
0	525.597
26	258.45
52	371.938
78	815.484
104	621.339
130	1303.02
156	1138.6
182	2471.67
208	3661.33
234	3939.24
260	5133.46
286	4957.29
312	8945.22
338	10958.3
364	12945.5
390	14056.9
416	16692.7
442	22347.5
468	26413.7
494	31731.2
520	33860.1
546	36907.6
572	50233.8
598	55363.5
624	61143.5
650	74883
676	75529.9
702	88771.4
728	116325

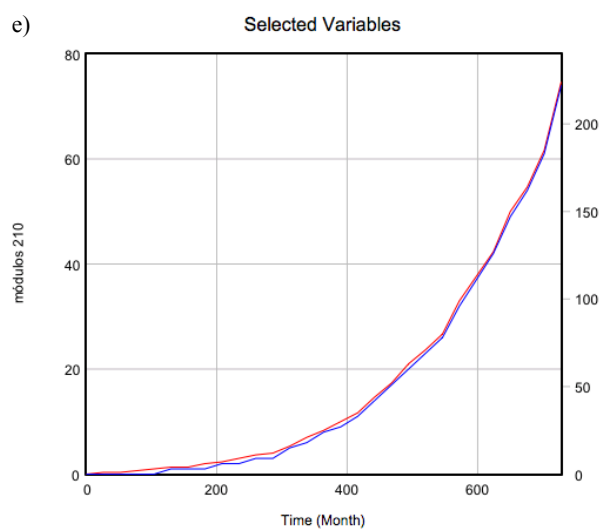




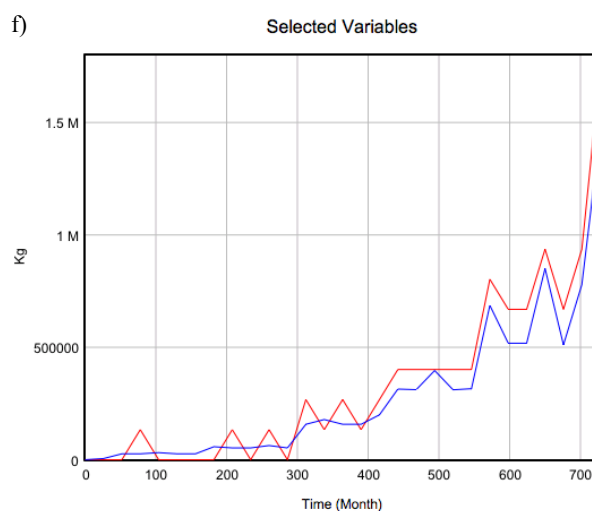
- "adubos/fertilizantes"
- abastecimento terrestre para a agricultura
- Outros utensílios
- sementes e plantas
- terra



- Produção agrícola
- Produção de Insectos e Animais
- Produção local total
- Área de cultivo



- módulos 210
- módulos 70 pessoas



- "infra-estrutura (área de cultivo)"
- espaços verdes

Figuras 41 a), b), c), d), e) e f) – Resultados de outras variáveis (elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas) durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 2: a) todas as variáveis conectadas diretamente à variável “Carga necessária”, mais a própria; b) todas as variáveis que compõem a variável “outra carga”, mais a própria; c) todas as variáveis que compõem a variável “abastecimento terrestre para a agricultura”, assim como a própria; d) ambas as variáveis que compõem a variável “Produção local total”, assim como a própria e, ainda, a variável “Área de cultivo”; e) variáveis que indicam o número de módulos existentes/necessários no empreendimento destinados a 70 e 210 pessoas, a cada momento de registo; f) variáveis relativas à infra-estrutura necessária para a área de cultivo e os espaços verdes da colónia.

4.2.2 Análise da Possibilidade de Suporte às Necessidades do Empreendimento Agrícola Identificadas

Neste subcapítulo, também se procedeu à abordagem utilizada para o subcapítulo homónimo do primeiro cenário de proposta, visto pretender-se aferir, precisamente, o mesmo tipo de dados obtidos anteriormente, de modo a ser possível proceder-se à

comparação de ambos (juntamente com o próximo cenário, o terceiro), apresentada no próximo capítulo desta dissertação.

Assim, utilizando-se a mesma ferramenta que no cenário anterior para a averiguação do (também) mesmo objetivo — da possibilidade do suporte terrestre às necessidades averiguadas relativas ao abastecimento do empreendimento humano marciano proposto — apresentam-se, em seguida, nas Tabelas 12 e 13, os resultados obtidos, cujos valores de base foram, para a quantidade de pessoas a transportar, os mesmos (como já tínhamos visto na simulação do subcapítulo anterior, através da igualdade entre-cenários nos valores atribuídos às variáveis “Pessoas”, “entradas”, “nascimentos”, “óbitos” e “saída”), e, para a carga necessária os valores da Tabela 11.

Tabela 12 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte da Carga a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 2.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Carga Necessária (em toneladas)	Carga Necessária (em toneladas métricas)	Carga Necessária Dividida por Foguetões	Foguetões Necessários	Custo do Transporte da Carga Necessária
6 dezembro 2035	0	525,597	476,948	4,769	5	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	258,450	234,528	2,345	3	30 000 000,00 €
6 abril 2040	52	371,938	337,512	3,375	4	40 000 000,00 €
6 junho 2042	78	815,484	740,004	7,400	8	80 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	621,339	563,828	5,638	6	60 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	1303,020	1182,414	11,824	12	120 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	1138,600	1033,212	10,332	11	110 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	2471,670	2242,895	22,429	23	230 000 000,00 €
6 abril 2053	208	3661,330	3322,441	33,224	34	340 000 000,00 €
6 junho 2055	234	3939,240	3574,628	35,746	36	360 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	5133,460	4658,312	46,583	47	470 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	4957,290	4498,448	44,984	45	450 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	8945,220	8117,260	81,173	82	820 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	10958,300	9944,011	99,440	100	1 000 000 000,00 €
6 abril 2066	364	12945,500	11747,278	117,473	118	1 180 000 000,00 €
6 junho 2068	390	14056,900	12755,808	127,558	128	1 280 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	16692,700	15147,641	151,476	152	1 520 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	22347,500	20279,038	202,790	203	2 030 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	26413,700	23968,875	239,689	240	2 400 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	31731,200	28794,192	287,942	288	2 880 000 000,00 €
6 abril 2079	520	33860,100	30726,044	307,260	308	3 080 000 000,00 €
6 junho 2081	546	36907,600	33491,470	334,915	335	3 350 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	50233,800	45584,211	455,842	456	4 560 000 000,00 €

6 outubro 2085	598	55363,500	50239,111	502,391	503	5 030 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	61143,500	55484,120	554,841	555	5 550 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	74883,000	67951,906	679,519	680	6 800 000 000,00 €
6 abril 2092	676	75529,900	68538,929	685,389	686	6 860 000 000,00 €
6 junho 2094	702	88771,400	80554,809	805,548	806	8 060 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	116325,000	105558,076	1055,581	1056	10 560 000 000,00 €
Soma Total =			691747,947		6930	69 300 000 000,00 €

Tabela 13 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte Total (Carga e Pessoas) a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 2.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Soma dos Foguetões Necessários por Viagem	Soma dos Custos por Viagem
6 dezembro 2035	0	5	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	4	40 000 000,00 €
6 abril 2040	52	5	50 000 000,00 €
6 junho 2042	78	10	100 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	8	80 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	15	150 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	14	140 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	27	270 000 000,00 €
6 abril 2053	208	39	390 000 000,00 €
6 junho 2055	234	42	420 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	54	540 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	53	530 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	93	930 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	114	1 140 000 000,00 €
6 abril 2066	364	135	1 350 000 000,00 €
6 junho 2068	390	148	1 480 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	175	1 750 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	232	2 320 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	275	2 750 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	329	3 290 000 000,00 €
6 abril 2079	520	355	3 550 000 000,00 €
6 junho 2081	546	388	3 880 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	519	5 190 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	576	5 760 000 000,00 €

6 dezembro 2087	624	638	6 380 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	773	7 730 000 000,00 €
6 abril 2092	676	789	7 890 000 000,00 €
6 junho 2094	702	924	9 240 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	1 189	11 890 000 000,00 €
Soma Total =		7 928	79 280 000 000,00 €

4.2.3. Prós e Contras do Cenário de Proposta 2

Por sua vez, considera-se que este segundo cenário elaborado apresente os seguintes Prós e Contras:

- Prós:

- Proporciona uma produção agrícola suficiente para abranger (em teoria) metade do consumo alimentar total necessário na colónia;
- Apresenta uma menor necessidade de carga (infra-estrutura, sistemas e outros elementos proporcionais à área de cultivo) a implementar e a ser utilizada no empreendimento e, conseqüentemente, um custo menor (em cerca de um quinto, representando 80%) das operações de envio necessárias ao seu completo funcionamento comparativamente ao cenário anterior. Apresentando, desta forma, também, uma menor complexidade logística e operacional;
- Dispondo de alguma área de cultivo, reduz uma parte da incerteza e insegurança relativas à capacidade de sobrevivência da colónia;
- Também permite o transporte de pessoas suficiente para que, em 2096/97, ao fim de, sensivelmente, 60 anos, se obtivesse uma população humana considerável em Marte;
- Implica, também em relação ao cenário anterior, um menor nível de trabalho agrícola por parte dos astronautas;
- Pode-se considerar, ainda, que, concedendo este cenário uma área e, portanto, também, volume, menores ao empreendimento proposto, existiria, possivelmente, menos riscos (por exemplo, de falhas ou avarias).

- Contras:

- Proporciona a produção agrícola de apenas metade da necessária ao consumo alimentar total na colónia, acarretando um nível de risco relativamente à capacidade de sobrevivência alimentar da colónia mais elevado, aumentando o nível de incerteza e insegurança correspondentes à mesma;
- Incentiva um menor contacto dos astronautas com a atividade agrícola e ambientes naturais;
- Pode possibilitar uma quantidade menor de espécies no empreendimento (existindo menos área de cultivo para a plantação destas);

- A longo-prazo, continuaria a representar a dependência alimentar da Terra contínua e, caso nada se alterasse, eterna.

4.3. Cenário de Proposta 3

Como também já referido, com o objetivo de se avaliar se existiriam vantagens em misturar as duas estratégias utilizadas em cada um dos cenários (1 e 2) anteriormente apresentados, este terceiro cenário consistiu na duplicação, durante a simulação — quando se considerasse que existiria uma suficiente sustentabilidade dos sistemas já implementados para tal — da área de cultivo a existir por pessoa no empreendimento.

Para a modelação deste cenário, manteve-se, então, também, as características gerais e maioria das variáveis apresentadas nos cenários anteriores, efetuando-se, apenas, as devidas adaptações para a representação do objetivo pretendido.

Nos seguintes subcapítulos (4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3) são apresentadas a simulação das necessidades do empreendimento perante as alterações efetuadas, assim como a averiguação das possibilidades para o abastecimento do mesmo, e, também igualmente aos cenários prévios, os prós e contras deste cenário 3.

4.3.1 Modelação (no *software* Vensim) das Necessidades do Empreendimento Agrícola

Dada a natureza da adaptação pretendida dos cenários anteriores para o presente, nesta simulação, manteve-se a totalidade das variáveis utilizadas anteriormente acrescentando-se-lhes duas — “Adição de área após uma maior sustentabilidade do empreendimento” e “Duplicação da área de cultivo”, podendo estas ser avistadas no Anexo IV desta investigação — de modo a ser possível simular-se as adaptações necessárias ao modelo anterior (do Anexo I) para a obtenção dos resultados da alteração conceptual proposta. À semelhança do cenário 2, manteve-se, também, várias das expressões de cálculo apresentadas no cenário 1 para as variáveis utilizadas nesta proposta (cuja totalidade pode ser observada no Anexo V), tendo sido as restantes expressões, que se encontram descritas em seguida, alteradas de acordo com o propósito pretendido.

Esta adaptação dos cenários anteriores para o presente, consistiu, essencialmente, na duplicação da nova área de cultivo por pessoa a existir no empreendimento de 50m² para 100m², a partir da vigésima viagem tripulada da missão, ou seja, aos 286 meses da mesma, e, além disto, decidiu-se igualmente que a área existente anteriormente seria também duplicada, de uma forma faseada (mais especificamente, em 3 fases) a partir da vigésima viagem proposta, ou seja, dos 260 meses da simulação, prolongando-se pelas duas seguintes — de modo a procurar-se a implementação relativamente gradual e não disruptiva da implementação no empreendimento das alterações propostas — o que se procurou refletir na simulação.

4.3.1.1 Variáveis Alteradas e Adicionadas

Adição de área após uma maior sustentabilidade do empreendimento: esta variável, criada apenas para este terceiro cenário, teve como objetivo traduzir a alteração (já descrita) no empreendimento que esta terceira proposta representaria, tendo-lhe sido atribuída, então, a expressão 4.58:

$$\text{“STEP}(50,286)\text{”} \quad (4.58)$$

Área de cultivo: conseqüentemente à inserção da expressão acima no modelo, a variável alusiva à área de cultivo total existente no empreendimento a cada mês de registo foi definida da seguinte forma, através da expressão de cálculo 4.6-B:

$$\text{“}(50+\text{Adição de área após uma maior sustentabilidade do empreendimento})\text{*Pessoas+Duplicação da área de cultivo”} \quad (4.6-B)$$

Duplicação da área de cultivo: como é possível verificar na expressão anterior, foi criada uma nova variável, que procurou representar o aumento pretendido — ou seja, a duplicação de 50m² para 100m² — da área de cultivo já existente no empreendimento (da forma faseada e meses já descritos), através da expressão de cálculo 4.59:

$$\text{“STEP}(29000/3,260)\text{+STEP}(-29000/3,338)\text{”} \quad (4.59)$$

Infra-estrutura (área de cultivo): se no Cenário 2 se adaptou o valor do Cenário 1 atribuído a esta variável (133780/7000) para 55% do mesmo, ou seja, 73579/7000, para este Cenário 3 definiu-se uma nova expressão, que pretendeu traduzir a necessidade de infra-estrutura necessária a enviar para o empreendimento em proporção do aumento da área de cultivo (gradual) ao longo da simulação mas, também, da duplicação da área de cultivo já existente no mês de registo (260, como explicado, prévio ao do momento da duplicação da nova área de cultivo a existir no empreendimento — mês de registo 286), distribuído por 3 fases, correspondentes aos meses de registo 260, 286 e 312, obtendo-se assim a expressão 4.7-B:

$$\text{“STEP}(73579/7000\text{*}(Área de cultivo-área de cultivo passado-Duplicação da área de cultivo),0)\text{+STEP}(60201/7000\text{*Duplicação da área de cultivo,} \quad (4.7-B)$$
$$\text{260)\text{+STEP}(60201/7000\text{*}(Área de cultivo-área de cultivo passado-Duplicação da área de cultivo),286)\text{”}$$

Infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro: para o cálculo desta variável, à semelhança da anterior, o peso da infra-estrutura a enviar destinada a insectos e animais por módulo de 70 pessoas (5850kg), assim como o conteúdo desta (186kg), também foram variando, conforme a quantidade 50 ou 100m² de área de cultivo nos módulos

que receberiam esta nova infra-estrutura, através dos respetivos valores 3319,8 ou 2716,2kg (55% e 45%, de um total de 6036kg), para o que se utilizou a expressão 4.23-B:

“STEP(IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo/50/580>0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo/50/580)*3319.8,0),0)+STEP(Duplicação da área de cultivo/50/580*2716.2,260)+STEP(IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo/50/580>0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo/50/580)*2716.2,0),286)” (4.23-B)

Produção de Insectos e Animais: para esta variável, também à semelhança da anterior, adaptou-se a quantidade de insectos e animais produzida no empreendimento de acordo com a (também) quantidade destes existente no mesmo, utilizando-se, para tal, os valores de 204,6kg e 167,4kg (em média), respetivamente, 55% e 45% de 186kg*2 (372kg), obtendo-se a seguinte expressão (4.30-B):

“STEP(0.2*("infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo/50/580)*204.6,0)+STEP(0.2*Duplicação da área de cultivo/50/580*167.4,260)+STEP(0.2*("infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo/50/580)*167.4,286)” (4.30-B)

Alimentação necessária a importar da Terra: visto, neste cenário, inicialmente, existir no empreendimento, à semelhança do segundo cenário simulado, a capacidade de produção de até metade da alimentação necessária à sua população, decidiu-se utilizar a mesma margem de redundância da quantidade de alimentos enviada na segunda missão tripulada do cenário 2 (que contou com esta mesma quantidade de área de cultivo), juntamente com a margem de segurança de 60% do consumo humano previsto para os seguintes meses de registo correntes da simulação, adaptada para 40 (como no cenário 1) a partir do momento de registo seguinte ao início da duplicação da área de cultivo que é enviada para o empreendimento (contabilizando-se com o tempo para a sementeação, crescimento e colheita das espécies cultivadas nos campos). Assim, foi utilizada a seguinte expressão de cálculo (4.36-B):

“STEP(17398.3*1.5,26)+STEP(17398.3*8,52)+STEP((Consumo total necessário-Produção local total-IF THEN ELSE("excedente de alimentos (em armazém) passado">0,"excedente de alimentos (em armazém) passado",0)) +0.6*Pessoas*"consumo de alimentos/pessoa"-17398.3*9.5,78)+STEP(-0.2*Pessoas*"consumo de alimentos/pessoa",312)” (4.36-B)

Armazém / Balanço de importações, produção e consumo: à semelhança da variável homónima no cenário anterior, esta também manteve a expressão de cálculo utilizada no cenário 1, tendo sido, também igualmente, nesta proposta, utilizada para a confirmação da disponibilidade de alimentos na colónia ao longo da simulação, como demonstra a Figura 42.

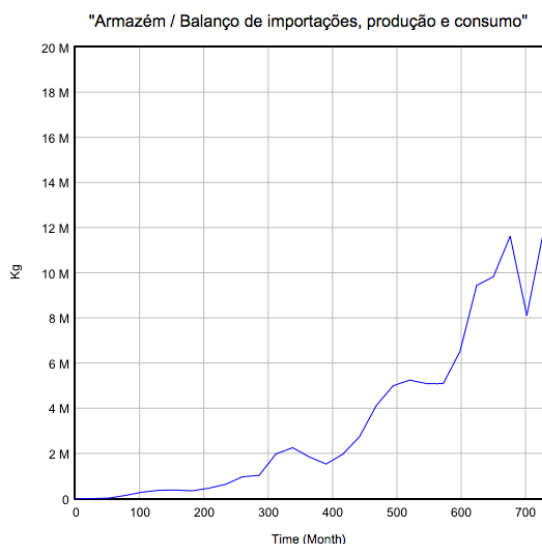


Figura 42 – Resultados da variável “Armazém / Balanço de importações, produção e consumo”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3. *(x=26 y=0kg; x=52 y=18051,7kg)

Robôs agrícolas: a massa de robôs a ser enviada para o empreendimento variou ao longo da simulação, também à semelhança das variáveis anteriores, utilizando-se os valores de 3937kg e 1968,5kg (100% e 50%, respetivamente, da mesma), através da expressão 4.46-B:

$$\begin{aligned}
 & \text{“STEP}(1968.5*(\text{módulos } 70 \text{ pessoas novos} + \text{Duplicação da área de cultivo}/ \\
 & 50/580), 130) + \text{STEP}(1968.5*\text{módulos } 70 \text{ pessoas novos}, 286)\text{”} \quad (4.46-B)
 \end{aligned}$$

Conceptualmente, considerou-se que as infra-estruturas e módulos estivessem preparados para que se desse o seu crescimento, aquando o correspondente aumento da área de cultivo que passaria a existir por módulo.

4.3.1.2 Resultados da Simulação

Também à semelhança dos cenários anteriores, apresentam-se, em seguida, nas Figuras 43 e 44, os gráficos dos resultados da simulação do presente cenário para as variáveis “Pessoas” e “Carga necessária” a transportar para o empreendimento, ao longo da totalidade dos 728 meses de simulação do modelo elaborado, assim como os mesmos resultados nas respetivas Tabelas 14 e 15 — valores resultantes da simulação que também serão utilizados no próximo subcapítulo.

Tabela 14 – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3.

Time (Time)	Pessoas
0	0
26	10
52	60
78	110
104	170
130	220
156	270
182	380
208	480
234	580
260	700
286	800
312	1100
338	1440
364	1740
390	2040
416	2420
442	3018
468	3611
494	4366
520	4958
546	5559
572	6865
598	7851
624	8837
650	10455
676	11427
702	12909
728	15677

Tabela 15 – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3.

Time (Time)	Carga necessária
0	547.122
26	258.833
52	371.938
78	815.866
104	621.721
130	1335.69
156	1170.88
182	2504.72
208	3726.29
234	4004.58
260	6260.91
286	9948.76
312	11520.1
338	12693.2
364	15705.7
390	18008.6
416	22174.2
442	29514
468	33367.3
494	39518.1
520	41936.8
546	46543.6
572	65554.2
598	70442.1
624	76293.2
650	94667.3
676	93525.6
702	113379
728	151286

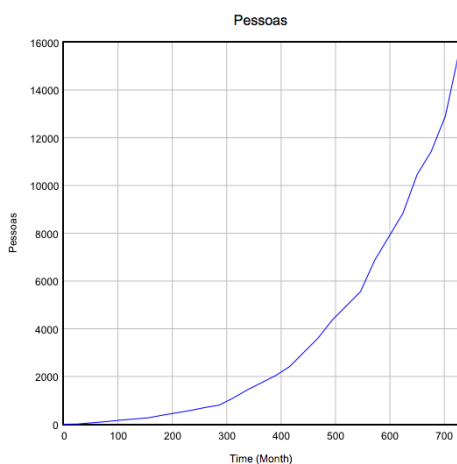


Figura 43 – Resultados da variável “Pessoas”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3.

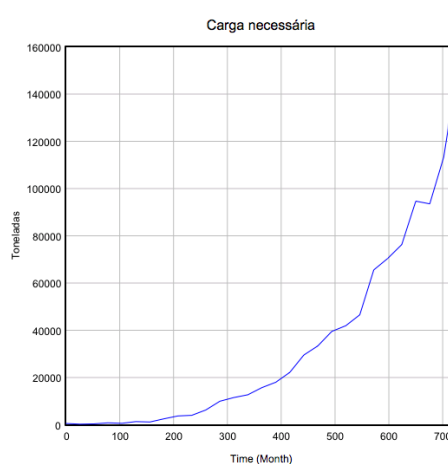
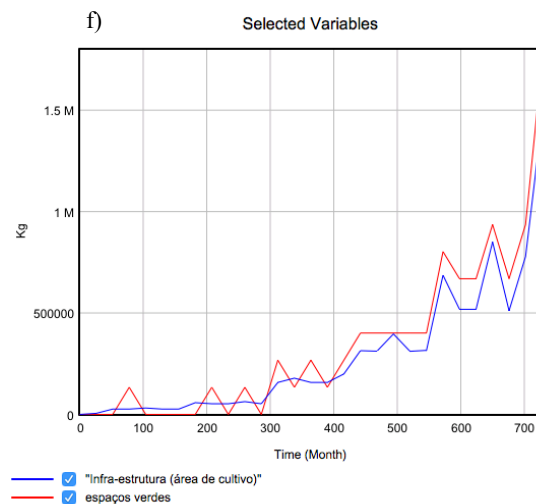
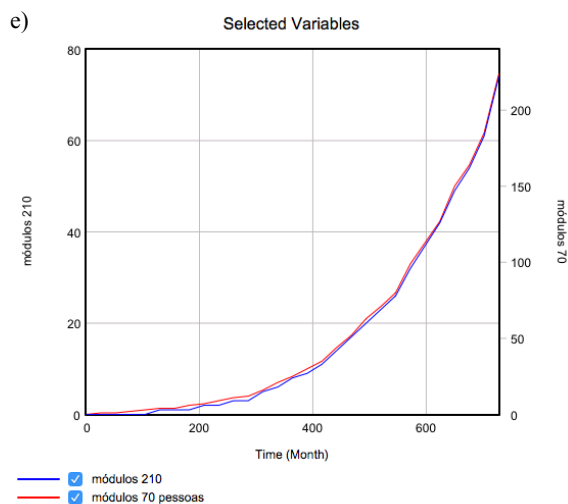
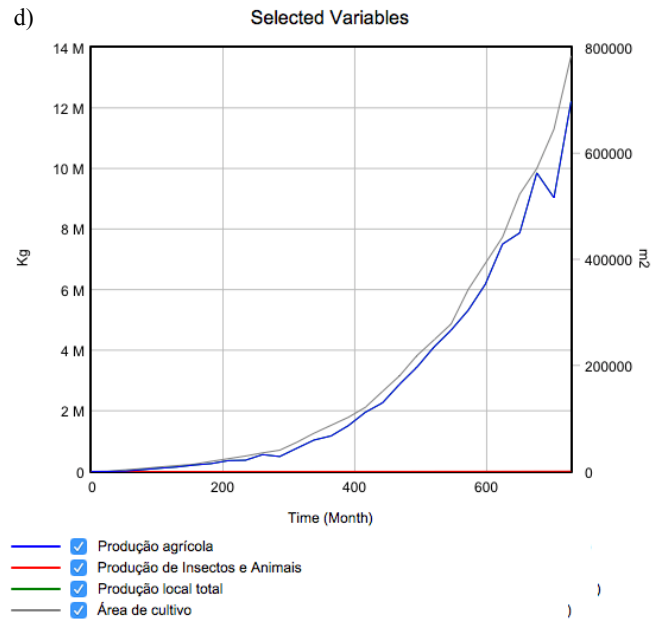
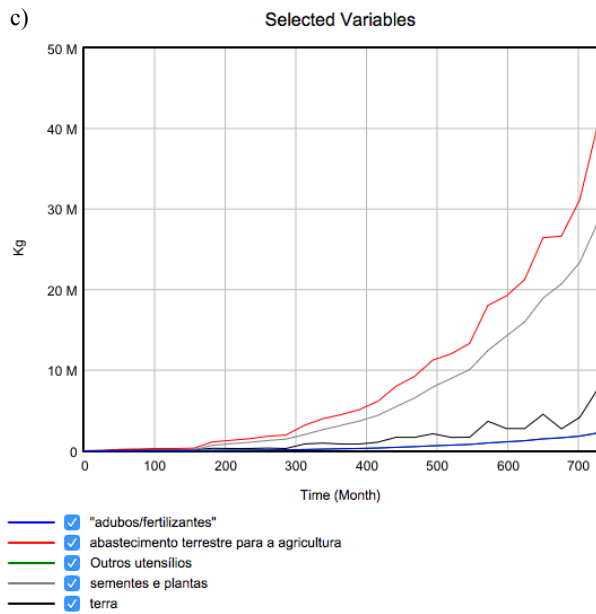
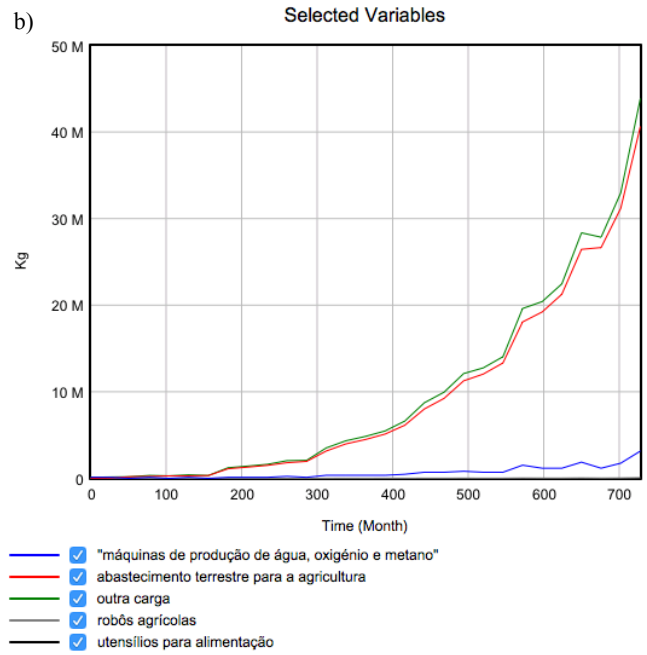
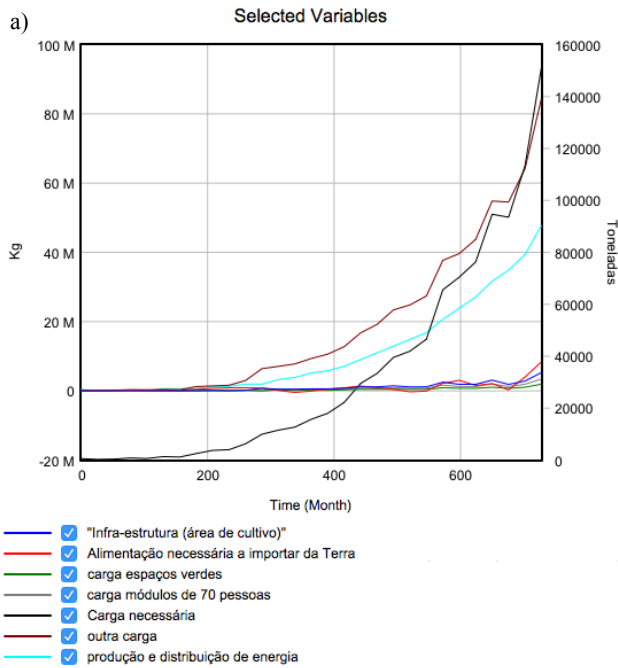


Figura 44 – Resultados da variável “Carga necessária”, durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3.

E apresenta-se (também à semelhança dos cenários anteriores), ainda, nas Figuras 45 a), b), c), d), e) e f), os resultados de outras variáveis que possam ser interessantes, elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas.



Figuras 45 a), b), c), d), e) e f) – Resultados de outras variáveis (elencadas nas legendas dos gráficos das mesmas) durante a totalidade da simulação — Vensim, cenário 3: a) todas as variáveis conectadas diretamente à variável “Carga necessária”, mais a própria; b) todas as variáveis que compõem a variável “outra carga”, mais a própria; c) todas as variáveis que compõem a variável “abastecimento terrestre para a agricultura”, assim como a própria; d) ambas as variáveis que compõem a variável “Produção local total”, assim como a própria e, ainda, a variável “Área de cultivo”; e) variáveis que indicam o número de módulos existentes/necessários no empreendimento destinados a 70 e 210 pessoas, a cada momento de registo; f) variáveis relativas à infra-estrutura necessária para a área de cultivo e os espaços verdes da colónia.

4.3.2 Análise da Possibilidade de Suporte às Necessidades do Empreendimento Agrícola Identificadas

Também neste subcapítulo se procedeu à abordagem utilizada para os subcapítulos homónimos dos cenários de proposta anteriores, de modo a obter-se os dados comparativos úteis à presente dissertação. E apresentam-se, em seguida, também, as Tabelas 16 e 17, com os resultados relativos à averiguação da possibilidade do suporte terrestre às necessidades do empreendimento averiguadas pela simulação anterior, cujos valores de base (quantidade de pessoas e carga (Tabela 15) a transportar) foram, igualmente, os semelhantes ao cenário 2.

Tabela 16 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte da Carga a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 3.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Carga Necessária (em toneladas)	Carga Necessária (em toneladas métricas)	Carga Necessária Dividida por Foguetões	Foguetões Necessários	Custo do Transporte da Carga Necessária
6 dezembro 2035	0	547,122	496,481	4,965	5	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	258,833	234,876	2,349	3	30 000 000,00 €
6 abril 2040	52	371,938	337,512	3,375	4	40 000 000,00 €
6 junho 2042	78	815,866	740,350	7,404	8	80 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	621,721	564,175	5,642	6	60 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	1335,69	1212,060	12,121	13	130 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	1170,88	1062,505	10,625	11	110 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	2504,72	2272,886	22,729	23	230 000 000,00 €
6 abril 2053	208	3726,29	3381,388	33,814	34	340 000 000,00 €
6 junho 2055	234	4004,58	3633,920	36,339	37	370 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	6260,91	5681,407	56,814	57	570 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	9948,76	9027,913	90,279	91	910 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	11520,1	10453,811	104,538	105	1 050 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	12693,2	11518,330	115,183	116	1 160 000 000,00 €
6 abril 2066	364	15705,7	14251,996	142,520	143	1 430 000 000,00 €
6 junho 2068	390	18008,6	16341,742	163,417	164	1 640 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	22174,2	20121,779	201,218	202	2 020 000 000,00 €

6 outubro 2072	442	29514	26782,214	267,822	268	2 680 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	33367,3	30278,857	302,789	303	3 030 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	39518,1	35860,345	358,603	359	3 590 000 000,00 €
6 abril 2079	520	41936,8	38055,172	380,552	381	3 810 000 000,00 €
6 junho 2081	546	46543,6	42235,572	422,356	423	4 230 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	65554,2	59486,570	594,866	595	5 950 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	70442,1	63922,051	639,221	640	6 400 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	76293,2	69231,579	692,316	693	6 930 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	94667,3	85904,991	859,050	860	8 600 000 000,00 €
6 abril 2092	676	93525,6	84868,966	848,690	849	8 490 000 000,00 €
6 junho 2094	702	113379	102884,755	1028,848	1029	10 290 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	151286	137283,122	1372,831	1373	13 730 000 000,00 €
Soma Total =			878127,323		8795	87 950 000 000,00 €

Tabela 17 – Número de Foguetões Necessários e Custo do Transporte Total (Carga e Pessoas) a enviar para o Empreendimento por mês da simulação — Cenário 3.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Soma dos Foguetões Necessários por Viagem	Soma dos Custos por Viagem
6 dezembro 2035	0	5	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	4	40 000 000,00 €
6 abril 2040	52	5	50 000 000,00 €
6 junho 2042	78	10	100 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	8	80 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	16	160 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	14	140 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	27	270 000 000,00 €
6 abril 2053	208	39	390 000 000,00 €
6 junho 2055	234	43	430 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	64	640 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	99	990 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	116	1 160 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	130	1 300 000 000,00 €
6 abril 2066	364	160	1 600 000 000,00 €
6 junho 2068	390	184	1 840 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	225	2 250 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	297	2 970 000 000,00 €

6 dezembro 2074	468	338	3 380 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	400	4 000 000 000,00 €
6 abril 2079	520	428	4 280 000 000,00 €
6 junho 2081	546	476	4 760 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	658	6 580 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	713	7 130 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	776	7 760 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	953	9 530 000 000,00 €
6 abril 2092	676	952	9 520 000 000,00 €
6 junho 2094	702	1 147	11 470 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	1 506	15 060 000 000,00 €
Soma Total =		9 793	97 930 000 000,00 €

4.3.3 Prós e Contras do Cenário de Proposta 3

Por último, considera-se que o terceiro cenário apresentado encerre os seguintes Prós e Contras, englobando os dos dois cenários anteriores:

- Prós:

- É um “meio-termo” dos dois cenários apresentados anteriormente, proporcionando, inicialmente, uma produção agrícola suficiente para abranger (em teoria) metade do consumo alimentar total necessário à colónia, passando, esta a abranger, a cerca de um terço da duração da simulação, a produção agrícola suficiente para suprimir, também em teoria, o consumo alimentar total da mesma, assim como a representar, a partir desse ponto, um maior nível de segurança quanto à capacidade de auto-sobrevivência/sustentabilidade alimentar desta;
- Comparativamente ao primeiro cenário proposto, no primeiro terço da sua duração, este cenário apresentaria uma menor necessidade de carga (proporcional à área de cultivo), o que se traduziria, conseqüentemente, em menores custos iniciais, assim como numa menor complexidade logística também inicial em relação ao mesmo cenário;
- Também permite o transporte de pessoas suficiente para que, em 2096/97, ao fim de, sensivelmente, 60 anos, se obtivesse uma população humana considerável em Marte;
- Implica, na sua fase inicial, o mesmo nível de trabalho agrícola do necessário no segundo cenário (ou seja, menor do que no primeiro cenário) por parte dos astronautas no empreendimento;
- Representaria, também, muito possivelmente, dada a área de cultivo de que a colónia disporia, nas suas segunda e terceira fases de duração, em comparação

- com o segundo cenário, uma consequente maior diversidade de espécies no empreendimento, e talvez cada vez mais adequadas às condições marcianas;
- A longo-prazo, incentiva a um maior contacto dos astronautas com elementos naturais e com a atividade agrícola relativamente ao segundo cenário, importante a nível psicológico e, também, para a sobrevivência da colónia;
 - Também a longo-prazo, este cenário representaria muito pouca ou quase nenhuma dependência alimentar da Terra;
 - Pode também considerar-se que o mesmo acarrete riscos de implementação e de operacionalidade iniciais menores do que no primeiro cenário proposto;
 - Uma vez alcançado um determinado nível de confiança e de estabilidade na produção agrícola marciana, poderia, à semelhança do primeiro cenário, dar-se a colmatação de custos “eternos” de transporte alimentar terrestre para este local;
- Contras:
- Inicialmente, proporciona a produção agrícola de apenas metade da necessária ao consumo alimentar total na colónia, acarretando um nível de risco relativamente à capacidade de sobrevivência alimentar desta mais elevado, comparativamente ao cenário 1, aumentando o nível de incerteza e insegurança correspondentes à mesma;
 - A curto-prazo, representaria, uma maior dependência alimentar da Terra relativamente ao primeiro cenário;
 - Apresenta, a médio-longo prazo, uma maior necessidade de carga (proporcional à área de cultivo) relativamente à do segundo cenário proposto, o que se traduziria, consequentemente, em maiores custos gerais no abastecimento para o completo e correto funcionamento do empreendimento;
 - Pode-se considerar que este cenário, também nas suas segunda e terceira fases, em comparação com o segundo cenário, represente, possivelmente, maiores riscos na implementação ou no funcionamento de estratégias e equipamento local (por exemplo, de falhas ou avarias);
 - Inicialmente, poderia possibilitar uma quantidade menor de espécies no empreendimento;
 - Implica, possivelmente, a médio-longo prazo, um nível de trabalho agrícola mais significativo por parte dos astronautas (que vimos, também, mais a médio-longo prazo, poder ser auxiliado por robôs) do que o necessário no segundo cenário proposto;
 - Apresenta uma maior complexidade logística comparativamente, também, ao cenário 2;
 - Dos três cenários propostos, é, provavelmente, aquele que acarretaria uma maior complexidade estratégica e de execução da missão, no entanto, acredita-se que apenas durante a fase de duplicação da área de cultivo disponível no empreendimento, e até que a atividade sobre a área de cultivo equivalente à proposta no primeiro cenário adquirisse a devida estabilidade operacional.

5. Validação das Propostas

Neste capítulo procurou-se apresentar o Contexto da Validade dos Cenários Propostos para a Resolução do Estudo de Caso, no subcapítulo 5.1, a Análise dos Resultados Obtidos no contexto referido, da validação das propostas apresentadas, em geral, no subcapítulo 5.2, e Entre-Cenários, procedendo-se à Comparação dos mesmos, no subcapítulo 5.2.1, e, por último, no subcapítulo 5.2.2, descreveram-se ainda Outros Aspectos relativos à Viabilidade das Propostas Apresentadas.

5.1. Contexto da Validade dos Cenários Propostos para a Resolução do Estudo de Caso

Tendo sido elaborado, nesta investigação, um Estudo de Caso, com base na Revisão da Literatura também previamente realizada — a partir da qual se apurou o estado e contexto atuais da Indústria e Exploração Espaciais, identificado-se a permanência humana e conseqüente colonização da Humanidade de outros astros para além da Terra (para o que Marte aparentou ser a opção mais lógica) como o que muitos autores acreditam que devesse ser o próximo “grande passo” no campo estudado, e apurando-se, também, para tal, a importância da produção de recursos *in situ* (incluindo alimentos) para a sobrevivência humana nesse(s) novo(s) local(/ais), — propôs-se, neste trabalho, a averiguação da possibilidade do abastecimento terrestre como o suporte à sobrevivência e à prosperidade de um empreendimento humano agrícola em Marte (— o foco do estudo de caso apresentado).

E, no Capítulo 4, procurou-se, então, apresentar cenários de resposta aos problemas e respetivas causas-raiz identificados no estudo de caso em questão, tendo estes sido:

- Problemas: a ausência, em Marte, do ambiente, meios e utensílios necessários à agricultura, assim como a necessidade da adoção de comportamentos e da criação de estratégias para a sustentabilidade do tipo de empreendimento idealizado;
- Causas-raiz: a longitude dos recursos necessários, a alta necessidade de controlo das condições de conservação dos itens enviados durante as viagens de transporte, assim como do próprio ambiente agrícola e de armazenamento em Marte, e, o desconhecimento, a falta de experiência e a imprevisibilidade inerentes ao início de uma atividade num novo planeta.

Como tal, com base nas metodologias já descritas (no capítulo introdutório desta dissertação), tendo-se observado uma série de propostas diversas entre si — como: o envio de 100 pessoas para o planeta mencionado, em 2046, e de 100 pessoas adicionais

a cada 2 anos posteriores; uma missão de 500 pessoas situada na zona polar norte de Marte, devido à existência de gelo/água na mesma; uma arquitetura modelar para 100, 1000 ou 10000 pessoas, focada na obtenção de água a partir da atmosfera; um cenário de 100 ou 10000 pessoas, num contexto de terraformação do planeta; uma proposta do aumento da população em degraus de 20, 50 e 100 pessoas; uma colónia de 407 habitantes, dimensionada diretamente a partir daquela que seria a sua área de cultivo; um empreendimento de 8 a 50 pessoas rotativas ou de 150-500 a milhares de pessoas em estadia permanente; ou, ainda, a visão de uma colónia com 80 mil ou, mesmo, 1 milhão de pessoas, estabelecida entre 50 a 100 anos, sendo enviadas 1000 ou mais pessoas para o planeta vermelho a cada 26 meses; etc. —, assim como identificado as tecnologias e possibilidades, existentes ou em desenvolvimento, relevantes para a área abordada, apresentaram-se, então, 3 propostas com a mesma base, sendo esta a fase inicial, com uma duração de cerca de 60 anos (que se pretendia que prosperasse, prolongando-se, idealmente, continuamente), de um empreendimento, iniciado em 2035/36, que possibilitaria a produção agrícola humana no planeta vermelho, e cuja população inicial seria de 10 pessoas (um número relativamente baixo, considerando-se existir um risco mais elevado no início da missão e, deste modo, procurando-se minimizar eventuais impactos indesejados) que aumentaria gradualmente, com base na chegada de 50, 100, 300, 600, 1000 e 1500 pessoas adicionais, estando estas fases distanciadas, sensivelmente, por décadas (5 viagens), no geral.

As simulações apresentadas, realizadas com base na dinâmica de sistemas — e que aos modelos das quais se procurou oferecer o maior nível de detalhe possível perante os recursos da presente investigação, assim como atribuir os dados quantitativos também o mais próximos quanto possível do que seria a realidade, tendo os mesmos sido aferidos durante a revisão da literatura efetuada — serviram à previsão da produção e do consumo alimentar que decorreriam no empreendimento descrito, em cada um dos cenários propostos, assim como à estimativa das restantes várias variáveis que se consideraram essenciais para o correto funcionamento do empreendimento idealizado, ou seja, para a colmatação dos problemas identificados no estudo de caso, relativos à necessidade de um abastecimento que tornasse possível a existência do ambiente, utensílios e meios necessários para a atividade agrícola no local a colonizar. E para mitigar (ou eliminar, quando e onde possível) as causas-raiz dos problemas também identificadas — como a incerteza, a longitude, etc. dos recursos, meios e condições necessários e inerentes ao empreendimento — vimos também como foram aplicadas às simulações, margens de segurança, assim como incluída a probabilidade aleatória de ocorrência de imprevistos.

Tendo-se estimado, assim, a carga total que seria necessário transportar-se desde a Terra até Marte, para cada um dos 3 cenários propostos, averiguou-se, também, as possibilidades tecnológicas do setor, tendo-se selecionado, para esta investigação, como o meio de transporte que seria utilizado (nos três cenários propostos) para o objetivo pretendido, aquele que se acredita vir a ser a alternativa mais provável de ser capaz de realizar as viagens necessárias — o sistema Super Heavy-Starship. E a partir das previsões atuais para a capacidade (pessoas e carga) e custos operacionais deste veículo,

foi possível calcular-se o número de foguetões e respetivos custos das viagens de transporte necessárias durante toda a duração do plano proposto, ou seja, cerca de 60 anos, tendo-se aferido, para os diferentes cenários, as quantidades totais de 9816, 7928, 9793 viagens de ida de foguetões, assim como valores de custo na ordem dos 98 e 79 mil milhões de euros (arredondados).

Avaliemos, então, em seguida, como se enquadra a validade dos resultados obtidos nas possibilidades do setor espacial em geral, assim como as diferenças (possíveis vantagens e desvantagens) identificadas entre-cenários, e, ainda, outros aspectos das propostas apresentadas.

5.2. Análise de Resultados Obtidos e Discussão

Em geral, à primeira vista, os valores dos custos apurados no Capítulo 4 deste trabalho parecem muito elevados. No entanto, se os contextualizarmos e compararmos com outros valores da indústria espacial veremos como os mesmos aparentam ser bastante plausíveis para valores de missões desta indústria. Por exemplo, averiguámos como (apesar de as suas estimativas totais ainda não serem conhecidas, encontrando-se a ser ajustadas) o custo total projetado para o programa Artemis da NASA (descrito na revisão da literatura) até 2025 é de 93 mil milhões de dólares (com cada lançamento do veículo SLS com a cápsula Orion a custar 4,1 mil milhões de dólares). Por outro lado, também como exemplo, averiguou-se que o orçamento anual da ESA (como o era, pelo menos, até 2016) seja na ordem dos 4 mil milhões de euros (ou seja, de 240 mil milhões em 60 anos).

Desde logo, considera-se também de extrema importância salientar a relevância para a indústria espacial da proposta da SpaceX (realçada, também, por vários dos autores analisados), de reduzir drasticamente os custos dos lançamentos através da fabricação de foguetões reutilizáveis pois, os valores apurados através dos cenários propostos nesta dissertação, que propõem a utilização de um veículo produzido por esta empresa, encontram-se muito abaixo dos 4,1 mil milhões de dólares mencionados acima, não ultrapassando os 14 milhões por ano, mesmo nas últimas viagens, propostas para decorrerem de 2035 a 60 anos (apesar de não se ter contado, para os cálculos efetuados nesta investigação, com os custos da própria carga em si, sobre o que refletiremos mais adiante, tendo, obviamente, este facto um impacto significativo naquilo que seriam os custos totais da missão proposta e não apenas dos do transporte de que a mesma necessitaria).

5.2.1. Comparação Entre-Cenários

Utilizando-se a mesma ferramenta dos subcapítulos anteriores 4.1.5, 4.2.2 e 4.3.2, elaboraram-se as tabelas e gráficos apresentados em seguida, relativos à comparação entre cenários dos resultados obtidos.

Tabela 18 – Carga a Transportar e Número de Foguetões Respetivos, apresentados por Mês de Registo da Simulação e por Cenário.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Carga Necessária a transportar (em toneladas métricas)			Foguetões Necessários		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
6 dezembro 2035	0	496,481	476,948	496,481	5	5	5
6 fevereiro 2038	26	278,963	234,528	234,876	3	3	3
6 abril 2040	52	532,482	337,512	337,512	6	4	4
6 junho 2042	78	902,107	740,004	740,350	10	8	8
6 agosto 2044	104	717,706	563,828	564,175	8	6	6
6 outubro 2046	130	1370,844	1182,414	1212,060	14	12	13
6 dezembro 2048	156	1256,515	1033,212	1062,505	13	11	11
6 fevereiro 2051	182	3054,637	2242,895	2272,886	31	23	23
6 abril 2053	208	4136,724	3322,441	3381,388	42	34	34
6 junho 2055	234	4563,938	3574,628	3633,920	46	36	37
6 agosto 2057	260	5995,100	4658,312	5681,407	60	47	57
6 outubro 2059	286	6027,151	4498,448	9027,913	61	45	91
6 dezembro 2061	312	10778,675	8117,260	10453,811	108	82	105
6 fevereiro 2064	338	12868,966	9944,011	11518,330	129	100	116
6 abril 2066	364	14706,080	11747,278	14251,996	148	118	143
6 junho 2068	390	16173,230	12755,808	16341,742	162	128	164
6 agosto 2070	416	19500,091	15147,641	20121,779	196	152	202
6 outubro 2072	442	26346,461	20279,038	26782,214	264	203	268
6 dezembro 2074	468	30481,942	23968,875	30278,857	305	240	303
6 fevereiro 2077	494	36487,931	28794,192	35860,345	365	288	359
6 abril 2079	520	38255,172	30726,044	38055,172	383	308	381
6 junho 2081	546	42236,570	33491,470	42235,572	423	335	423
6 agosto 2083	572	59106,080	45584,211	59486,570	592	456	595
6 outubro 2085	598	63557,804	50239,111	63922,051	636	503	640
6 dezembro 2087	624	69236,479	55484,120	69231,579	693	555	693
6 fevereiro 2090	650	86291,561	67951,906	85904,991	863	680	860
6 abril 2092	676	85251,452	68538,929	84868,966	853	686	849
6 junho 2094	702	102885,662	80554,809	102884,755	1029	806	1029
6 agosto 2096	728	136919,238	105558,076	137283,122	1370	1056	1373
Soma Total =		880416,042	691747,947	878127,323	8818	6930	8795

Tabela 19 – Custos do Transporte da Carga Necessária, apresentados por Mês de Registo da Simulação e por Cenário.

		Custo do Transporte da Carga Necessária		
Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
6 dezembro 2035	0	50 000 000,00 €	50 000 000,00 €	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	30 000 000,00 €	30 000 000,00 €	30 000 000,00 €
6 abril 2040	52	60 000 000,00 €	40 000 000,00 €	40 000 000,00 €
6 junho 2042	78	100 000 000,00 €	80 000 000,00 €	80 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	80 000 000,00 €	60 000 000,00 €	60 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	140 000 000,00 €	120 000 000,00 €	130 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	130 000 000,00 €	110 000 000,00 €	110 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	310 000 000,00 €	230 000 000,00 €	230 000 000,00 €
6 abril 2053	208	420 000 000,00 €	340 000 000,00 €	340 000 000,00 €
6 junho 2055	234	460 000 000,00 €	360 000 000,00 €	370 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	600 000 000,00 €	470 000 000,00 €	570 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	610 000 000,00 €	450 000 000,00 €	910 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	1 080 000 000,00 €	820 000 000,00 €	1 050 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	1 290 000 000,00 €	1 000 000 000,00 €	1 160 000 000,00 €
6 abril 2066	364	1 480 000 000,00 €	1 180 000 000,00 €	1 430 000 000,00 €
6 junho 2068	390	1 620 000 000,00 €	1 280 000 000,00 €	1 640 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	1 960 000 000,00 €	1 520 000 000,00 €	2 020 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	2 640 000 000,00 €	2 030 000 000,00 €	2 680 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	3 050 000 000,00 €	2 400 000 000,00 €	3 030 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	3 650 000 000,00 €	2 880 000 000,00 €	3 590 000 000,00 €
6 abril 2079	520	3 830 000 000,00 €	3 080 000 000,00 €	3 810 000 000,00 €
6 junho 2081	546	4 230 000 000,00 €	3 350 000 000,00 €	4 230 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	5 920 000 000,00 €	4 560 000 000,00 €	5 950 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	6 360 000 000,00 €	5 030 000 000,00 €	6 400 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	6 930 000 000,00 €	5 550 000 000,00 €	6 930 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	8 630 000 000,00 €	6 800 000 000,00 €	8 600 000 000,00 €
6 abril 2092	676	8 530 000 000,00 €	6 860 000 000,00 €	8 490 000 000,00 €
6 junho 2094	702	10 290 000 000,00 €	8 060 000 000,00 €	10 290 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	13 700 000 000,00 €	10 560 000 000,00 €	13 730 000 000,00 €
Soma Total =		88 180 000 000,00 €	69 300 000 000,00 €	87 950 000 000,00 €

Foguetões Necessários (Pessoas & Carga) por Cenário

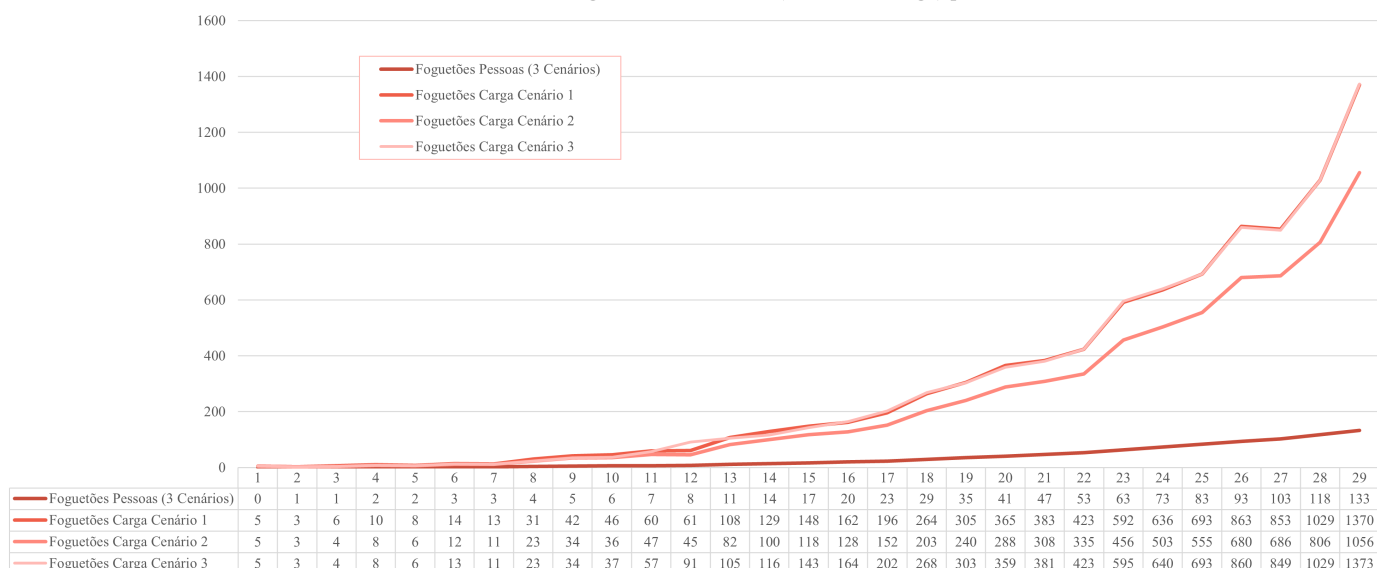


Figura 46 – Gráfico — Comparação de Cenários 1.

O gráfico da Figura 46 salienta a diferença acentuada averiguada (em todos os cenários, apesar de ligeiramente menos acentuada no cenário 2) entre os valores do transporte de pessoas e do de carga, chegando o transporte de pessoas a representar menos de 1 décimo do de carga, no último mês de registo contabilizado.

Tabela 20 – Custos de Transporte Totais por Mês de Registo da Simulação e por Cenário.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Custos de Transporte Totais		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
6 dezembro 2035	0	50 000 000,00 €	50 000 000,00 €	50 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26	40 000 000,00 €	40 000 000,00 €	40 000 000,00 €
6 abril 2040	52	70 000 000,00 €	50 000 000,00 €	50 000 000,00 €
6 junho 2042	78	120 000 000,00 €	100 000 000,00 €	100 000 000,00 €
6 agosto 2044	104	100 000 000,00 €	80 000 000,00 €	80 000 000,00 €
6 outubro 2046	130	170 000 000,00 €	150 000 000,00 €	160 000 000,00 €
6 dezembro 2048	156	160 000 000,00 €	140 000 000,00 €	140 000 000,00 €
6 fevereiro 2051	182	350 000 000,00 €	270 000 000,00 €	270 000 000,00 €
6 abril 2053	208	470 000 000,00 €	390 000 000,00 €	390 000 000,00 €
6 junho 2055	234	520 000 000,00 €	420 000 000,00 €	430 000 000,00 €
6 agosto 2057	260	670 000 000,00 €	540 000 000,00 €	640 000 000,00 €
6 outubro 2059	286	690 000 000,00 €	530 000 000,00 €	990 000 000,00 €
6 dezembro 2061	312	1 190 000 000,00 €	930 000 000,00 €	1 160 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338	1 430 000 000,00 €	1 140 000 000,00 €	1 300 000 000,00 €

6 abril 2066	364	1 650 000 000,00 €	1 350 000 000,00 €	1 600 000 000,00 €
6 junho 2068	390	1 820 000 000,00 €	1 480 000 000,00 €	1 840 000 000,00 €
6 agosto 2070	416	2 190 000 000,00 €	1 750 000 000,00 €	2 250 000 000,00 €
6 outubro 2072	442	2 930 000 000,00 €	2 320 000 000,00 €	2 970 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468	3 400 000 000,00 €	2 750 000 000,00 €	3 380 000 000,00 €
6 fevereiro 2077	494	4 060 000 000,00 €	3 290 000 000,00 €	4 000 000 000,00 €
6 abril 2079	520	4 300 000 000,00 €	3 550 000 000,00 €	4 280 000 000,00 €
6 junho 2081	546	4 760 000 000,00 €	3 880 000 000,00 €	4 760 000 000,00 €
6 agosto 2083	572	6 550 000 000,00 €	5 190 000 000,00 €	6 580 000 000,00 €
6 outubro 2085	598	7 090 000 000,00 €	5 760 000 000,00 €	7 130 000 000,00 €
6 dezembro 2087	624	7 760 000 000,00 €	6 380 000 000,00 €	7 760 000 000,00 €
6 fevereiro 2090	650	9 560 000 000,00 €	7 730 000 000,00 €	9 530 000 000,00 €
6 abril 2092	676	9 560 000 000,00 €	7 890 000 000,00 €	9 520 000 000,00 €
6 junho 2094	702	11 470 000 000,00 €	9 240 000 000,00 €	11 470 000 000,00 €
6 agosto 2096	728	15 030 000 000,00 €	11 890 000 000,00 €	15 060 000 000,00 €
Soma Total =		98 160 000 000,00 €	79 280 000 000,00 €	97 930 000 000,00 €

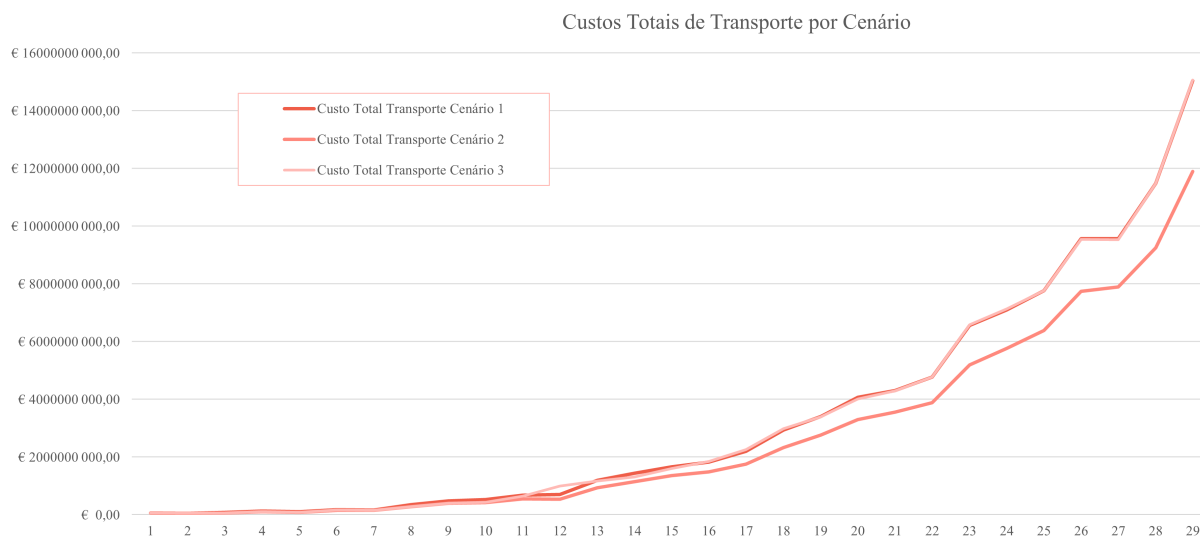


Figura 47 – Gráfico — Comparação de Cenários 2.

Como podemos ver a partir das Tabelas anteriores, 18, 19 e 20, assim como pelos gráficos das Figuras 47 e 48, enquanto o cenário 2 apresenta a necessidade de transporte de um menor nível de carga comparativamente aos dois outros cenários, exceto nas duas primeiras viagens propostas, assim como, no caso do terceiro cenário, até ao mês de registo 208, os cenários 1 e 3, a partir desse mesmo mês, apresentam valores, não sempre iguais mas, muito semelhantes.

Nas tabelas e gráfico em seguida (Tabelas 21 e 22 e Figura 48), apresentam-se alguns dos resultados averiguados somados por décadas da missão.

Tabela 21 – Custos do Transporte da Carga Necessária por Cenário e por Década.

Datas dos Lançamentos	Meses de Registo da Simulação Anterior	Custos de Transporte da Carga Necessária por Década		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
6 dezembro 2035	0	80 000 000,00 €	80 000 000,00 €	80 000 000,00 €
6 fevereiro 2038	26			
6 abril 2040	52	510 000 000,00 €	410 000 000,00 €	420 000 000,00 €
6 junho 2042	78			
6 agosto 2044	104			
6 outubro 2046	130			
6 dezembro 2048	156			
6 fevereiro 2051	182	2 400 000 000,00 €	1 850 000 000,00 €	2 420 000 000,00 €
6 abril 2053	208			
6 junho 2055	234			
6 agosto 2057	260			
6 outubro 2059	286			
6 dezembro 2061	312	5 470 000 000,00 €	4 280 000 000,00 €	5 280 000 000,00 €
6 fevereiro 2064	338			
6 abril 2066	364			
6 junho 2068	390			
6 agosto 2070	416			
6 outubro 2072	442	15 130 000 000,00 €	11 910 000 000,00 €	15 130 000 000,00 €
6 dezembro 2074	468			
6 fevereiro 2077	494			
6 abril 2079	520			
6 junho 2081	546			
6 agosto 2083	572	23 440 000 000,00 €	18 490 000 000,00 €	23 510 000 000,00 €
6 outubro 2085	598			
6 dezembro 2087	624			
6 fevereiro 2090	650	41 150 000 000,00 €	32 280 000 000,00 €	41 110 000 000,00 €
6 abril 2092	676			
6 junho 2094	702			
6 agosto 2096	728			

Tabela 22 – Pessoas, Carga e Respetivo Número de Foguetões a Transportar por Década.

Meses de Registo da Simulação Anterior	Pessoas Transportadas por Década	Foguetões de Pessoas por Década	Soma de Carga a Transportar por Década (toneladas métricas) e Respetiva Quantidade de Foguetões					
			Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
0	10	1	775,444	8	711,476	8	731,357	8
26								
52	800	11	4779,654	51	3856,970	41	3916,602	42
78								
104								
130								
156								
182	2800	30	23777,550	240	18296,724	185	23997,514	242
208								
234								
260								
286								
312	6040	62	54526,951	547	42564,356	428	52565,880	528
338								
364								
390								
416								
442	17300	175	151071,597	1513	118915,789	1191	151098,367	1513
468								
494								
520								
546								
572	27040	272	234136,933	2344	184798,911	1849	234875,771	2351
598								
624								
650								
676								
702	44540	447	411347,913	4115	322603,721	3228	410941,833	4111
728								
Soma Total =	98530	998	880416,042	8818	691747,947	6930	878127,323	8795

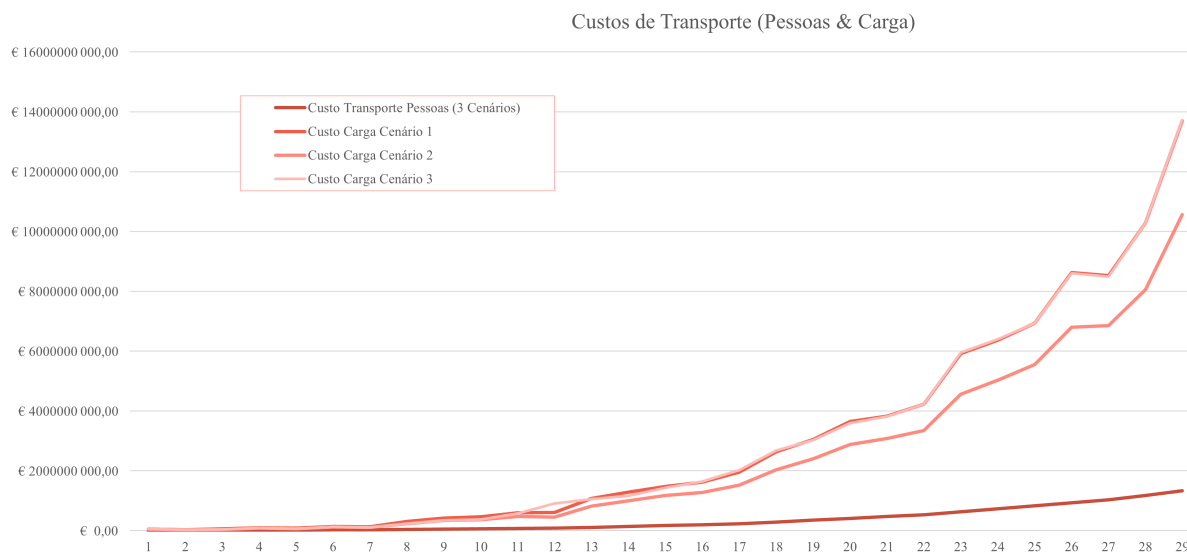


Figura 48 – Gráfico — Comparação de Cenários 3.

Em geral, tendo sido o objetivo da realização de propostas de resposta ao estudo de caso elaborado o de se gerar informação passível de validar a possibilidade e a exequibilidade do suporte logístico à sobrevivência e prosperidade de um empreendimento humano agrícola em Marte, considera-se que os dados obtidos, assim como a informação analisada, a tenham comprovado (esta possibilidade referida), tecnológica e financeiramente, encontrando-se, os mesmos aparentemente alinhados com a evolução atual e que se prespetiva para o futuro da indústria e, como vimos, financeiramente enquadrados na mesma.

Mais especificamente, pretendendo-se comparar os 3 cenários elaborados entre si, dado o cenário 2 conter uma menor área de cultivo e, como tal, também menor respectiva necessidade de carga a ser enviada para Marte dedicada à utilização da mesma, representa, no geral, menos custos do que os restantes cenários, confirmando-se que o envio de alimentos terrestre acarretaria menos custos de transporte do que os necessários para a produção destes em Marte. Considera-se também que, infelizmente, a proposta do cenário 3 não parece compensar os custos necessários comparativamente aos do cenário 1, apresentando resultados muito semelhantes ao mesmo (como podemos confirmar, por exemplo, na tabela 21 (anterior), numa análise dos custos somados por décadas), mesmo que inicialmente apresente necessidades de transporte semelhantes ao cenário 2 (ou seja, menores). E visto, como vimos também no capítulo anterior, esta alternativa do cenário 3 implicar uma maior complexidade logística e operacional relativamente a ambos os outros cenários, devida ao momento da duplicação da área de cultivo a existir por pessoa no empreendimento e do que tal acarretaria, apesar de, também à semelhança do segundo cenário, necessitar de menos trabalho agrícola inicial por parte dos astronautas, considera-se, então, que a alternativa do cenário 3 pudesse ser descartada. Confirmando-se que houvesse tempo e disponibilidade suficientes para o trabalho dos astronautas numa área de cultivo de 100m² por pessoa, gostaria de se evocar a importância e a significância das possibilidades que o primeiro cenário proposto representaria, como a sustentabilidade colonial espacial (juntamente com o aspeto psicológico da oferta de uma maior segurança e garantia de condições de

produção alimentar que contribuiriam com maior probabilidade de sucesso para a sobrevivência humana local em muitas situações). Ou seja, para o futuro da Humanidade no âmbito do setor espacial, este cenário representaria o feito referido, de incrível significância, se considerarmos que o mesmo permitiria a uma população humana que, em teoria, se alimentasse totalmente a partir do próprio “novo” planeta que se encontraria a habitar. A nível de custos de transporte, os cenários 1 e 2 distinguem-se por uma diferença aproximadamente de -20% ou +25% (consoante a perspectiva), o que, assim sendo, as vantagens descritas acerca do cenário 1 representariam esta diferença de custos para o cenário 2 (+25%) e não de +50% (em proporção à área de cultivo existente por pessoa no empreendimento), o que também se considera relevante. E, portanto, numa análise comparativa custo-benefício, considera-se, para o âmbito da presente investigação, o Cenário 1 como a melhor opção. No entanto, sabe-se também que esta escolha dependeria de quem fosse o seu decisor, das suas pretensões com a realização do investimento que este projeto representaria, assim como da seleção destes projetos/alternativas de entre outros projetos espaciais, muito possivelmente, até, noutros lugares, de outra natureza e com outros benefícios. Pelo que se refere, então, ainda, que o cenário 2 pudesse, certamente, não deixar de representar uma alternativa, existindo, por exemplo, um orçamento menor a alocar a este tipo de projeto, pois, apesar de manter a sua dependência alimentar da Terra a um nível mais significativo do que o primeiro cenário, também em condições de emergência, o que o torna uma alternativa mais incerta, também permite, em teoria, a produção alimentar necessária a metade do consumo do empreendimento, o que já teria a sua relevância significativa.

Considera-se, ainda, a hipótese de, para a decisão de seleção entre as alternativas apresentadas, a avaliação do desempenho das primeiras missões ser útil e traduzida em ajustamentos de melhoria ou de decisão, se necessário, relativamente às missões seguintes.

5.2.2. Outros aspetos relativos à Viabilidade das Propostas Apresentadas

Existem alguns outros aspetos não abordados em detalhe nem contabilizados na presente dissertação que, no entanto, se gostaria, ainda, de referir, dada a relevância que se considera apresentarem para a viabilidade dos objetivos investigados.

Em primeiro lugar, sendo enviados foguetões de carga para Marte que se pretendia serem reutilizados, considera-se que deveriam ser investigadas hipóteses de carga a trazer de volta à Terra, podendo esta ser utilizada para fins científicos mas, também, comerciais, representando a possibilidade da diminuição dos custos da missão proposta ou de uma fonte de financiamento da mesma (não se deixando de contabilizar, neste caso, o investimento em combustível necessário para estas viagens). Este aspeto representaria ainda uma alternativa sustentável, na medida em que conteria o benefício logístico relativo à eliminação ou diminuição do transporte em vazio. Exemplos de carga poderiam ser objetos ou mesmo alimentos produzidos em Marte, assim como, recursos raros (ou mais raros) na Terra, como por exemplo, como se averiguou também

na revisão da literatura, o Deutério (D), cuja composição em Marte é de 833ppm, enquanto na Terra é de 166, estando o seu quilo avaliado entre 10 mil a 16 mil dólares, sendo o mesmo utilizado em reatores de fusão de primeira e segunda geração (não deixando o foco da proposta apresentada ser o transporte de carga necessária para e não de Marte, pretendendo-se incentivar, neste caso, a permanência humana em Marte e não apenas missões exploratórias a curto-prazo).

Também se identificou a relevância atribuída à extração de minerais em Marte, podendo esta servir vários propósitos, como a produção de metais ou de plásticos de extrema utilidade para estruturas, equipamento ou utensílios necessários ao empreendimento, o que representaria, também, a possibilidade da redução da dependência deste de carga trazida da Terra.

Ainda relativamente à viabilidade ou implicações financeiras das propostas apresentadas nesta investigação, observou-se que as próprias sementes e plantas(/ sementes germinadas em viagem) que se propôs serem transportadas até ao empreendimento seriam a porção de carga analisada mais pesada, pelo que se propõe que se investigassem, com alguma prioridade, estratégias ou meios da obtenção/ produção possível destas em Marte, reduzindo-se assim, também, a quantidade da carga total necessária da Terra e os respetivos custos de transporte da mesma.

Ainda como fonte de financiamento das propostas apresentadas, proporia-se a transmissão em direto das missões realizadas, sendo a mesma já habitual na indústria espacial.

6. Conclusão

Em resposta às perguntas de investigação apresentadas no Capítulo introdutório da presente dissertação, acredita-se que o trabalho realizado tenha demonstrado, essencialmente:

- 1) A validação e a confirmação (pelo menos, no contexto abordado, baseado em previsões de capacidades, específicas, futuras do setor), através da análise de dados realizada no capítulo anterior, da aparente viabilidade, tecnológica e financeira, relativa à realização de um abastecimento terrestre capaz de suprimir as necessidades identificadas num empreendimento colonial humano (mais especificamente, naquele que seria o setor agrícola do mesmo, tendo este sido o exemplo utilizado na presente investigação), o que representaria a possibilidade da sobrevivência e da prosperidade (ou seja, da sustentabilidade) da expansão presentemente defendida do *habitat* humano para além da Terra. O estudo de caso e cenários explorados disseram respeito, inclusivamente, ao planeta marciano (devido às razões descritas no Capítulo 3 do presente documento), o que, como se averiguou, enquadra-se na ideia da implementação de uma colónia humana na Lua, em Marte ou em determinados asteróides, ou seja, naqueles que seriam os próximos passos desejados por vários autores e intervenientes no campo para o cenário atual e futuro (próximo) da indústria e exploração espaciais humanas;
- 2) As implicações gerais (problemas e causas-raiz identificados no estudo de caso apresentado) da expansão da Humanidade ao nível agrícola para além da Terra (neste caso, utilizando-se a hipótese de Marte, como já referido), assim como as necessidades de sobrevivência e prosperidade deste tipo de setor — que pretenderia apresentar-se como solução para uma fonte da alimentação (e de bem-estar psicológico) numa colónia do tipo da apresentada, além de, também, oxigénio, água e energia suficientes para as atividades e necessidades do dia-a-dia da população da mesma e, ainda, de combustível para as suas viagens de retorno planeadas. Estes entendimentos foram obtidos através das capacidades preditivas — como vimos, de grande utilidade para o tipo de estudo realizado — da ferramenta de modelação e simulação utilizada, baseada na dinâmica de sistemas, tendo-se procurado proceder à utilização da mesma da forma o mais holística e detalhada possível perante os recursos disponíveis à presente investigação, visto saber-se que, quanto mais precisão atribuíssemos aos dados de base inseridos nas simulações realizadas, mais precisos seriam, também, os resultados obtidos a partir das mesmas.

Vimos, ainda, a relevância do suporte logístico (aparentemente, essencial) para este tipo de próximo “grande salto para a Humanidade”, assim como a importância acrescentada da carga transportada destinada ao consumo e utilização por seres humanos, quanto mais distante fosse o destino previsto para a mesma, representando isto riscos atípicos para a indústria espacial pois, habitualmente, mesmo à carga mais exigente cientificamente, costuma ser atribuída uma importância bastante reduzida comparativamente à atribuída ao transporte de pessoas. Ou seja, no âmbito do tema abordado, mesmo a carga transportada (em vez de astronautas) acarretaria riscos mais elevados do que o habitual, em casos onde a sobrevivência humana dependesse da mesma e não fosse viável proceder-se à sua reposição atempada no caso da sua danificação, inviabilidade ou destruição (por exemplo: se um foguetão de carga explodisse muito próximo da chegada a Marte, sem que tivesse sido enviada ou planeada carga suplente que estivesse disponível atempadamente à população dessa colónia).

Considera-se também previsível que, em 60 anos (sensivelmente a duração atribuída aos cenários de proposta apresentados neste trabalho), inúmeras situações ou implicações (*inclusive*, inimaginadas, atualmente) pudessem ocorrer ou alterar-se — o que, quase de certo, aconteceria — com riscos (positivos e negativos) que não foram devidamente contabilizados nas estimativas e simulações realizadas, e que poderiam representar diferentes graus de sucesso das propostas nas mesmas apresentadas. A presente investigação teve apenas a esperança de representar algum tipo de benefício ou de utilidade para os temas da Logística e Exploração Espaciais, por meio das ferramentas e estratégias utilizadas, assim como das estimativas geradas, tendo, ainda, sentido as limitações resultantes das simplificações e arredondamentos adotados, da falta de determinada informação, especialmente, “real” (em oposição aos dados obtidos a partir de experiências deliberadamente realizadas e não do dia-a-dia/funcionamento real dos contextos propostos, ou, a necessidades de manutenção relativas à utilização do tipo de equipamento e contexto para o funcionamento do mesmo também propostos, e, igualmente, durante os períodos de tempo pensados) e, ainda, de questões como o facto de não ter sido contabilizada a melhoria das tecnologias que seriam utilizadas (incluindo-se a possível consequente redução de preços de fabricação das mesmas) devida à provável (acredita-se) inovação que ocorreria ao longo das 6 décadas para as quais se projetou as propostas apresentadas.

Outras Questões

Gostaria, ainda, de se referir que se acredita que o trabalho desenvolvido pudesse representar, também, o benefício do reforço da importância da Agricultura — que vimos estar a ser, historicamente, cada vez mais negligenciada, no geral, pelas gerações mais recentes — para as necessidades alimentares de toda a população, também (além de no Espaço), na Terra. Acredita-se, ainda, que a realização da agricultura em Marte pudesse, inclusivamente, dar provas de soluções, práticas ou tecnologias passíveis de serem úteis, adequadas e eficientes, ao nível da sustentabilidade desta atividade, na própria Terra, não se considerando que a mesma esteja sempre presente, atualmente, na realidade deste

setor. *Inclusive*, executando-se, em Marte, algumas das ações cometidas na Terra no campo da atividade agrícola — como, por exemplo, a saturação de solos ou a intoxicação ou desequilíbrio dos sistemas naturais —, a população do empreendimento, muito possivelmente, correria perigo de vida.

E durante a realização desta investigação não se poderia ter deixado de refletir, certamente, sobre o quão importantes são as próprias condições *ideais* e atmosfera características do “nosso” planeta (para a nossa própria sobrevivência e prosperidade) — facto que conhecemos no entanto, do qual, muitas vezes, especialmente, nos países considerados desenvolvidos, nos parecemos esquecer, encontrando-se estas, atualmente, em degradação — acreditando-se no incentivo da valorização das mesmas, especialmente, ao nível das nossas escolhas industriais e de modos de vida que não respeitem o cuidado fundamental, deliberado e preventivo, imprescindível à estabilidade do ecossistema em que vivemos e, conseqüentemente, à própria sobrevivência da nossa possibilidade de vida como a experienciamos, hoje, neste planeta, defendendo-se que deveríamos aplicar os esforços necessários para o mantermos habitável e próspero, atualmente e para o maior número possível de gerações futuras. E, ainda, acreditando-se que a tecnologia, por si só, numa sociedade/civilização humana, nunca será o caminho da verdadeira total evolução, por ter a capacidade de nos levar à auto-deterioração (ou, mesmo, destruição), rápida ou lenta, se não for desenvolvida e aplicada a par com os valores mais básicos e simples da Humanidade, ensinados e postos em prática, de geração em geração.

6.1. Trabalhos Futuros

Existiriam, no contexto desta investigação, outras estratégias e propostas pelas quais se poderia ter optado — por exemplo, uma em que a produção alimentar na colónia fosse unicamente vegetariana durante mais tempo, ou mesmo durante a totalidade da simulação (caso isto se provasse nutritivamente saudável) — assim como outras questões passíveis de terem sido abordadas — por exemplo, o facto de não se ter calculado o volume da carga a transportar e apenas o peso (terrestre) da mesma.

Neste sentido, considera-se que trabalhos futuros no âmbito da presente investigação pudessem considerar a distribuição volumétrica pelos veículos de transporte da carga do tipo proposto, e, *inclusivamente*, o cálculo e respetivas implicações nas missões logísticas propostas do custo desta mesma carga que se averiguou ser necessário transportar (o que, como será evidente pela leitura do mesmo, não foi contabilizado para o trabalho efetuado). Considera-se, também, útil averiguar a opção deste custo ser colmatado (total ou parcialmente) através de patrocínios, juntamente com a análise de outras soluções de financiamento para as missões propostas (tendo algumas destas sido já referidas, anteriormente, neste documento), ou, ainda, que se avaliasse qualquer outro aspeto não aqui mencionado mas que se considerasse igualmente necessário à realização de uma missão de objetivos semelhantes à proposta.

Poderia, também, propor-se a investigação específica de espécies de crescimento rápido — como os cogumelos, ou, ainda, o bambú — e que poderiam servir, inclusivamente, para que se construísse, também a exemplo, mobília (no caso do bambú) a partir da matéria-prima cultivada, explorando-se alternativas adicionais às já referidas ao longo deste documento, dada a importância que se observou ao longo do mesmo da produção local de recursos e de matérias-primas. Inclusivamente, vimos autores defenderem (para o objetivo da obtenção destes recursos e matérias-primas) a hipótese da prática de atividades de mineração em asteróides de localização conveniente (próxima de Marte) ou do recebimento de recursos em Marte minerados noutros locais a partir de uma missão enviada da Terra (ou da Lua).

Considerou-se, ainda, que todos os 3 cenários propostos neste trabalho apresentam a desvantagem de permanecerem dependentes de sistemas “artificiais” (e dos riscos que isto acarreta) e, assim, acreditar-se que devesse ser investigada (*inclusive*, através de simulações), em todas as suas vertentes, a opção de um ambiente marciano terraformado, sendo este um investimento de benefícios futuros, possivelmente, incalculáveis. (Talvez fosse, inclusivamente, ainda, pertinente avaliar-se a hipótese de se proceder ao início de operações para a terraformação de Marte anteriores à chegada ao mesmo de seres humanos que se pretendesse habitarem-no.) Simulações detalhadas do processo da terraformação de Marte poderiam avaliar o impacto de diferentes tecnologias utilizadas, assim como da criação de cenários com diferentes durações para o alcance do objetivo em questão — possivelmente, avaliando-se, também, diretamente no seguimento desta investigação, os desafios, possibilidades e implicações logísticas destas atividades.

Considera-se, ainda, que, no contexto próximo da indústria e exploração espaciais até que se concretize, efetivamente, uma missão no âmbito da proposta neste trabalho, pudesse ser descoberto, entretanto, algum novo dado significativo o suficiente para dirigir o seguimento deste tipo de missões através de diferentes diretrizes e sugestões propostas atualmente na indústria e na literatura da mesma.

“A colonização de Marte está prestes a acontecer, muito mais cedo do que a maioria das pessoas imagina (...) O tempo de a pensarmos é agora.”

“The settlement of Mars is about to happen far sooner than most people realize (...) The time to think is now.” (Petranek, 2015, p.6)

Referências Bibliográficas

Bertalanffy, L. (2008). *Teoria Geral dos Sistemas* (5ª ed.). Rio de Janeiro. Editora Vozes.

Carvalho, J. C. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Lisboa. Edições Sílabo.

Center for Space Physics, da Universidade de Boston. (s.d.). *Planetary Atmospheres and Space Sciences Group: Frequently Asked Questions*. Bu.edu.html. Retrieved Agosto, 15, 2023, from <https://www.bu.edu/csp/PASS/science/venusfaq.html>.

Chang, K. (2023, Abril, 17). *Starship will transform SpaceX, and the entire business of spaceflight (if it works)*. Nytimes.com. Retrieved Setembro, 22, 2023, from <https://www.nytimes.com/live/2023/04/17/science/spacex-starship-launch>.

Charront, Y., Moss, R., Edwards, S., & Mavris, D. N. (2015). *Utilization of System Dynamics to Model a Self-Sustained Mars Surface Colony*. SPACE Conferences and Exposition 31 Aug-2 Sep 2015, Pasadena, Califórnia.

Countrymeters. (2023, Setembro, 08). *População de Portugal*. countrymeters.info. Retrieved Setembro, 08, 2023, from <https://countrymeters.info/pt/Portugal>.

Dinner, J. (2023, Maio, 30). *Who is Virgin Galactic and what do they do?*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/18993-virgin-galactic.html>.

Dunbar, B. (2018, Novembro, 16). *International Space Station: Destiny Laboratory Module Overview*. NASA.gov. Retrieved Agosto, 18, 2023, from https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/us-destiny-laboratory.

Dutfield, S., & Stein, V. (2022, Janeiro, 05). *Inspiration4: The first all-civilian spaceflight on SpaceX Dragon*. SPACE.com. Retrieved Julho, 07, 2023, from <https://www.space.com/inspiration4-spacex.html>.

ESA. (2022, Outubro, 05). *This is ESA*. ESA.int. Retrieved Novembro, 13, 2022, from https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/11/This_is_ESA.

Grogan, Paul, Howard Yue, and Olivier De Weck. "Space Logistics Modeling and Simulation Analysis using SpaceNet: Four Application Cases." In AIAA SPACE 2011 Conference & Exposition. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011. <https://doi.org/10.2514/6.2011-7346>.

Guinan, E., Engle, S., & Eglin, A. (2020). *How to Grow Vegetables on Mars*. Scientific American, A Division of Nature America, Inc.. Retrieved Julho, 02, 2023, from <https://blogs.scientificamerican.com/observations/how-to-grow-vegetables-on-mars/>.

Hasan, K., Masriadi, Muchlis, & Husna, A. (2022). *Digital Farming and Smart Farming from the Perspective of Agricultural Students at Malikussaleh University 2022*. 3rd Malikussaleh International Conference on Multidisciplinary Studies 2022 (3rd MICoMS 2022), Malikussaleh, Indonésia.

Heldmann, J. L., Marinova, M. M., Lim, D. S. S., Wilson, D., Carrato, P., Kennedy, K., Esbeck, A., Colaprete, T. A., Elphic, R. C., Captain, J., Zacny, K., Stolov, L., Mellerowicz, B., Palmowski, J., Bramson, A. M., Putzig, N., Morgan, G., Sizemore, H.,⁷ & Coyan, J. (2022, Setembro, 13). Mission Architecture Using the SpaceX Starship Vehicle to Enable a Sustained Human Presence on Mars. *New Space*, 10(3) 239-288. <https://doi.org/10.1089/space.2020.0058>.

Howell, E. (2013, Fevereiro, 05). *Mir Space Station: Testing Long-Term Stays in Space*. SPACE.com. Retrieved Julho, 05, 2023, from <https://www.space.com/19650-mir-space-station.html>.

Howell, E. (2018, Fevereiro, 22). *Facts About SpaceX's Falcon Heavy Rocket*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/39779-falcon-heavy-facts.html>.

Howell, E. (2019, Maio, 10). *Here's the Winner of NASA's 3D-Printed Mars Habitat Challenge*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/nasa-3d-printed-habitat-competition-winners.html>.

Howell, E. (2021a, Julho, 16). *Blue Origin: Quiet plans for spaceships*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/19584-blue-origin-quiet-plans-for-spaceships.html>.

Howell, E. (2021b, Dezembro, 03). *NASA awards \$415 million for private space stations amid ISS transition questions*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/nasa-private-space-station-design-contracts>.

Howell, E. (2022a, Março, 25). *8 ways that SpaceX has transformed spaceflight*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/ways-spacex-transformed-spaceflight>.

Howell, E. (2022b, Abril, 27). *Falcon 9: SpaceX's workhorse rocket*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/18962-spacex-falcon-9.html>.

Howell, E. (2023, Junho, 11). *International Space Station — Everything you need to know*. SPACE.com. Retrieved Julho, 05, 2023, from <https://www.space.com/16748-international-space-station.html>.

Juilleret, J., Certini, G., Scalenghe, R., & Dondeyne, S. (2018, Agosto, s.p.). *Beyond Earth: can we classify Martian soils with WRB?* [Apresentação em poster]. 21st World Congress of Soil Science, Rio.

Kasiviswanathan, P., Swanner, E. D., Halverson, L. J., & Vijayapalani, P. (2022). Farming on Mars: Treatment of basaltic regolith soil and briny water simulants sustains plant growth. *PLoS ONE* 17(8), 1-16. e0272209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272209>.

Kumar, R., Kumari, S., Chauhan, S., & Chaudhary, P. L. (2023, Maio). Zero-Budget Natural Farming. *JUST AGRICULTURE* 3(9), 309-314. https://www.researchgate.net/publication/370805309_Zero-Budget_Natural_Farming.

Kuthunur, S. (2023, Agosto, 23). *India on the moon! Chandrayaan-3 becomes 1st probe to land near lunar south pole*. SPACE.com. Retrieved Agosto, 30, 2023, from <https://www.space.com/india-chandrayaan-3-moon-landing-success>.

Lea, R. (2022, Agosto, 25). *Artemis 1 cubesats: The 10 tiny satellites hitching a NASA ride to the moon*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/nasa-artemis-1-moon-mission-cubesats>.

Lea, R., & Dobrijevic, D. (2022, Abril, 29). *Saturn V: The mighty U.S. moon rocket*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/saturn-v-rocket-guide-apollo>.

Manal A. Alamoudi, Rahma Doheim, Mohammed F.M. Mohammed (2022). Humanizing Being on Mars: A Martian Colony. *Civil Engineering and Architecture*, 10(3A), 19 - 26. DOI: 10.13189/cea.2022.101303.

Mann, A. (2020, Junho, 25). *The Apollo Program: How NASA sent astronauts to the moon*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/apollo-program-overview.html>.

Mann, A. (2021, Outubro, 25). *The Boeing Company: From rockets to commercial crew*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/the-boeing-company>.

Mann, A., & Harvey, A. (2022, Dezembro, 12). *NASA's Artemis program: Everything you need to know*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/artemis-program.html>.

Mars Space Flight Facility. (s.d.). *Mars-ePedia*. Mars Education. Retrieved Junho, 27, 2023, from <https://marsed.asu.edu/marsepedia>.

May, S. (2021). *Eating in Space*. Nasa.gov. Retrieved Junho, 27, 2023, from https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/ditl_eating.

Meyer, B. L. (2021a). *The Basics of Farming in Space*. SpaceFarms. Retrieved Julho, 03, 2023, from <https://www.combat-fishing.com/animationspace/TheBasicsofFarminginSpace26Apr2021red.pdf>.

Meyer, B. L. (2021b). *Space Farms, Terraforming, Closed Cycle Farming and Zero-g/microgravity farming.*. Space Farm, Terraforming, and Space Habitats Page. Retrieved Julho, 04, 2023, from <https://www.combat-fishing.com/animationspace/terraform.html#terraformwhatisel>.

Meyer, B. L. (2021c). *Terraforming: What is Earth-like?*. Space Farm, Terraforming, and Space Habitats Page. Retrieved Julho, 04, 2023, from <https://www.combat-fishing.com/animationspace/terraform.html#terraformwhatisel>.

Mishra, A. (2023, Abril). Carbon Farming. *Farm Chronicle*, 2(7), 8-10.

Morillo, I. M., Osorio, R. M. A., Molina, J. G., Barrio, A. L., Azpeitia, A. U., Rodríguez, P. A., Fornieles, L. C., Ramos, A. Q., Henares, M. A. M., & Urgel, M. E. (2022, Outubro). Regarding agriculture on Mars: Isolating and identifying chlorate resistant bacteria. *High School Students for Agricultural Science Research*, 11(2340-9746), 33-44.

Mukundan, A.; Patel, A.; Shastri, B.; Bhatt, H.; Phen, A.; Wang, H.-C. The Dvaraka Initiative: Mars's First Permanent Human Settlement Capable of Self-Sustenance. *Aerospace* 2023, 10, 265. <https://doi.org/10.3390/aerospace10030265>.

NASA. (2019, Janeiro, 29). *Phoenix Mars Lander*. Nasa.gov. Retrieved Junho, 27, 2023, from https://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/main/index.html.

NASA. (2020, Setembro). *Artemis Plan: NASA's Lunar Exploration Program Overview*. www.nasa.gov.

NASA. (s.d.a). *Mars Curiosity Rover*. NASA Science MARS EXPLORATION. Retrieved Junho, 21, 2023, from <https://mars.nasa.gov/msl/home/>.

NASA. (s.d.b). *MARS 2020 MISSION PERSEVERANCE ROVER*. NASA Science. Retrieved Junho, 21, 2023, from <https://mars.nasa.gov/mars2020/>.

NASA Jet Propulsion Laboratory [JPL]. (2015). *50 Years of Mars Exploration*. Youtube.com. Retrieved Junho, 25, 2023, from <https://www.youtube.com/watch?v=pwipxdQ74pU&t=244s>.

NeoScribe. (2019). *58 Years Of Mars Exploration In 14 Minutes*. Youtube.com. Retrieved Junho, 25, 2023, from <https://www.youtube.com/watch?v=wF1d75oY4Mw>.

Nortene. (s.d.). *Estufa para pátio ou jardim CEREAL Nortene*. Shop.nortene.es. Retrieved Setembro, 09, 2023, from <https://shop.nortene.es/pt/protecao-de-cultivos/estufas/estufa-para-patio-ou-jardim-cereal-nortene-8413246210997-709.html>.

Oliveira, I., Andrade, R., & Martins, A. (2006, Outubro/Dezembro). Influência do Tamanho-Peso da Semente na Precocidade de Emergência de Bacuripari (*Rheedia gardneriana*). *Revista Caatinga*, 19(4), ISSN 0100-316X.

Paiva, M. (2016). *Portugal e o Espaço*. Lisboa. Fundação Francisco Manuel dos Santos.

Palun, A., & Lascombes, P. (2022). Space logistics: achieving end-to-end mobility for space. *Astronautics*, 1(31), (s.p.). <https://room.eu.com/article/space-logistics-achieving-end-to-end-mobility-for-space>.

Petranek, S. (2007-2023a). *There's Plenty of Drinking Water on Mars*. BIG THINK. Retrieved Abril, 28, 2023, from <https://bigthink.com/videos/stephen-petranek-on-how-to-get-water-on-mars/>.

Petranek, S. (2007-2023b). *Why Don't We Have a Mars Colony Yet? Blame Nixon*. BIG THINK. Retrieved Abril, 28, 2023, from <https://bigthink.com/videos/stephen-petranek-on-werner-von-braun/>.

Petranek, S. (2015). *How We'll Live on Mars*. Nova Iorque. TED Books.

Petrovych, V. A. (2023, Março, 29-31). *Thermal properties of the surface of Mars.. VII International Scientific and Practical Conference*, Boston.

Peyrusson F (2021) Hydrogels Improve Plant Growth in Mars Analog Conditions. *Front. Astron. Space Sci.* 8:729278. doi: 10.3389/fspas.2021.729278.

Pultarova, T., Howell, E., Mann, A., & Dobrijevic, D. (2022, Novembro, 23). *Starlink satellites: Everything you need to know about the controversial internet megaconstellation*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html>.

PORDATA. (2023, Junho, 07). *Taxa bruta de natalidade: Quantos bebés nascem por 1.000 residentes?*. Fundação Francisco Manuel dos Santos. Retrieved Setembro, 08, 2023, from <https://www.pordata.pt/portugal/taxa+bruta+de+natalidade-527>.

PORDATA. (2023a, Maio, 16). *Óbitos de residentes em Portugal: total e por grupo etário: Quantas mortes há, por idades?*. Fundação Francisco Manuel dos Santos. Retrieved Setembro, 08, 2023, <https://www.pordata.pt/portugal/obitos+de+residentes+em+portugal+total+e+por+grupo+etario-3495>.

Rainey, K.. (2017). *Getting to the Root of the Problem in Space*. Nasa.gov. Retrieved Junho, 27, 2023, from https://www.nasa.gov/ission_pages/station/research/news/petri_plants.

Ranganathan, U., & Groot, S. P. C. (2023). Seed Longevity and Deterioration. In M. Dadlani, & D. K. Yadava (Eds.), *Seed Science and Technology* (pp.91-108). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_5.

Romio, F. (2022, Setembro, 18-22). *Mars Underground: a Landscape Strategy for Long Term Human Colonies on the Red Planet*. 73rd International Astronautical Congress (IAC), Paris.

Ruziev, A. (2023). Technological clearances in machines for mechanical processing of cotton seeds. *E3S Web of Conferences*, 383(TT21C-2023), 04062. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304062>.

s.a.. (s.d.). *What do astronauts eat in space?*. Royal Museums Greenwich. Retrieved Junho, 28, 2023, from <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/what-do-astronauts-eat-space>.

Shishko, R., Fradet, R., Saydam, S., Tapia-Cortez, C., Dempster, A. G., & Coulton, J. (2015, Agosto). *An Integrated Economics Model for ISRU in Support of a Mars Colony—Initial Status Report*. AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics) SPACE, Pasadena, CA. <https://doi.org/10.2514/6.2015-4564>.

Singh, R. J., Kumar, V., Tyagi, V., Roy, S., & Vallabhbai, S. (2023). *Natural Farming: Benefits of Mixed Cropping in Vegetable Farming*. National Conference on Agro - Ecology Based Agri - Food Transformation Systems, s.l..

Suresh, A., Harsha, S., Surya, K., Laha, D., Gaba, D., Bhardwaj, S., Teja, V., Bhambri, S., & Bhambri, S. (2017). Innovative Human Mars Mission with Vertical Farming.

Tate, K. (2021, Março, 17). *The International Space Station: Inside and Out (Infographic)*. SPACE.com. Retrieved Dezembro, 17, 2022, from <https://www.space.com/3-international-space-station.html>.

Tate, K. (2022, Abril, 29). *NASA's Mighty Saturn V Moon Rocket Explained (Infographic)*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/18422-apollo-saturn-v-moon-rocket-nasa-infographic.html>.

The Martian Garden. (s.d.). *The Martian Garden: Mars Regolith Simulant & Kits*. <https://www.themartiangarden.com>. Acedido a 2 de Junho de 2023.

Tillman, N. T. (2012, Julho, 26). *Salyut 1: The First Space Station*. SPACE.com. Retrieved Julho, 05, 2023, from <https://www.space.com/16773-first-space-station-salyut-1.html>.

Tillman, N. T., Dutfield, S., & Howell, E. (2022, Março, 16). *Space Launch System: NASA's megarocket for Artemis moon missions*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/33908-space-launch-system.html>.

University of Arkansas. (2023, Abril, 26). *New Findings Indicate Gene-Edited Rice Might Survive in Martian Soil*. University of Arkansas News. Retrieved Junho, 28, 2023, from <https://news.uark.edu/articles/64214/new-findings-indicate-gene-edited-rice-might-survive-in-martian-soil>.

Vance, A. (2016). *ELON MUSK: Fundador da PayPal, da Tesla e da SpaceX O Génio Que Está a Inventar o Nosso Futuro*. Nova Iorque. vogais.

Pombo, D. V. (2021). A Hybrid Power System for a Permanent Colony on Mars. *Space: Science & Technology*, 2021, 9820546. <https://doi.org/10.34133/2021/9820546>.

Vidmachenko, A. P. (2023, Maio). *Volcanoes of Mars*. XVIII International Science Conference «Theories of world science and technology implementation», Osaka, Japão. https://www.researchgate.net/publication/370602470_Volcanoes_of_Mars.

Volponi, M., Pisacreta, J., & Lobascio, C. (2016). Growing Plants from SEEDS on Mars for Supporting Human Exploration. *46th International Conference on Environmental Systems, ICES-2016-173, July 10-14, 2016, Viena, Áustria* (pp.1-13). s.e.. https://tu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/67575/ICES_2016_173.pdf?sequence=1.

Wall, M. (2015, Dezembro, 16). *Now Is the Time to Colonize Mars, Elon Musk Says*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/31388-elon-musk-colonize-mars-now.html>.

Wall, M. (2022, Janeiro, 17). *Axiom Space: Building the off-Earth economy*. SPACE.com. Retrieved Julho, 07, 2023, from <https://www.space.com/axiom-space>.

Wall, M., & Howell, E. (2022, Dezembro, 25). *Starship and Super Heavy: SpaceX's deep-space transportation for the moon and Mars*. SPACE.com. Retrieved Julho, 08, 2023, from <https://www.space.com/spacex-starship-super-heavy.html>.

Wamelink, G.W.W., Frissel, J.Y., Krijnen, W.H.J., & Verwoert, M.R. (2019). Crop growth and viability of seeds on Mars and Moon soil simulants. *Open Agriculture*, 4, 509-516. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0051>.

Weitering, H. (2016, Outubro, 11). *6 Private Deep Space Habitat Concepts That May Pave the Way to Mars*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/34357-private-deep-space-habitat-concepts-for-nasa.html>.

Weitering, H. (2019, Agosto, 15). *How SpaceX's Starship Will Help Establish a Mars Base*. SPACE.com. Retrieved Julho, 09, 2023, from <https://www.space.com/spacex-starship-mars-transportation-plans.html>.

Wikipédia. (2023, Agosto, 26). *List of astronauts by name*. en.wikipedia.org. Retrieved Setembro, 08, 2023, from https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_astronauts_by_name.

Xu, R., & Li, C. (2022). A modular agricultural robotic system (MARS) for precision farming: Concept and implementation. *Journal of Field Robotics*, 1–23. <https://doi.org/10.1002/rob.22056>.

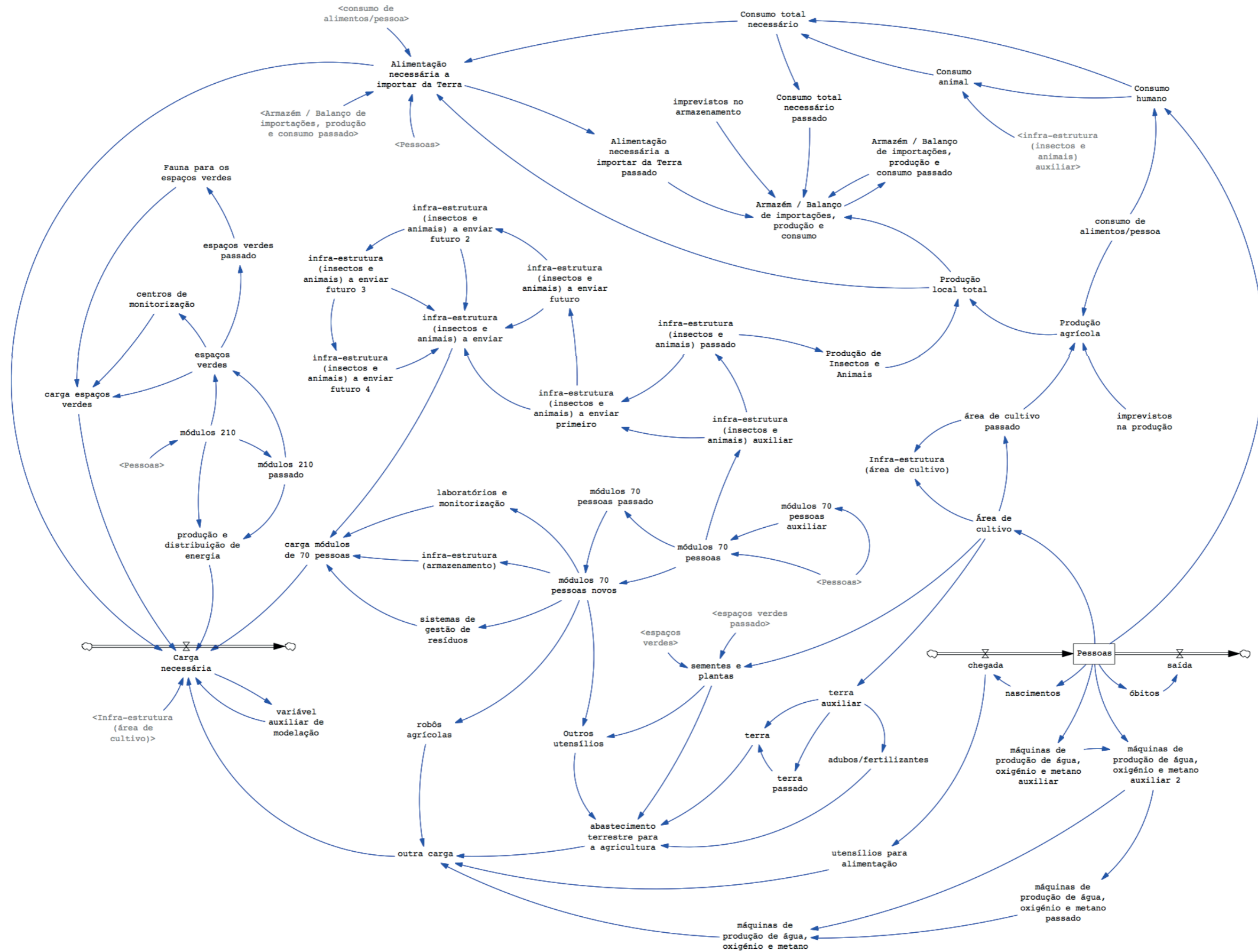
Yadav, A., & Yadav, A. (2022, Agosto). Space Farming. *Agriculture & Food: E-Newsletter*, 4(8), 151-153. <http://www.agrifoodmagazine.co.in/wp-content/uploads/2022/08/Volume-4-Issue-8-August-2022.pdf>.

Zhang, Y.; Richards, J.T.; Feiveson, A.H.; Richards, S.E.; Neelam, S.; Dreschel, T.W.; Plante, I.; Hada, M.; Wu, H.; Massa, G.D.; *et al.* Response of *Arabidopsis thaliana* and Mizuna Mustard Seeds to Simulated Space Radiation Exposures. *Life* 2022, 12, 144. <https://doi.org/10.3390/life12020144>.

Zirnov, S., Mardon, A., Johnson, P., & Johnson, J. (2022). Colonization of the Moon. 379-381.

Anexos

Anexo I — Modelo de Simulação no *software* Vensim das Necessidades do Empreendimento Agrícola Proposto — Cenários 1 e 2



Anexo II — Variáveis e Respetivas Unidades e Expressões de Cálculo do Modelo de Simulação no *software* Vensim — Cenário 1

- (01) abastecimento terrestre para a agricultura=
terra+sementes e plantas+"adubos/fertilizantes"+Outros utensílios
Units: Kg
- (02) "adubos/fertilizantes"=
0.05*terra auxiliar
Units: Kg
- (03) Alimentação necessária a importar da Terra=
STEP(17398.3*1.5,26)+STEP(17398.3*6,52)+STEP((Consumo total necessário-Produção local total
-"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado")+0.4
Pessoas"consumo de alimentos/pessoa"-17398.3*7.5,78)
Units: Kg
- (04) Alimentação necessária a importar da Terra passado=
DELAY FIXED(Alimentação necessária a importar da Terra,26,0)
Units: Kg
- (05) "Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado"=
DELAY FIXED("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo",
26,0)
Units: Kg
- (06) "Armazém / Balanço de importações, produção e consumo"=
(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra passado>0,Alimentação necessária a
importar da Terra passado
,0))+Produção local total+(IF THEN ELSE("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo
passado"
>0,"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado",0)
)*(1-imprevistos no armazenamento)-Consumo total necessário passado
Units: Kg
- (07) Área de cultivo=
100*Pessoas
Units: m2
- (08) área de cultivo passado=
DELAY FIXED(Área de cultivo,26,Área de cultivo)
Units: m2
- (09) carga espaços verdes=
centros de monitorização+espaços verdes+Fauna para os espaços verdes
Units: Kg
- (10) carga módulos de 70 pessoas=
"infra-estrutura (armazenamento)"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar"
+laboratórios e monitorização
+sistemas de gestão de resíduos
Units: Kg
- (11) Carga necessária=
(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra>0,Alimentação necessária a importar da
Terra
,0))+carga espaços verdes
+carga módulos de 70 pessoas+"Infra-estrutura (área de cultivo)"+"outra carga
+0*variável auxiliar de modelação+produção e distribuição de energia
) /1000
Units: Toneladas
- (12) centros de monitorização=
14515*(espaços verdes/133780)
Units: Kg
- (13) chegada=
nascimentos+0+STEP((10/26),0)+STEP(50/26,26)+STEP(50/26,52)+STEP(50/26,78
) +STEP(50/26,104)+STEP(50/26,130)+STEP((100/26),156)+STEP((100/26),182)+STEP
((100/26),208)+STEP((100/26),234)+STEP((100/26),260)+STEP((300/26),286)+STEP
((300/26),312)+STEP((300/26),338)+STEP((300/26),364)+STEP((300/26),390)+STEP
((600/26),416)+STEP((600/26),442)+STEP((600/26),468)+STEP((600/26),494)+STEP
((600/26),520)+STEP((1000/26),546)+STEP((1000/26),572)+STEP((1000/26),598)
+STEP((1000/26),624)+STEP((1000/26),650)+STEP((1500/26),676)+STEP((1500/26
,702)+STEP((1500/26),728)
Units: Pessoas

- (14) Consumo animal=
IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar">0,0.1*Consumo humano
,0)
Units: Kg
- (15) "consumo de alimentos/pessoa"=
2.2*365/12*26
Units: Kg
- (16) Consumo humano=
"consumo de alimentos/pessoa"*Pessoas
Units: Kg
- (17) Consumo total necessário=
Consumo humano+Consumo animal
Units: Kg
- (18) Consumo total necessário passado=
DELAY FIXED(Consumo total necessário,26,Consumo total necessário)
Units: Kg
- (19) espaços verdes=
STEP(133780,78)+STEP(0-133780,104)+STEP(133780*(módulos 210-módulos 210 passado
,208)
Units: Kg
- (20) espaços verdes passado=
DELAY FIXED(espaços verdes,52,espaços verdes)
Units: Kg
- (21) Fauna para os espaços verdes=
372*espaços verdes passado/133780
Units: Kg
- (22) FINAL TIME = 728
Units: Month
The final time for the simulation.
- (23) imprevistos na produção=
RANDOM WEIBULL(0,0.4,0.4,0,0.1,0)
Units: {%}
- (24) imprevistos no armazenamento=
RANDOM WEIBULL(0,0.2,0.2,0,0.1,0)
Units: {%}
- (25) "infra-estrutura (armazenamento)"=
39971.9*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg
- (26) "Infra-estrutura (área de cultivo)"=
133780/7000*(Área de cultivo-área de cultivo passado)
Units: Kg
- (27) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro",130,"infra-estrutura (insectos e
animais) a enviar futuro"
)
Units: Kg
- (28) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2")
Units: Kg
- (29) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 4"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3")
Units: Kg
- (30) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro")

- Units: Kg
- (31) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"=
IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais)
passado"
>0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"- "infra-estrutura (insectos e animais) passado"
) *6036,0)
Units: Kg
- (32) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar"=
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar
futuro"
+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2"
+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar
futuro 4"
Units: Kg
- (33) "infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"=
STEP(módulos 70 pessoas,208)
Units: módulos 70
- (34) "infra-estrutura (insectos e animais) passado"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar",26,"infra-estrutura (insectos e animais)
auxiliar"
)
Units: módulos 70
- (35) INITIAL TIME = 0
Units: Month
The initial time for the simulation.
- (36) laboratórios e monitorização=
24675.4*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg
- (37) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"=
IF THEN ELSE((Pessoas/100)<INTEGER(Pessoas/100),"máquinas de produção de água, oxigénio e
metano auxiliar"
+1,"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar")
Units: grupos de 100 pessoas
- (38) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar"=
INTEGER((Pessoas+1)/100)
Units: grupos de 100 pessoas
- (39) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado"=
DELAY FIXED("máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"
,26,"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2")
Units: grupos de 100 pessoas
- (40) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano"=
STEP(116622,0)+STEP(116622*("máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"
-"máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado"-1),52)
Units: Kg
- (41) módulos 210=
INTEGER(Pessoas/210)
Units: módulos 210
- (42) módulos 210 passado=
DELAY FIXED(módulos 210,26,módulos 210)
Units: módulos 210
- (43) módulos 70 pessoas=
IF THEN ELSE(Pessoas>módulos 70 pessoas auxiliar*70, módulos 70 pessoas auxiliar
+1, módulos 70 pessoas auxiliar)
Units: módulos 70
- (44) módulos 70 pessoas auxiliar=
INTEGER(Pessoas/70)
Units: módulos 70
- (45) módulos 70 pessoas novos=

- módulos 70 pessoas-módulos 70 pessoas passado
Units: módulos 70
- 11457*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg
- (46) módulos 70 pessoas passado=
DELAY FIXED(módulos 70 pessoas,26,módulos 70 pessoas)
Units: módulos 70
- (61) terra=
terra auxiliar-terra passado
Units: Kg
- (47) nascimentos=
INTEGER(0+STEP(((RANDOM UNIFORM(0,8,0))*Pessoas/1000)/26,52))
Units: Pessoas
- (62) terra auxiliar=
56*Área de cultivo
Units: Kg
- (48) outra carga=
abastecimento terrestre para a agricultura+"máquinas de produção de água, oxigénio e metano"
+robôs agrícolas+utensílios para alimentação
Units: Kg
- (63) terra passado=
DELAY FIXED(terra auxiliar,26,terra auxiliar)
Units: Kg
- (49) Outros utensílios=
(1.5*sementes e plantas/20+(10*0.2+20)*(módulos 70 pessoas novos))*1.05
Units: Kg
- (64) TIME STEP = 1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.
- (50) óbitos=
INTEGER((RANDOM UNIFORM(0,11,0))*Pessoas/1000/26)
Units: Pessoas
- (65) utensílios para alimentação=
0.5*chegada
Units: Kg
- (51) Pessoas= INTEG (
chegada-saída,
0)
Units: Pessoas
- (66) variável auxiliar de modelação=
DELAY FIXED(Carga necessária,26,0)
Units: Kg
- (52) Produção agrícola=
(1.1-imprevistos na produção)*(área de cultivo passado/100)*("consumo de alimentos/pessoa"
)
Units: Kg
- (53) Produção de Insectos e Animais=
0.2*"infra-estrutura (insectos e animais) passado"*372
Units: Kg
- (54) produção e distribuição de energia=
STEP(430500,0)+STEP((645750*módulos 210-módulos 210 passado)-430500,26)
Units: Kg
- (55) Produção local total=
Produção de Insectos e Animais+Produção agrícola
Units: Kg
- (56) robôs agrícolas=
STEP(3937*módulos 70 pessoas novos,130)
Units: Kg
- (57) saída=
óbitos+0+STEP((10/26),26)+STEP((50/26),52)+STEP((40/26),78)+STEP((60/26)
,104)+STEP((50/26),130)+STEP((40/26),156)+STEP((110/26),182)+STEP((100/26)
,208)+STEP((80/26),234)+STEP((120/26),260)+STEP((100/26),286)+STEP((260/26)
,312)+STEP((340/26),338)+
STEP((300/26),364)+STEP((220/26),390)+STEP((380/26),416)+STEP((600/26),442
) +STEP((440/26),468)+STEP((760/26),494)+STEP((
600/26),520)+STEP((280/26),546)+STEP((1320/26),572)+STEP((1000/26),598)+STEP
((360/26),624)+STEP((1640/26),650)+STEP((1000
/26),676)+STEP((220/26),702)
Units: Pessoas
- (58) SAVEPER = 26
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (59) sementes e plantas=
STEP(9.88*Área de cultivo+0.5*(espaços verdes-espaços verdes passado)/
133780*7000,0)+STEP(((9.88*0.6+(9.88*2+56)*0.4)-9.88)*Área de cultivo+0.5
*(espaços verdes-espaços verdes passado)/133780*7000,182)
Units: Kg
- (60) sistemas de gestão de resíduos=

Anexo III — Variáveis e Respetivas Unidades e Expressões de Cálculo do Modelo de Simulação no *software* Vensim — Cenário 2

(01) abastecimento terrestre para a agricultura=
terra+sementes e plantas+"adubos/fertilizantes"+Outros utensílios
Units: Kg

(02) "adubos/fertilizantes"=
0.05*terra auxiliar
Units: Kg

(03) Alimentação necessária a importar da Terra=
STEP(17398.3*1.5,26)+STEP(17398.3*8,52)+STEP((Consumo total necessário-Produção local total
-"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado")+0.6
Pessoas"consumo de alimentos/pessoa"-17398.3*9.5,78)
Units: Kg

(04) Alimentação necessária a importar da Terra passado=
DELAY FIXED(Alimentação necessária a importar da Terra,26,0)
Units: Kg

(05) "Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado"=
DELAY FIXED("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo",
26,0)
Units: Kg

(06) "Armazém / Balanço de importações, produção e consumo"=
(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra passado>0,Alimentação necessária a
importar da Terra passado
,0))+Produção local total+(IF THEN ELSE("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo
passado"
>0,"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado",0)
)*(1-imprevistos no armazenamento)-Consumo total necessário passado
Units: Kg

(07) Área de cultivo=
50*Pessoas
Units: m2

(08) área de cultivo passado=
DELAY FIXED(Área de cultivo,26,Área de cultivo)
Units: m2

(09) carga espaços verdes=
centros de monitorização+espaços verdes+Fauna para os espaços verdes
Units: Kg

(10) carga módulos de 70 pessoas=
"infra-estrutura (armazenamento)"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar"
+laboratórios e monitorização
+sistemas de gestão de resíduos
Units: Kg

(11) Carga necessária=
(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra>0,Alimentação necessária a importar da
Terra
,0))+carga espaços verdes+carga módulos de 70 pessoas+"Infra-estrutura (área de cultivo)"
+outra carga+0*variável auxiliar de modelação+produção e distribuição de energia
)1000
Units: Toneladas

(12) centros de monitorização=
14515*(espaços verdes/133780)
Units: Kg

(13) chegada=
nascimentos+0+STEP((10/26),0)+STEP(50/26,26)+STEP(50/26,52)+STEP(50/26,78
) +STEP(50/26,104)+STEP(50/26,130)+STEP((100/26),156)+STEP((100/26),182)+STEP
((100/26),208)+STEP((100/26),234)+STEP((100/26),260)+STEP((300/26),286)+STEP
((300/26),312)+STEP((300/26),338)+STEP((300/26),364)+STEP((300/26),390)+STEP
((600/26),416)+STEP((600/26),442)+STEP((600/26),468)+STEP((600/26),494)+STEP
((600/26),520)+STEP((1000/26),546)+STEP((1000/26),572)+STEP((1000/26),598)
+STEP((1000/26),624)+STEP((1000/26),650)+STEP((1500/26),676)+STEP((1500/26
,702)+STEP((1500/26),728)
Units: Pessoas

(14) Consumo animal=
IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar">0,0.1*Consumo humano
,0)
Units: Kg

(15) "consumo de alimentos/pessoa"=
2.2*365/12*26
Units: Kg

(16) Consumo humano=
"consumo de alimentos/pessoa"*Pessoas
Units: Kg

(17) Consumo total necessário=
Consumo humano+Consumo animal
Units: Kg

(18) Consumo total necessário passado=
DELAY FIXED(Consumo total necessário,26,Consumo total necessário)
Units: Kg

(19) espaços verdes=
STEP(133780,78)+STEP(0-133780,104)+STEP(133780*(módulos 210-módulos 210 passado
,208)
Units: Kg

(20) espaços verdes passado=
DELAY FIXED(espaços verdes,52,espaços verdes)
Units: Kg

(21) Fauna para os espaços verdes=
372*espaços verdes passado/133780
Units: Kg

(22) FINAL TIME = 728
Units: Month
The final time for the simulation.

(23) imprevistos na produção=
RANDOM WEIBULL(0,0.4,0.4,0,0.1,0)
Units: {%}

(24) imprevistos no armazenamento=
RANDOM WEIBULL(0,0.2,0.2,0,0.1,0)
Units: {%}

(25) "infra-estrutura (armazenamento)"=
39589.4*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg

(26) "Infra-estrutura (área de cultivo)"=
73579/7000*(Área de cultivo-área de cultivo passado)
Units: Kg

(27) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro",130,"infra-estrutura (insectos e
animais) a enviar futuro"
)
Units: Kg

(28) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2")
Units: Kg

(29) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 4"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3")
Units: Kg

(30) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro")

Units: Kg

(31) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"=
IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"-
"infra-estrutura (insectos e animais) passado"
>0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"-
"infra-estrutura (insectos e animais) passado"
)*3319.8,0)
Units: Kg

(32) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar"=
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar
futuro"
+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2"
+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar
futuro 4"
Units: Kg

(33) "infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"=
STEP(módulos 70 pessoas,208)
Units: módulos 70

(34) "infra-estrutura (insectos e animais) passado"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar",26,"infra-estrutura (insectos e animais)
auxiliar"
)
Units: módulos 70

(35) INITIAL TIME = 0
Units: Month
The initial time for the simulation.

(36) laboratórios e monitorização=
24675.4*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg

(37) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"=
IF THEN ELSE((Pessoas/100)<INTEGER(Pessoas/100),"máquinas de produção de água, oxigénio e
metano auxiliar"
+1,"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar")
Units: grupos de 100 pessoas

(38) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar"=
INTEGER((Pessoas+1)/100)
Units: grupos de 100 pessoas

(39) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado"=
DELAY FIXED("máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"
,26,"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2")
Units: grupos de 100 pessoas

(40) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano"=
STEP(116622,0)+STEP(116622*(
"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"
-"máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado"-1),52)
Units: Kg

(41) módulos 210=
INTEGER(Pessoas/210)
Units: módulos 210

(42) módulos 210 passado=
DELAY FIXED(módulos 210,26,módulos 210)
Units: módulos 210

(43) módulos 70 pessoas=
IF THEN ELSE(Pessoas>módulos 70 pessoas auxiliar*70, módulos 70 pessoas auxiliar
+1, módulos 70 pessoas auxiliar)
Units: módulos 70

(44) módulos 70 pessoas auxiliar=
INTEGER(Pessoas/70)
Units: módulos 70

(45) módulos 70 pessoas novos=

- módulos 70 pessoas-módulos 70 pessoas passado
Units: módulos 70
- (46) módulos 70 pessoas passado=
DELAY FIXED(módulos 70 pessoas,26,módulos 70 pessoas)
Units: módulos 70
- (47) nascimentos=
INTEGER(0+STEP(((RANDOM UNIFORM(0,8,0))*Pessoas/1000)/26,52))
Units: Pessoas
- (48) outra carga=
abastecimento terrestre para a agricultura+"máquinas de produção de água, oxigénio e metano"
+robôs agrícolas+utensílios para alimentação
Units: Kg
- (49) Outros utensílios=
(1.5*sementes e plantas/20+(10*0.2+20)*(módulos 70 pessoas novos))*1.05
Units: Kg
- (50) óbitos=
INTEGER((RANDOM UNIFORM(0,11,0))*Pessoas/1000/26)
Units: Pessoas
- (51) Pessoas= INTEG (chegada-saída,
0)
Units: Pessoas
- (52) Produção agrícola=
(1.1-imprevistos na produção)*(área de cultivo passado/100)*("consumo de alimentos/pessoa"
)
Units: Kg
- (53) Produção de Insectos e Animais=
0.2*"infra-estrutura (insectos e animais) passado"*204.6
Units: Kg
- (54) produção e distribuição de energia=
(STEP(430500,0)+STEP((645750*módulos 210-módulos 210 passado)-430500,26
Units: Kg
- (55) Produção local total=
Produção de Insectos e Animais+Produção agrícola
Units: Kg
- (56) robôs agrícolas=
STEP(1968.5*módulos 70 pessoas novos,130)
Units: Kg
- (57) saída=
óbitos+0+STEP((10/26),26)+STEP((50/26),52)+STEP((40/26),78)+STEP((60/26)
,104)+STEP((50/26),130)+STEP((40/26),156)+STEP((110/26),182)+STEP((100/26)
,208)+STEP((80/26),234)+STEP((120/26),260)+STEP((100/26),286)+STEP((260/26)
,312)+STEP((340/26),338)+
STEP((300/26),364)+STEP((220/26),390)+STEP((380/26),416)+STEP((600/26),442
) +STEP((440/26),468)+STEP((760/26),494)+STEP((
600/26),520)+STEP((280/26),546)+STEP((1320/26),572)+STEP((1000/26),598)+STEP
((360/26),624)+STEP((1640/26),650)+STEP((1000
/26),676)+STEP((220/26),702)
Units: Pessoas
- (58) SAVEPER = 26
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (59) sementes e plantas=
STEP(9.88*Área de cultivo+0.5*(espaços verdes-espaços verdes passado)/
133780*7000,0)+STEP(((9.88*0.6+(9.88*2+56)*0.4)-9.88)*Área de cultivo+0.5
*(espaços verdes-espaços verdes passado)/133780*7000,182)
Units: Kg
- (60) sistemas de gestão de resíduos=
11457*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg
- (61) terra=
terra auxiliar-terra passado
Units: Kg
- (62) terra auxiliar=
56*Área de cultivo
Units: Kg
- (63) terra passado=
DELAY FIXED(terra auxiliar,26,terra auxiliar)
Units: Kg
- (64) TIME STEP = 1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.
- (65) utensílios para alimentação=
0.5*chegada
Units: Kg
- (66) variável auxiliar de modelação=
DELAY FIXED(Carga necessária,26,0)
Units: Kg

Anexo V — Variáveis e Respetivas Unidades e Expressões de Cálculo do Modelo de Simulação no *software* Vensim — Cenário 3

- (01) abastecimento terrestre para a agricultura=
terra+sementes e plantas+"adubos/fertilizantes"+Outros utensílios
Units: Kg
- (02) Adição de área após uma maior sustentabilidade do empreendimento=
STEP(50,286)
Units: m2
- (03) "adubos/fertilizantes"=
0.05*terra auxiliar
Units: Kg
- (04) Alimentação necessária a importar da Terra=
STEP(17398.3*1.5,26)+STEP(17398.3*8,52)+STEP((Consumo total necessário-Produção local total
-IF THEN ELSE("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado"
>0,"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado",0)
)+0.6*Pessoas*"consumo de alimentos/pessoa"-17398.3*9.5,78)+STEP(-0.2*Pessoas
*"consumo de alimentos/pessoa",312)
Units: Kg
- (05) Alimentação necessária a importar da Terra passado=
DELAY FIXED(Alimentação necessária a importar da Terra,26,0)
Units: Kg
- (06) "Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado"=
DELAY FIXED("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo",
26,0)
Units: Kg
- (07) "Armazém / Balanço de importações, produção e consumo"=
(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra passado>0,Alimentação necessária a
importar da Terra passado
,0))+Produção local total+(IF THEN ELSE("Armazém / Balanço de importações, produção e consumo
passado"
>0,"Armazém / Balanço de importações, produção e consumo passado",0)
)*(1-imprevistos no armazenamento)-Consumo total necessário passado
Units: Kg
- (08) Área de cultivo=
(50+Adição de área após uma maior sustentabilidade do empreendimento)
*Pessoas+Duplicação da área de cultivo
Units: m2
- (09) área de cultivo passado=
DELAY FIXED(Área de cultivo,26,Área de cultivo)
Units: m2
- (10) carga espaços verdes=
centros de monitorização+espaços verdes+Fauna para os espaços verdes
Units: Kg
- (11) carga módulos de 70 pessoas=
"infra-estrutura (armazenamento)"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar"
+laboratórios e monitorização
+sistemas de gestão de resíduos
Units: Kg
- (12) Carga necessária=
(IF THEN ELSE(Alimentação necessária a importar da Terra>0,Alimentação necessária a importar da
Terra
,0))+carga espaços verdes
+carga módulos de 70 pessoas+"Infra-estrutura (área de cultivo)"+"outra carga
+0*variável auxiliar de modelação+produção e distribuição de energia
)/1000
Units: Toneladas
- (13) centros de monitorização=
14515*(espaços verdes/133780)
Units: Kg
- (14) chegada=
nascimentos+0+STEP((10/26),0)+STEP(50/26,26)+STEP(50/26,52)+STEP(50/26,78
) +STEP(50/26,104)+STEP(50/26,130)+STEP((100/26),156)+STEP((100/26),182)+STEP
- ((100/26),208)+STEP((100/26),234)+STEP((100/26),260)+STEP((300/26),286)+STEP
((300/26),312)+STEP((300/26),338)+STEP((300/26),364)+STEP((300/26),390)+STEP
((600/26),416)+STEP((600/26),442)+STEP((600/26),468)+STEP((600/26),494)+STEP
((600/26),520)+STEP((1000/26),546)+STEP((1000/26),572)+STEP((1000/26),598)
+STEP((1000/26),624)+STEP((1000/26),650)+STEP((1500/26),676)+STEP((1500/26
,702)+STEP((1500/26),728)
Units: Pessoas
- (15) Consumo animal=
IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar">0,0.1*Consumo humano
,0)
Units: Kg
- (16) "consumo de alimentos/pessoa"=
2.2*365/12*26
Units: Kg
- (17) Consumo humano=
"consumo de alimentos/pessoa"*Pessoas
Units: Kg
- (18) Consumo total necessário=
Consumo humano+Consumo animal
Units: Kg
- (19) Consumo total necessário passado=
DELAY FIXED(Consumo total necessário,26,Consumo total necessário)
Units: Kg
- (20) Duplicação da área de cultivo=
STEP(29000/3,260)+STEP(-29000/3,338)
Units: m2
- (21) espaços verdes=
STEP(133780,78)+STEP(0-133780,104)+STEP(133780*(módulos 210-módulos 210 passado
,208)
Units: Kg
- (22) espaços verdes passado=
DELAY FIXED(espaços verdes,52,espaços verdes)
Units: Kg
- (23) Fauna para os espaços verdes=
372*espaços verdes passado/133780
Units: Kg
- (24) FINAL TIME = 728
Units: Month
The final time for the simulation.
- (25) imprevistos na produção=
RANDOM WEIBULL(0,0.4,0.4,0,0.1,0)
Units: {%}
- (26) imprevistos no armazenamento=
RANDOM WEIBULL(0,0.2,0.2,0,0.1,0)
Units: {%}
- (27) "infra-estrutura (armazenamento)"=
39971.9*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg
- (28) "Infra-estrutura (área de cultivo)"=
STEP(73579/7000*(Área de cultivo-área de cultivo passado-Duplicação da área de cultivo
,0)+STEP(60201/7000*Duplicação da área de cultivo
,260)+STEP(60201/7000*(Área de cultivo-área de cultivo passado-Duplicação da área de cultivo
,286)
Units: Kg
- (29) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro",130,"infra-estrutura (insectos e
animais) a enviar futuro"
)
- Units: Kg
- (30) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2")
Units: Kg
- (31) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 4"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3")
Units: Kg
- (32) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro",130,
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro")
Units: Kg
- (33) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"=
STEP(IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"-
"infra-estrutura (insectos e animais) passado"
-Duplicação da área de cultivo
/50/580>0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"-
"infra-estrutura (insectos e animais) passado"
-Duplicação da área de cultivo
/50/580)*3319.8,0)+STEP(Duplicação da área de cultivo/50/580*2716.2
,260)+STEP(IF THEN ELSE("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"
-"infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo
/50/580>0,("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"
-"infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo
/50/580)*2716.2,0),286)
Units: Kg
- (34) "infra-estrutura (insectos e animais) a enviar"=
"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar primeiro"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar
futuro"
+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 2"
+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar futuro 3"+"infra-estrutura (insectos e animais) a enviar
futuro 4"
Units: Kg
- (35) "infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar"=
STEP(módulos 70 pessoas,208)
Units: módulos 70
- (36) "infra-estrutura (insectos e animais) passado"=
DELAY FIXED("infra-estrutura (insectos e animais) auxiliar",26,"infra-estrutura (insectos e animais)
auxiliar"
)
Units: módulos 70
- (37) INITIAL TIME = 0
Units: Month
The initial time for the simulation.
- (38) laboratórios e monitorização=
24675.4*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg
- (39) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"=
IF THEN ELSE((Pessoas/100)<INTEGER(Pessoas/100),"máquinas de produção de água, oxigénio e
metano auxiliar"
+1,"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar")
Units: grupos de 100 pessoas
- (40) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar"=
INTEGER((Pessoas+1)/100)
Units: grupos de 100 pessoas
- (41) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado"=
DELAY FIXED("máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"
,26,"máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2")
Units: grupos de 100 pessoas
- (42) "máquinas de produção de água, oxigénio e metano"=

STEP(116622,0)+STEP(116622*("máquinas de produção de água, oxigénio e metano auxiliar 2"
-"máquinas de produção de água, oxigénio e metano passado"-1),52)
Units: Kg

(43) módulos 210=
INTEGER(Pessoas/210)
Units: módulos 210

(44) módulos 210 passado=
DELAY FIXED(módulos 210,26,módulos 210)
Units: módulos 210

(45) módulos 70 pessoas=
IF THEN ELSE(Pessoas>módulos 70 pessoas auxiliar*70, módulos 70 pessoas auxiliar
+1, módulos 70 pessoas auxiliar)
Units: módulos 70

(46) módulos 70 pessoas auxiliar=
INTEGER(Pessoas/70)
Units: módulos 70

(47) módulos 70 pessoas novos=
módulos 70 pessoas-módulos 70 pessoas passado
Units: módulos 70

(48) módulos 70 pessoas passado=
DELAY FIXED(módulos 70 pessoas,26,módulos 70 pessoas)
Units: módulos 70

(49) nascimentos=
INTEGER(0+STEP(((RANDOM UNIFORM(0,8,0))*Pessoas/1000)/26,52))
Units: Pessoas

(50) outra carga=
abastecimento terrestre para a agricultura+"máquinas de produção de água, oxigénio e metano"
+robôs agrícolas+utensílios para alimentação
Units: Kg

(51) Outros utensílios=
(1.5*sementes e plantas/20+(10*0.2+20)*(módulos 70 pessoas novos))*1.05
Units: Kg

(52) óbitos=
INTEGER((RANDOM UNIFORM(0,11,0))*Pessoas/1000/26)
Units: Pessoas

(53) Pessoas= INTEG (
chegada-saída,
0)
Units: Pessoas

(54) Produção agrícola=
(1.1-imprevistos na produção)*(área de cultivo passado/100)*("consumo de alimentos/pessoa"
)
Units: Kg

(55) Produção de Insectos e Animais=
STEP(0.2*("infra-estrutura (insectos e animais) passado"-Duplicação da área de cultivo
/50/580)*204.6,0)+STEP(0.2*Duplicação da área de cultivo
/50/580*167.4,260)+STEP(0.2*("infra-estrutura (insectos e animais) passado"
-Duplicação da área de cultivo/50/580)*167.4
,286)
Units: Kg

(56) produção e distribuição de energia=
STEP(430500,0)+STEP((645750*módulos 210-módulos 210 passado)-430500,26)
Units: Kg

(57) Produção local total=
Produção de Insectos e Animais+Produção agrícola
Units: Kg

(58) robôs agrícolas=

STEP(1968.5*(módulos 70 pessoas novos+Duplicação da área de cultivo/50
/580),130)+STEP(1968.5*módulos 70 pessoas novos
,286)
Units: Kg

(59) saída=
óbitos+0+STEP((10/26),26)+STEP((50/26),52)+STEP((40/26),78)+STEP((60/26)
,104)+STEP((50/26),130)+STEP((40/26),156)+STEP((110/26),182)+STEP((100/26)
,208)+STEP((80/26),234)+STEP((120/26),260)+STEP((100/26),286)+STEP((260/26
,312)+STEP((340/26),338)+
STEP((300/26),364)+STEP((220/26),390)+STEP((380/26),416)+STEP((600/26),442
) +STEP((440/26),468)+STEP((760/26),494)+STEP((
600/26),520)+STEP((280/26),546)+STEP((1320/26),572)+STEP((1000/26),598)+STEP
((360/26),624)+STEP((1640/26),650)+STEP((1000
/26),676)+STEP((220/26),702)
Units: Pessoas

(60) SAVEPER = 26
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.

(61) sementes e plantas=
STEP(9.88*Área de cultivo+0.5*(espaços verdes-espaços verdes passado)/
133780*7000,0)+STEP(((9.88*0.6+(9.88*2+56)*0.4)-9.88)*Área de cultivo+0.5
*(espaços verdes-espaços verdes passado)/133780*7000,182)
Units: Kg

(62) sistemas de gestão de resíduos=
11457*(módulos 70 pessoas novos)
Units: Kg

(63) terra=
terra auxiliar-terra passado
Units: Kg

(64) terra auxiliar=
56*Área de cultivo
Units: Kg

(65) terra passado=
DELAY FIXED(terra auxiliar,26,terra auxiliar)
Units: Kg

(66) TIME STEP = 1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.

(67) utensílios para alimentação=
0.5*chegada
Units: Kg

(68) variável auxiliar de modelação=
DELAY FIXED(Carga necessária,26,0)
Units: Kg