



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

Avaliação da Auto-Suficiência Energética na Indústria Nacional Arrozeira

DIOGO VICENTE FERNANDES DOS SANTOS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Prof. Eng.º Eduardo Manuel Dias Lopes
Prof.^a Doutora Isabel Simões de Carvalho

Janeiro 2014

“Aqui... Onde a terra se acaba e o mar começa...”

Luís Vaz de Camões

Dedico este trabalho a todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa por todos os seus ensinamentos que foram preponderantes para o meu enriquecimento técnico e humano.

Diogo Vicente

Resumo

A presente dissertação tem como objectivo o estudo das opções de utilização de um sub-produto gerado na indústria nacional arroseira: a casca de arroz. A disponibilidade deste tipo de biomassa neste sector industrial e a reconhecida urgência de medidas que reduzam a elevada dependência de fontes não endógenas justificam o estudo das diversas possibilidades de exploração deste biocombustível para geração de calor e energia eléctrica.

Analysaram-se, assim, diversas soluções: centrais termoeléctricas convencionais ou de cogeração (TV, TG e MCI) com capacidades entre 1,5 e 3 MW para produção isolada ou combinada de electricidade e calor; queimadores a *pellets*, gás de síntese ou bio óleo, com potências da ordem dos 1,5 MW para produção isolada de calor.

Os resultados evidenciam que as soluções apresentadas para produção isolada e combinada de energia eléctrica e calor apenas são exequíveis nas fábricas correspondentes a uma das tipologias estudadas. A produção isolada de energia eléctrica é rentável para sistemas com MCI, permitindo alcançar uma redução dos encargos com electricidade na ordem dos 1,3 M€. A produção combinada de energia eléctrica e calor é rentável para sistemas de cogeração com MCI e TV, resultando numa redução dos custos com energia na ordem dos 7,2 M€ e 4,4 M€, respectivamente. Como alternativa a estas soluções de produção combinada de energia constatou-se que a implementação de um sistema com MCI e um queimador a *pellets* para produção de electricidade e calor, respectivamente, permitem alcançar uma redução dos encargos com energia na ordem dos 6,4 M€. Das soluções apresentadas para produção isolada de calor constatou-se que a combustão directa de *pellets* é rentável em qualquer fábrica que recorra a calor, resultando numa redução dos encargos com gasóleo e gás natural na ordem dos 1,8 M€.

Palavras-chave: Biomassa, Casca de arroz, Energia eléctrica e calor, Indústria Arroseira, Vantagens económicas

Abstract

This work aims to study the options for the use of a byproduct generated in Portuguese rice industry: rice husk. The availability of this type of biomass in this industrial sector and the recognized urgency of measures to reduce the high dependence on non-indigenous sources justify the study of different strategies for exploiting this biofuel to generate heat and electricity.

Thus several solutions were analyzed: conventional or CHP plants (ST, GT and RE) with capacities between 1,5 and 3 MW for single or combined heat and power production; pellets, bio oil or syngas burners with capacities around 1,5MW for single heat production.

The results show that the presented solutions for single and combined production of heat and electricity are only feasible in a group of plants studied. The single electricity production is profitable for systems with RE, resulting in decreased of electricity costs around 1,3 M€. Combined heat and electricity production is profitable for systems with RE and ST, resulting in decreased of energy costs around 7,2 M€ and 4,4 M€, respectively. As an alternative to these solutions for combined energy production, it was found that the implementation of a system with RE and pellets burner for electricity and heat production, respectively, allow achieving a decreasing in energy costs around 6,4 M€. Of the presented solutions for single heat production, it is verified that the direct combustion of pellets is profitable in any factory that requires heat to the process, resulting in decreased of diesel and natural gas costs around 1.8 M €.

Keywords: Biomass, Economic advantages, Electricity and heat, Rice industry, Rice husk

Agradecimentos

A elaboração da dissertação em epígrafe foi de minha autoria, no entanto a sua execução jamais seria possível sem a colaboração de algumas pessoas que merecem os meus sinceros e profundos agradecimentos.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha família, amigos e namorada por darem cor ao meu dia-a-dia.

Em segundo lugar, das inúmeras visitas que efectuei às diversas empresas, tenho de agradecer a todos os industriais de arroz que de uma forma geral partilharam comigo algum do muito conhecimento técnico que têm, resultado de largos anos de experiência nesta área.

Em terceiro lugar quero agradecer ao Doutor Miran Vrhovac, investigador do ISQ, por ter sido uma pessoa extraordinária que conheci durante o período que efectuei o estágio, tendo sido sempre bastante prestável no apoio dado ao longo da elaboração da presente dissertação.

Em quarto lugar quero agradecer à Professora Doutora Isabel Simões de Carvalho por ter cumprido na íntegra o seu papel de co-orientadora. Um muito obrigado por toda a simpatia, dedicação, pontualidade, paciência e ajuda técnica na elaboração desta dissertação.

Por fim, expresso o meu maior agradecimento ao Engenheiro Eduardo Dias Lopes por diversos motivos, mas fundamentalmente por valorizar-me enquanto profissional de engenharia e ser humano.

Índice

Resumo	vii
Abstract	ix
Agradecimentos	xi
Índice	xiii
Índice de Figuras.....	xix
Índice de Tabelas	xxv
Nomenclatura.....	xxix
Abreviaturas.....	xxxii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	4
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. Retrato da Produção, Comercialização e Consumo de arroz.....	7
2.1. O arroz no Mundo.....	7
2.2. O arroz na Europa	9
2.3. O arroz em Portugal	12

2.3.1. Produção, Produtividade e Área cultivada de arroz.....	12
2.3.2. Funcionamento do mercado arrozeiro nacional.....	14
2.3.3. Factores que afectam a taxa de importação e exportação de arroz.....	15
3. Caracterização do Processo de Transformação do Arroz	17
3.1. Fase de preparação da matéria-prima	19
3.1.1. Processo de transporte do arroz	19
3.1.2. Pesagem e controlo da qualidade do produto adquirido.....	20
3.1.3. Pré-limpeza do produto adquirido	21
3.1.4. Processo de secagem.....	24
3.1.5. Armazenamento da matéria-prima.....	26
3.2. Fase de processamento da matéria-prima	28
3.2.1. Limpeza do arroz paddy	28
3.2.2. Processo de vaporização	30
3.2.3. Descasque do arroz	33
3.2.4. Separação dos produtos de descasque	34
3.2.5. Branqueamento do arroz em película	37
3.2.6. Classificação do grão	39
3.2.7. Polimento do arroz branqueado	41
3.3. Fase de armazenagem	42
3.4. Balanço mássico na indústria nacional arrozeira.....	43
3.5. Balanço energético na indústria arrozeira nacional	45
4. Aproveitamento Energético dos Subprodutos Gerados no Processamento do Arroz. 49	
4.1. Processos de conversão energética da casca de arroz.....	50
4.1.1. Densificação.....	50

4.1.2. Gaseificação.....	54
4.1.3. Pirólise.....	63
4.2. Problemas técnicos e operacionais na exploração de cascas de arroz.....	67
4.2.1. Procedimentos necessários nos equipamentos de conversão energética.....	67
4.2.2. Procedimentos necessários na combustão de pellets de casca de arroz	68
4.3. Aplicação das cascas de arroz na indústria nacional arroseira.....	69
4.3.1. Aplicação das cascas de arroz para geração de calor	69
4.3.2. Aplicação das cascas de arroz no processo de geração de energia eléctrica e calor	70
5. Análise e Discussão dos Resultados Obtidos	79
5.1. Determinação experimental do poder calorífico inferior das cascas de arroz geradas na indústria arroseira nacional	81
5.2. Análise da viabilidade técnica na exploração de cascas de arroz.....	84
5.2.1. Eficiência dos processos de conversão energética.....	84
5.2.2. Eficiência eléctrica das centrais termoeléctricas convencionais e com cogeração	87
5.2.3. Eficiência térmica das centrais termoeléctricas com cogeração.....	89
5.2.4. Eficiência térmica dos equipamentos de combustão	89
5.2.5. Produção de energia eléctrica	90
5.2.6. Produção de calor	93
5.2.7. Produção de energia eléctrica e calor	94
5.3. Análise da viabilidade económica na exploração de cascas de arroz.....	98
5.3.1. Valor comercial das cascas de arroz.....	98
5.3.2. Custos de capital (<i>CAPEX</i>).....	99
5.3.3. Custos de operação e manutenção (<i>OPEX</i>)	99
5.3.4. Custos com energia.....	102

5.3.5. Custos com potência.....	106
5.3.6. Produção de energia eléctrica	108
5.3.7. Produção de calor	110
5.3.8. Produção de energia eléctrica e calor com cogeração	112
5.3.9. Produção de energia eléctrica e calor de forma convencional.....	114
6. Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros	115
6.1. Conclusões Gerais	115
6.2. Perspectivas de Trabalho Futuro	117
Referências Bibliográficas.....	119
Glossário.....	131
Anexo I – Conceitos introdutórios sobre o cereal do arroz	138
Anexo II - Tratamento dos dados da produção de arroz em casca por continentes	152
Anexo III - Tratamento dos dados da área de cultivo de arroz por continentes	154
Anexo IV - Tratamento dos dados relativamente à produtividade do cultivo de arroz por continentes.....	155
Anexo V - Tratamento dos dados relativamente à produção de arroz na europa (1961-1991).....	157
Anexo VI - Tratamento dos dados relativamente à produção de arroz na europa (1991-2010).....	158
Anexo VII - Análise comportamental da área de cultivo de arroz em Portugal no período de 1961-2010.....	159
Anexo VIII - Análise comportamental da produção de arroz em Portugal no período de 1961-2010.....	162
Anexo IX- Análise comportamental da produtividade de arroz em Portugal no período de 1961-2010.....	164

Anexo X - Utilização do método dos mínimos quadrados para analisar a dependência existente entre a produção de arroz e a respectiva área cultivada	166
Anexo XI - Análise elementar de cascas de arroz da variedade <i>Euro</i>	168
Anexo XII- Análise elementar de cascas de arroz da variedade <i>Ariete</i>	169
Anexo XIII- Análise elementar de cascas de arroz da variedade <i>Albatroz</i>	170
Anexo XIV- Análise elementar de cascas de arroz da variedade <i>Gládio</i>	171
Anexo XV - Cálculos efectuados na quantificação do poder calorífico superior das diversas variedades de cascas de arroz nacionais e internacionais.....	172
Anexo XVI - Cálculos efectuados na quantificação do poder calorífico inferior das diversas variedades de cascas de arroz nacionais e internacionais.....	173
Anexo XVII - Determinação da capacidade das diversas unidades de conversão energética.....	174
Anexo XVIII - Quantificação da eficiência eléctrica das várias centrais termoeléctricas propostas.....	176
Anexo XIX - Quantificação da eficiência térmica das várias centrais termoeléctricas com cogeração propostas.....	184
Anexo XX - Quantificação da eficiência global dos geradores de vapor e secadores após a sua conversão para a queima de pellets, gás de síntese e bio óleo	188
Anexo XXI - Análise da viabilidade técnica para a produção isolada de energia eléctrica	189
Anexo XXII - Análise da viabilidade técnica para a produção isolada de calor.....	192
Anexo XXIII - Análise da viabilidade técnica para a produção combinada de energia eléctrica e calor.....	194
Anexo XXIV - Análise da viabilidade técnica para a produção de energia eléctrica e calor de forma independente.....	197
Anexo XXV - Custos de capital e de operação e manutenção inerentes às soluções apresentadas.....	200
Anexo XXVI - Evolução dos preços das formas de energia consumidas na indústria nacional arroseira num intervalo de tempo de 10 e 20 anos	203
Anexo XXVII - Custos com energia	206

Anexo XXVIII- Custos com potência	208
Anexo XXIX - Análise da viabilidade económica para a produção isolada de energia eléctrica.....	209
Anexo XXX - Análise da viabilidade económica para a produção isolada de calor....	212
Anexo XXXI - Análise da viabilidade económica para a produção combinada de energia eléctrica e calor	216
Anexo XXXII - Análise da viabilidade económica para a produção de energia eléctrica e calor de forma individual.....	219

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Desagregação do consumo energético nacional por sectores nos últimos 20 anos.....	1
Figura 1.2 - Desagregação do consumo energético nacional no sector industrial nos últimos 20 anos.....	2
Figura 1.3 - Desagregação do consumo energético na indústria arroseira no período de 2009 a 2011	3
Figura 1.4 - Previsão do preço dos combustíveis no período compreendido entre 2013 a 2032	3
Figura 2.1 - Produção de arroz paddy ao nível mundial.....	8
Figura 2.2 - Desagregação percentual da produção de arroz <i>paddy</i> nos diferentes continentes.....	9
Figura 2.3 - Produção de arroz <i>paddy</i> nos principais países Europeus	10
Figura 2.4 - Produção de arroz <i>paddy</i> na Europa (1961-1991)	11
Figura 2.5 - Produção de arroz <i>paddy</i> na Europa (1991-2010).....	11
Figura 2.6 - Produção e área de cultivo de arroz em Portugal (1961-2010).....	12
Figura 2.7 - Produtividade no cultivo de arroz em Portugal (1961-2010)	14
Figura 2.8 - Importação e Exportação de arroz em Portugal no período de 1983-2009	16
Figura 3.1 - Fluxograma do processo produtivo nacional de arroz.....	18
Figura 3.2 - Elevador de alcatruzes	19
Figura 3.3 - Fitas transportadoras	20
Figura 3.4 – Zona de pesagem.....	20
Figura 3.5 - Tarara de pré-limpeza	21
Figura 3.6 - Representação esquemática de uma tarara de pré-limpeza utilizada em Portugal.....	22
Figura 3.7 - Crivo cilíndrico	22
Figura 3.8 - Dois andares de crivagem	23

Figura 3.9 - Tipo de secador utilizado na maioria das empresas portuguesas.....	24
Figura 3.10 - Corte de um secador vertical de coluna simples.....	25
Figura 3.11 - Silos de armazenamento de arroz	26
Figura 3.12 - Processo de aeração num silo	27
Figura 3.13 - Tarara de limpeza do arroz <i>paddy</i>	29
Figura 3.14 – Representação real e esquemática de uma despedradora.....	30
Figura 3.15 - Depósitos de maceração.....	31
Figura 3.16 - Autoclaves	32
Figura 3.17 – Representação real e esquemática de um descascador de rolos.....	33
Figura 3.18 – Separador de compartimentos e de tabuleiro	35
Figura 3.19 – Separador de compartimentos e de tabuleiro	36
Figura 3.20 - Branqueador de cone	37
Figura 3.21 - Representação esquemática de um branqueador de cone	38
Figura 3.22 - <i>Trieurs</i> de alvéolos.....	40
Figura 3.23 - Representação esquemática de um <i>trieur</i> de alvéolos	40
Figura 3.24 - Polidor horizontal	41
Figura 3.25 – Linhas de embalagem.....	42
Figura 3.26 - Desagregação mássica efectuada na indústria arroseira nacional em 2011	43
Figura 3.27 - Balanço mássico efectuada na indústria arroseira nacional em 2011	44
Figura 3.28 - Desagregação do consumo de energia eléctrica por sector.....	46
Figura 3.29 - Desagregação global do consumo de energia nas diversas fases do processo de transformação do arroz	46
Figura 3.30 - Balanço energético efectuada na indústria arroseira nacional em 2011 ...	47
Figura 4.1 - Processos de conversão energética da casca de arroz.....	50
Figura 4.2 - <i>Pellets</i> de casca de arroz	51
Figura 4.3 - Representação esquemática de uma unidade tipo de peletização de biomassa	52
Figura 4.4 – Moinho de martelos.....	52
Figura 4.5 - Prensa de extrusão	53
Figura 4.6 - Sistema de arrefecimento vertical.....	54
Figura 4.7 - Esquema de um reactor químico de leito fixo do tipo concorrente com aquecimento directo.....	55
Figura 4.8 - Escala de aplicação de tecnologias de gaseificação de biomassa.....	56

Figura 4.9 - Faixa de variação do teor de alcatrão e partículas no gás obtido em diferentes tipos de gaseificadores	56
Figura 4.10 - Desenvolvimento tecnológico e atractividade dos diferentes tipos de gaseificadores para biomassa	57
Figura 4.11 - Unidade de gaseificação típica	60
Figura 4.12 - Ciclone	61
Figura 4.13 - Filtro de mangas	61
Figura 4.14 - Trap	62
Figura 4.15 - Flare	62
Figura 4.16 - Espectro de produtos obtidos por pirólise	63
Figura 4.17 - Reactor de pirólise	64
Figura 4.18 - Bio óleo obtido por pirólise	66
Figura 4.19 - Esquema genérico de uma unidade de pirólise rápida a biomassa	66
Figura 4.20 - Sistema de remoção de cinzas num reactor de leito fixo concorrente	69
Figura 4.21 - Processos efectuados num sistema termoeléctrico	70
Figura 4.22 - Perdas associadas a cada processo de geração de energia eléctrica	71
Figura 4.23 - Ciclo de Rankine simples ideal.....	72
Figura 4.24 - Cogeração em central termoeléctrica com turbina a vapor.....	73
Figura 4.25 - Esquema e diagrama T-s de um ciclo de <i>Brayton</i> simples ideal	73
Figura 4.26 - Central termoeléctrica de ciclo combinado	74
Figura 4.27 - Cogeração em central termoeléctrica com microturbina a gás	75
Figura 4.28 - Representação genérica de um ciclo <i>Otto</i> e <i>Diesel</i> a 4 tempos	76
Figura 4.29 - Cogeração em central termoeléctrica com motor de combustão interna..	77
Figura 5.1 - Soluções tecnológicas propostas para produção de energia eléctrica e/ou calor na indústria arroseira nacional.....	80
Figura 5.2 - Exemplo de várias amostras de variedades de cascas de arroz recolhidas .	81
Figura 5.3 - Diversos cenários operacionais inerentes à opção logística apresentada ...	85
Figura 5.4 - Diagramas de carga diários típicos de cada tipologia de empresa.....	87
Figura 5.5 - Perfil de consumo típico em cada tipologia após a exploração de biomassa	88
Figura 5.6 - Produção específica de energia eléctrica das diversas soluções tecnológicas apresentadas.....	92
Figura 5.7 - Produção específica de calor das diversas tecnologias apresentadas	94

Figura 5.8 - Produção específica de energia das diversas tecnologias apresentadas com cogeração	96
Figura A-I.1 - A planta de arroz	140
Figura A-I.2 - Diferentes tipos de raízes da planta do arroz.....	140
Figura A-I.3 - Planta de arroz com colmo principal, secundário, nós e entrenós	142
Figura A-I.4 - Contagem das folhas nas plantas de arroz.....	144
Figura A-I.5 - Morfologia foliar	144
Figura A-I.6 - Panícula da planta de arroz	145
Figura A-I.7 - Estrutura da espiguetta do arroz	145
Figura A-I.8 - Estrutura do grão de arroz	146
Figura A-I.9 - Endosperma de uma variedade de arroz.....	148
Figura A-I.10 - Estrutura molecular da amilose	148
Figura A-I.11 - Estrutura molecular da amilopectina.....	148
Figura A-I.12 - Farelo de arroz encastrado nas redes de uma polidora.....	149
Figura A-I.13 - Cascas de arroz.....	150
Figura A-VII.1 – Área de cultivo de arroz em Portugal entre 1961-2010.....	159
Figura A-VII.2 – Aproximação dos pontos obtidos a um polinómio de 6º grau.....	160
Figura A-VIII.1 - Aproximação dos pontos obtidos a um polinómio de 6º grau.....	162
Figura A-IX.1 – Produtividade de cultivo de arroz em Portugal entre 1961-2010.....	164
Figura A-X.1 – Aproximação dos pontos obtidos a uma função.....	166
Figura A-XI. 1 – Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade Euro.....	168
Figura A-XII. 1 - Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade Ariete.....	169
Figura A-XIII.1 - Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade Albatroz.....	170
Figura A-XIV. 1 - Boletim de Análise das cascas de arroz correspondentes à variedade Gládio.....	171
Figura A-XVIII.1 – Diagramas de carga geral para um dia típico de cada fábrica.....	176
Figura A-XVIII.2 – Aproximação dos pontos obtidos a uma equação linear	178
Figura A-XVIII.3 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica.....	179
Figura A-XVIII.4 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica.....	181
Figura A-XVIII.5 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica.....	182

Figura A-XIX. 1 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação logarítmica	185
Figura A-XIX. 2 - Aproximação dos pontos obtidos a uma equação polinomial de 2º grau	187
Figura A-XXV.1 – Aproximação dos pontos obtidos a uma equação linear.....	201

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Durabilidade do arroz em função da temperatura e humidade.....	27
Tabela 4.1 - Comparação entre prensas de pistão e de extrusão	53
Tabela 4.2 - Principais diferenças entre os gaseificadores de leito fixo concorrentes e fluidizado.....	59
Tabela 4.3 - Granulometrias recomendadas para os principais sistemas de utilização de biomassa	68
Tabela 4.4 - Comparação entre os principais sistemas termoeléctricos a biomassa	78
Tabela 5.1 - Diversas tipologias de empresas transformadoras de arroz nacionais	79
Tabela 5.2 - Composição química elementar das principais variedades de casca de arroz geradas na indústria nacional arroseira	82
Tabela 5.3 - Composição química elementar de variedades internacionais de casca de arroz.....	83
Tabela 5.4 - Poder calorífico superior e inferior das diferentes variedades de cascas de arroz.....	84
Tabela 5.5 - Capacidade das diversas unidades de conversão energética	85
Tabela 5.6 - Eficiência dos processos de conversão energética das cascas de arroz <i>in natura</i>	86
Tabela 5.7 - Alterações ocorridas em termos de potência e consumo de energia eléctrica	88
Tabela 5.8 - Eficiências eléctricas médias dos vários tipos de centrais termoeléctricas para cada tipologia.....	89
Tabela 5.9 - Eficiências térmicas médias dos vários tipos de centrais termoeléctricas com cogeração para cada tipologia de fábrica.....	89
Tabela 5.10 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas – energia eléctrica.....	91

Tabela 5.11 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas - calor	93
Tabela 5.12 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (cogeração).....	95
Tabela 5.13 - Resultados obtidos na análise da viabilidade técnica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (convencional).....	97
Tabela 5.14 - Lucro médio anual inerente à comercialização de cascas de arroz	98
Tabela 5.15 - Custos de capital para cada um dos sistemas apresentados.....	100
Tabela 5.16 - Custos de operação e manutenção para cada um dos sistemas apresentados	101
Tabela 5.17 - Vida útil dos principais equipamentos utilizados na geração de energia eléctrica e calor.....	102
Tabela 5.18 - Previsão do custo médio de diversas formas de energia em diversos intervalos de tempo.....	103
Tabela 5.19 - Custos com energia eléctrica resultantes da implementação das soluções preconizadas	104
Tabela 5.20 - Custos com gasóleo e gás natural resultantes da implementação das soluções preconizadas.....	105
Tabela 5.21 - Custos com potência após a implementação de cada uma das soluções apresentadas.....	107
Tabela 5.22 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas – energia eléctrica.....	108
Tabela 5.23 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas - calor	111
Tabela 5.24 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (cogeração).....	112
Tabela 5.25 - Resultados obtidos na análise da viabilidade económica para as soluções propostas – energia eléctrica e calor (convencional).....	114
Tabela A-I.1 - Informação nutritiva relativamente aos diferentes tipos de processamento de arroz.....	147
Tabela A-I.2 - Dados descritivos sobre cada tipo de arroz.....	151
Tabela A-II.1 - Tratamento dos dados da produção de arroz em casca por continentes.....	152

Tabela A-III.1 - Tratamento dos dados da área de cultivo do arroz por continente.....	154
Tabela A-IV.1 - Tratamento dos dados da produtividade de cultivo do arroz por continentes.....	155
Tabela A-V.1 - Tratamento dos dados referentes à produção de arroz em casca nos países europeus.....	157
Tabela A-VI.1 - Tratamento dos dados referentes à produção de arroz em casca nos países europeus.....	158
Tabela A-VII. 1 – Variação da área de cultivo em função do polinómio de 6º grau obtido.....	160
Tabela A-VIII. 1 - Variação da produção de arroz em função do polinómio de 6º grau obtido.....	163
Tabela A-IX.1 - Variação da produtividade de arroz em função do polinómio de 6º grau obtido.....	165
Tabela A-XVII.1 – Quantidade de cascas de arroz geradas em cada tipologia de fábrica.....	174
Tabela A-XVII. 2 – Capacidades estimadas para cada um dos equipamentos de conversão energética.....	175
Tabela A-XVIII.1 – Potência eléctrica média diária para cada tipologia de fábrica.....	176
Tabela A-XVIII.2 – Eficiências eléctricas de turbinas a vapor em função das suas capacidades.....	177
Tabela A-XVIII.3 - Eficiências eléctricas de turbinas a gás em função das suas capacidades.....	179
Tabela A-XVIII.4 - Eficiências eléctricas de motores de combustão interna em função das suas capacidades.....	180
Tabela A-XVIII.5 - Eficiências eléctricas de centrais de ciclo combinado em função das suas capacidades.....	182
Tabela A-XIX.1 - Eficiências globais de centrais de cogeração com turbinas a vapor.....	184
Tabela A-XIX.2 - Eficiências globais de centrais de cogeração com turbinas a gás ...	185
Tabela A-XIX. 3 - Eficiências globais de centrais de cogeração com motores de combustão interna.....	186

Tabela A-XXV. 1 – CAPEX e OPEX para diversas gamas de motores de combustão interna.....	200
Tabela A-XXV. 2 – Taxa de câmbio do dólar em relação ao euro no ano de 2003.....	201
Tabela A-XXVI.1 – Previsão do custo do gás natural entre 2005-2030.....	203
Tabela A-XXVI. 2 - Previsão do custo do petróleo entre 2005-2030	204

Nomenclatura

Símbolo	Unidades SI	Designação
a	[m.s ⁻²]	Aceleração
A	[m ²]	Área
Q	[J]	Calor
l	[m]	Comprimento
E	[J]	Energia
h	[kJ/kg]	Entalpia específica
h _{fg}	[kJ/kg]	Entalpia de vaporização
F	[N]	Força
f	[Hz]	Frequência
φ	[-]	Humidade relativa
m	[kg]	Massa
ρ	[kg/m ³]	Massa volúmica
PCI	[J/kg]	Poder calorífico inferior
PCS	[J/kg]	Poder calorífico superior
P	[W]	Potência
p	[Pa]	Pressão
n	[mol]	Quantidade de matéria
C	[-]	Teor em carbono
S	[-]	Teor em enxofre
H	[-]	Teor em hidrogénio
O	[-]	Teor em oxigénio
AF	[-]	Relação combustível-ar

η	[-]	Rendimento
T	[K]	Temperatura
t	[s]	Tempo
V	[V]	Tensão eléctrica
W	[J]	Trabalho
v	[m.s ⁻¹]	Velocidade
μ	[Pa.s]	Viscosidade
V	[m ³]	Volume

Abreviaturas

Abreviaturas	Designação
AT	Alta Tensão
BPE	Barril de Petróleo Equivalente
BTE	Baixa Tensão Especial
CAPEX	Capital Expenditure
CHP	Combined Heat and Power
DGEG	Direcção Geral da Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
EPA	Environmental Protection Agency
GN	Gás Natural
GT	Gas Turbine
ha	Hectare
ISQ	Instituto da Soldadura e Qualidade
kg	Quilograma
kWh	Quilowatt-hora
l	Litros
MAT	Muito Alta Tensão
MCI	Motor de Combustão Interna
MT	Média Tensão
mha	Milhares de hectares
mton	Milhares de toneladas
Mton	Milhões de toneladas
NREL	National Renewable Energy Laboratory

OPEX	Operational Expenditure
PAC	Política Agrícola Comum
PC	Potência Contratada
PHP	Potência em Horas de Ponta
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
PRI	Período de Retorno do Investimento
RE	Reciprocating Engine
ST	Steam Turbine
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TG	Turbina a Gás
ton	Toneladas
TV	Turbina a Vapor
TV (G)	Turbina a Vapor alimentada a gás de síntese
TV (O)	Turbina a Vapor alimentada a bio óleo
TV (P)	Turbina a Vapor alimentada a pellets