

Resumo

Nos tempos actuais os equipamentos para Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) ocupam um lugar de grande importância na concepção, desenvolvimento e manutenção de qualquer edifício por mais pequeno que este seja. Assim, surge a necessidade premente de racionalizar os consumos energéticos optimizando-os. A alta fiabilidade desejada nestes sistemas obriga-nos cada vez mais a descobrir formas de tornar a sua manutenção mais eficiente, pelo que é necessário prevenir de uma forma proactiva todas as falhas que possam prejudicar o bom desempenho destas instalações. Como tal, torna-se necessário detectar estas falhas/anomalias, sendo imprescindível que nos antecipemos a estes eventos prevendo o seu acontecimento num horizonte temporal pré-definido, permitindo actuar o mais cedo possível.

É neste domínio que a presente dissertação tenta encontrar soluções para que a manutenção destes equipamentos aconteça de uma forma proactiva e o mais eficazmente possível. A ideia estruturante é a de tentar intervir ainda numa fase incipiente do problema, alterando o comportamento dos equipamentos monitorizados, de uma forma automática, com recursos a agentes inteligentes de diagnóstico de falhas. No caso em estudo tenta-se adaptar de forma automática o funcionamento de uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) aos desvios/anomalias detectadas, promovendo a paragem integral do sistema apenas como último recurso.

A arquitectura aplicada baseia-se na utilização de técnicas de inteligência artificial, nomeadamente dos sistemas multiagente. O algoritmo utilizado e testado foi construído em *Labview*[®], utilizando um *kit* de ferramentas de controlo inteligente para *Labview*[®]. O sistema proposto é validado através de um simulador com o qual se conseguem reproduzir as condições reais de funcionamento de uma UTA.

Palavras-chave: Manutenção proactiva, Sistemas multiagente, Unidade de tratamento ar, Lógica *fuzzy*.

Abstract

In the current days the HVAC (Heating, Ventilation and Ar Conditioning) equipment have a great influence in the conception, development and maintenance of any building no matter how small it is. Thus, it is necessary some system optimization due to a high necessity to rationalize costs. The reliability needed in these systems turn necessary to find more ways to make the maintenance more efficient, and proactively detect the faults that could brake the good performance of these installations. Therefore, it is a real need to detect as soon as possible these faults, forecasting it's occurrence in a pre-defined horizon, with knowledge and cause knowing.

It is in this dominium, that this thesis tries to find solutions for the maintenance of these equipments, in a proactive way. The structuring idea is trying to act as soon as possible, changing the monitored equipment behaviour, trying to reduce non-expected deviations, by actuating directly on the system, using fault tolerant control intelligent agents. In the case study it is tried to accommodate the functioning of a Air Handling Unit (AHU) to the detected faults, promoting the integral shutdown only as last resource.

The used architecture is based on artificial intelligence techniques, namely multi-agent systems. The used and tested algorithm was built in Labview[®], using the Intelligent Control ToolKit for *Labview*[®] (ICTL). The proposed system is validated in a simulator, where we can reproduce an AHU in real operating conditions.

Key – words : Proactive maintenance, Multiagent systems, Air Handling Unit, *fuzzy* logic.

Agradecimentos

Agradeço publicamente ao meu orientador, Prof. Doutor Mário Mendes e ao meu co-orientador, Prof. Doutor José Sobral, o apoio prestado durante a elaboração do presente trabalho. De facto motivaram-me de um modo extraordinário e facilitaram o meu trabalho, conduzindo-me sempre pelo caminho mais correcto. A eles o meu mais sincero e franco obrigado.

Um agradecimento também à minha família, sobretudo ao meu filho, pelas longas tardes e noites de companhia e palavras de apoio.

Um obrigado muito especial também a todos os técnicos de manutenção que de uma forma paciente me facultaram dados e transmitiram alguma da sua vasta experiência na manutenção deste tipo de equipamentos. Obrigado Manuel da Luz, Filipe Moreno, Engº Rafael Furão, por todo o tempo dispensado e informações que me transmitiram com a maior exactidão possível.

Obrigado ao Dan Abir, Juan Dr. Pedro Ponce Cruz, da Tribalengineering, por todo o suporte prestado na fase inicial desta tese, quando decidi adquirir o extraordinário software que possuem.

Dedico este trabalho a todos aqueles que de uma forma ou outra me ajudaram ou apoiaram com informação, apoio e incentivo e contribuíram positivamente para o resultado final. Espero não os desiludir.

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Índice	iv
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xii
Lista de símbolos	xiii
Lista de Abreviaturas	xiv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Considerações	1
1.2 Objectivos propostos	1
1.3 Temas abordados	2
Capítulo 2	5
Estado da arte da manutenção em sistemas AVAC	5
2.1 Manutenção de Sistemas AVAC	5
2.1.1 Definições e indicadores utilizados em manutenção	6
2.1.1.1 Terminologia	7
2.1.1.2 Indicadores e KPI's com interesse em contexto proactivo	7
2.2 Tipos de manutenção comuns em AVAC	7
2.2.1 Manutenção correctiva em equipamentos AVAC	8
2.2.2 Manutenção Preventiva de equipamentos AVAC	9
2.2.2.1 Manutenção preventiva sistemática de equipamentos AVAC	10
2.2.2.2 Manutenção preventiva condicional em equipamentos AVAC	11
2.2.3 Manutenção preditiva em equipamentos AVAC	11
2.3 Avaliação da capacidade operacional de equipamentos/sistemas	12

2.4 Operações de manutenção frequentes em equipamentos electromecânicos para AVAC	13
2.5 A importância da proactividade na manutenção de equipamentos electromecânicos	15
2.5.1 Filosofia de gestão subjacente à manutenção proactiva	16
Capítulo 3	21
Sistemas Multiagente.....	21
3.1 Sistemas multiagente comportamentos / envolventes	21
3.1.1 Sistemas multiagente do tipo cognitivo/deliberativo	23
3.1.2 Sistemas multiagente do tipo reactivo.....	24
3.1.3 Sistemas híbridos.....	27
3.2 Comunicação em MAS.....	27
3.2.1 Arquitecturas do sistema de comunicação.....	29
Capítulo 4	33
Lógica <i>fuzzy</i>	33
4.1 Introdução à Lógica <i>fuzzy</i>	33
4.2 A importância da lógica <i>fuzzy</i> na indústria moderna. Exemplos de aplicação.....	34
4.3 Conceito de Grupos <i>fuzzy</i> - <i>fuzzy sets</i>	35
4.4 Operações e funções fuzzy mais relevantes.....	36
4.4.1 Propriedades dos grupos <i>fuzzy</i>	38
4.5 Fuzificação.....	38
4.6 Corte alfa	39
4.7 Relações entre grupos <i>fuzzy</i>	40
Capítulo 5	43
Caso de estudo.....	43
5.1 Considerações gerais	43
5.2 Periodicidade de manutenção dos constituintes fundamentais da UTA.....	46
Capítulo 6	50
Proposta de sistema de monitorização de falhas	50

6.1	Arquitectura do agente para manutenção proactiva.....	50
6.2	Representação matemática das funções de pertença fuzzy.....	54
6.2.1	Sensor de Temperatura de mistura (X1).....	55
6.2.2	Sensor de Temperatura de ar novo (X2).....	55
6.2.2.1	Funcionamento Inverno (X2I).....	56
6.2.2.2	Funcionamento Verão (X2V).....	56
6.2.3	Sensor de Temperatura de retorno (X3).....	57
6.2.4	Definição das funções de pertença <i>fuzzy</i>	58
6.3	Regras básicas de deliberação do agente.....	60
6.3.1	Conjunto de regras para UTA em funcionamento de Inverno.....	60
6.3.2	Conjunto de regras para UTA em funcionamento de Verão.....	60
6.4	Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de inverno.....	61
6.5	Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de Verão.....	62
6.6	Arquitectura do agente : Acções a empreender x regras de deliberação....	63
6.7	Funcionamento do agente - Algoritmo <i>Labview</i> [®] / ICTL.....	68
6.7.1	Simulador.....	73
6.7.2	Registo de dados.....	77
6.8	Análise de simulações.....	78
6.8.1	Análise de <i>outputs</i> na consola do simulador.....	78
6.8.2	Tempos de detecção de temperaturas desviantes.....	82
6.8.3	Anomalias detectadas.....	83
Capítulo 7.....		84
Conclusões, aplicações e desenvolvimento futuro.....		84
7.1	Considerações.....	86
7.2	Deliberação do agente, suas implicações e consequências colaterais.....	85
7.3	Agente humano, capacidades de percepção aplicadas ao caso de estudo ..	87
7.4	Necessidade de um planeamento de manutenção aplicado ao caso de estudo.....	88
7.5	Opimização de intervenções nos equipamentos controlados pelo agente..	89
7.6	Registo de intervenções, confirmação de anomalias e quadros de apoio...89	
7.7	Desenvolvimento futuro.....	90
Bibliografia.....		92

<i>Anexo I</i>	98
Regras básicas de deliberação otimizadas e diagnósticos para funcionamento de verão/inverno	98
Regras otimizadas para UTA em funcionamento de Inverno.....	98
Conjunto de regras para UTA em funcionamento de Verão	99
Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de inverno	100
Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de Verão.....	105
 <i>Anexo II</i>	 111
Manutenção – Terminologia e KPI’s com interesse em contexto proactivo.	111
Terminologia	111
Indicadores e KPI’s	117
 <i>Anexo III</i>	 122
Registo de dados.....	122
Considerações.....	122
 <i>Anexo IV</i>	 128
Possibilidade de aplicação de métodos proactivos a um equipamento com plano convencional de manutenção (não proactiva)	128
Plano convencional de manutenção x preventiva x proactividade	128
 <i>Anexo V</i>	 140
Cálculo aproximado de Temperatura na secção de mistura	140
Método de cálculo utilizado	140
 <i>Anexo VI</i>	 142
Quadros de apoio à decisão humana em contexto proactivo.....	142
 <i>Anexo VII</i>	 146
Periodicidade de verificações medições e manutenção em equipamentos	
AVAC.....	145
Tabelas.....	145

<i>Anexo VIII</i>	148
Ciclos de vida para equipamentos electromecânicos utilizados em UTA´s e outros equipamentos AVAC.....	148
Considerações	148

Lista de Figuras

2.1 Sistema integrado de controlo e gestão AVAC.....	6
2.2 Manutenção preventiva com recurso a monitorização	10
2.3 Termografia de um compressor.....	11
2.4 Software de monitorização de uma UTA em ambiente Windows.....	19
3.1 Exemplo de um sistema multiagente integrado.....	22
3.2 Estrutura de um agente cognitivo.....	24
3.3 Estrutura básica simplificada de um agente reactivo.....	25
3.4 Exemplo da arquitectura de comunicação de um agente.....	28
3.5 Comunicação directa.....	29
3.6 Arquitectura de comunicação com agente facilitador.....	30
3.7 Arquitectura de comunicação entre agentes com utilização de bases de dados parciais.....	31
4.1 Lógica <i>fuzzy</i> aplicada à avaliação de temperaturas.....	34
4.2 Sensores de temperatura <i>fuzzy</i>	35
4.3 Controlador <i>fuzzy</i>	35
4.4 Exemplos de funções de pertença <i>fuzzy</i> , do tipo triangular, triangular com patamar constante de pertença máximo e Bell.....	37
4.5 Fuzificação do vector - velocidade de um automóvel.....	39
4.6 Função triangular com corte α	40
4.7 Relação <i>fuzzy</i> identificando funções de pertença que indicam o grau de maturação de um fruto.....	38
5.1 UTA.....	45
6.1 Arquitectura do agente.....	53
6.2 Funções <i>fuzzy</i> triangulares, temperatura de mistura.....	55
6.3 Funções <i>fuzzy</i> triangulares, temperatura de ar novo, Inverno.....	56
6.4 Funções <i>fuzzy</i> triangulares, temperatura de ar novo, Verão.....	57
6.5 Funções <i>fuzzy</i> triangulares, temperatura de retorno.....	58
6.6 Estrutura <i>CASE</i> , para selecção do modo de funcionamento de Verão / Inverno, e respectiva fuzificação de <i>inputs</i> da secção de ar novo.....	71
6.7 Fuzificação de <i>inputs</i> da caixa de mistura.....	72
6.8 Fuzificação <i>inputs</i> da secção de retorno.....	72

6.9	<i>Premise evaluation.vi, e Input combinator generator.vi</i>	73
6.10	Desfuzificador, <i>defuzzifier_constants.vi</i>	74
6.11	Estruturas <i>CASE</i> , controladas por uma string que permite seleccionar funcionamento de verão/inverno, contendo arrays com as regras de deliberação, para cada condição considerada.....	74
6.12	Painel de <i>outputs</i> e registo de dados.....	75
6.13	Simulador de temperatura da secção de mistura.....	76
6.14	Simulador de temperatura exterior.....	77
6.15	Simulador de temperatura da secção de retorno.....	77
6.16	Diagrama de blocos completo do agente.....	78
6.17	Ciclo <i>WHILE</i> para obtenção de temperaturas de mistura simuladas.....	78
6.18	Painel de controlo do simulador da UTA.....	79
6.19	Resultados da 1ª simulação denotando os <i>outputs</i> um funcionamento normal sem Sem avarias ou falhas.....	80
6.20	Resultados da 2ª simulação denotando <i>outputs</i> que traduzem funcionamento anómalo na UTA.....	81
6.21	Quadro de <i>outputs</i> do painel frontal.....	81
6.22	Resultados da 3ª simulação com <i>outputs</i> correspondentes a condições C13, C21, C24, C25, C26.....	82
6.23	Consola de <i>outputs</i> 3ª simulação.....	83
6.24	Resultados 4ª simulação reflectindo uma alteração <i>online</i> das condições de temperatura exterior.....	83
6.25	Folha de cálculo com valores de detecção importados do algoritmo.....	83
7.1	Decisão partilhada entre agentes humano e informático.....	92
A.III.1	VI de registo de dados e conversão para texto, ou formato binário.....	124
A.III.2	Consola de comandos do VI de registo de dados e conversão para texto, ou formatos binários.....	126
A.III.3	Ficheiro de backup com extensão do tipo <i>lvm</i>	126
A.III.4	Ficheiro de backup do tipo <i>TDMS</i> que permite importação de dados directamente para o Excel	126
A.III.5	Aspecto do ficheiro de registo de dados em 2009/09/03 com extensão <i>lvm</i> ...	127
A.III.6	Aspecto do ficheiro de registo de dados em 2009/09/03 com extensão <i>TDMS</i> Transposto para <i>EXCEL</i>	128
A.III.7	Vista do “block diagram”, do sincronizador do <i>DIADEM</i> ®	129

A.III.8	Aspecto de uma consola para tratamento de dados em <i>DIADEM</i> [®]	129
A.V.1	Ciclo <i>WHILE</i> , para obtenção da temperatura de mistura simulada considerando caudais em jogo e temperatura de retorno e ar novo.....	143

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Causas reportadas de 100 acidentes significativos em equipamentos electromecânicos,.....	13
Tabela 2.2	Poupança devida a manutenção proactiva, em detrimento da manutenção reactiva, em equipamentos mecânicos, num grande edificio. Em dólares por H.P de potência nominal.....	17
Tabela 4.1	Exemplo de relação <i>fuzzy</i> para identificação do grau de maturação de um fruto.....	41
Tabela 6.1	Output's para o sistema:	66
Tabela 6.2	UTA em funcionamento de Inverno – <i>Inputs X outputs</i> – Deliberação.....	68
Tabela 6.3	UTA em funcionamento de Verão – <i>Inputs X outputs</i> – Deliberação.....	69
Tabela 6.4	Tempos de detecção do agente.....	84
Tabela A.II.1	KPI's com interesse em contexto proactivo.....	123
Tabela A.IV.1	Possível aplicação de proactividade utilizando MAS a uma política convencional de manutenção numa UTA.....	141
Tabela A.VI.1	Decisão ponderada proactiva – Intervenção imediata x Inspeção c/ Intervenção não imediata (INVERNO).....	145
Tabela A.VI.2	Decisão ponderada proactiva – Intervenção imediata x Inspeção c/ Intervenção não imediata (VERÃO).....	146
Tabela A.VII.1	Simbologia.....	147
Tabela A.VII.2	Consumos check list.....	148
Tabela A.VII.3	Check list em máquinas frigorificas.....	148
Tabela A.VII.4	Operações de manutenção/periodicidade.....	149
Tabela A.VIII.1	Vida útil média de equipamentos de sistemas AVAC.....	152

Lista de símbolos

$\min (\wedge)$	Intersecção de conjuntos <i>fuzzy</i>
$\max (\vee)$	Reunião de conjuntos <i>fuzzy</i>
X	Universo em análise
x	Elemento independente pertencente a X
μ_f	Grau de pertença <i>fuzzy</i>
A_α	Função com corte alfa
S	Universo de discurso
\bar{A}	Complemento do conjunto A
X1	Sensor da temperatura de mistura
X2I	Sensor da temperatura de ar novo em funcionamento de Inverno
X2V	Sensor da temperatura de ar novo em funcionamento de verão
X3	Sensor da temperatura de retorno
VI	Programa/subrotina em linguagem gráfica de <i>Labview</i> [®]
HP	Cavalo-vapor (Horse Power)
Cic	Investimento inicial
Cin	Custo de instalação
Cen	Custo energético (custo da energia durante um valor estimado de 20 anos, 0.1 €/kW)
Co	Custo de funcionamento mão de obra
Cm	Custos de reparação e manutenção
Cs	Encargos com eventuais paragens
Cd	Custo de alienação ou abate
Cenv	Custo ambiental
VERY	Potência do grupo <i>fuzzy</i>
CON	Grupo <i>fuzzy</i> elevado ao quadrado

Lista de Abreviaturas

AVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
MAS	Sistema multiagente (Multi Agent System)
TDMS	Transition Minimized Differential Signaling.
LVM	Logical Volume Management
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
KPI	Indicador de desempenho (Key Performance Indicator)
kW	Kilowatt
RS	Estado de raciocínio
DS	Estado de decisão
CS	Estado de comprometimento
$ \Delta TM $	Variação da temperatura de mistura da UTA
$ \Delta TR $	Variação da temperatura de retorno da UTA
(N)	Variação normal
(L)	Variação anormal baixa
(H)	Variação anormal alta
QAI	Qualidade do ar interior
MTBF	“ <i>Mean time Between fail’s</i> ”, tempo médio entre falhas

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações

O presente trabalho de dissertação é dedicado ao estudo da manutenção proactiva em equipamentos electromecânicos para Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado (AVAC). Para tal propôs-se a implementação de um algoritmo inteligente recorrendo aos sistemas inteligentes. Para a estruturação do agente envolvido recorre-se à lógica *fuzzy*, no domínio da Inteligência Artificial (IA).

Algumas das razões pelas quais se optou pela lógica *fuzzy* prendem-se com a excelente prestação que esta oferece ao lidar com dados, muitas vezes ambíguos e imprecisos. A utilização de sistemas *fuzzy* permite também um controlo mais suave e efectivo dos sistemas, em comparação com outros tipos de controlo mais convencionais. Estes sistemas são também de mais fácil construção e mais simples de testar, tornando os sistemas mais simples e eficazes segundo (Tommaso & Nazario,1993). A lógica *fuzzy* é, deste modo, indicada para controlo de temperaturas, níveis de eficiência e controlo de outros parâmetros reais de equipamentos electromecânicos de refrigeração, onde existe normalmente uma necessidade constante de ajustamentos de parametros de *set-up* em contexto operacional.

O algoritmo utilizado para estruturar a arquitectura idealizada do agente foi construído em *Labview*[®], utilizando também o módulo Intelligent Control Toolkit for *Labview*[®] (ICTL) desenvolvido pela empresa Tribal Engineering especialmente para programação em inteligência artificial.

1.2 Objectivos propostos

Ao longo do presente trabalho propõe-se a análise de uma nova filosofia de manutenção, na qual a área de intervenção e responsabilidade humana passa a ter um peso relativamente menor em comparação com as tradicionais políticas de manutenção

utilizadas na indústria. A construção de uma arquitectura o mais simplificada possível, que facilite a interacção e deliberação por parte do agente em contexto proactivo, foi também um dos principais conceitos orientadores do presente trabalho.

A rápida e eficaz detecção de qualquer anomalia/falha que se possa traduzir na alteração das temperaturas de funcionamento (consideradas normais) numa Unidade de Tratamento de Ar (UTA), é uma das principais metas a atingir.

Houve também a preocupação constante em desenvolver o algoritmo de modo que possa ser fácil e eficazmente implementado em contextos industriais, com uma boa relação custo/benefício.

Pretende-se com a presente dissertação contribuir para a melhoria da manutenção de equipamentos electromecânicos, sendo esta realizada de uma forma proactiva, automática e fiável, recorrendo a um agente deliberativo com capacidades de monitorização. O agente humano não é dispensado, tentando-se criar com este uma simbiose que se vai optimizando ao longo do tempo e cujo resultado se traduz numa melhoria inequívoca dos processos, requisitos e tarefas inerentes à manutenção.

1.3 Temas abordados

Nos próximos capítulos serão abordados diversos temas, tais como:

- Políticas de manutenção comuns em AVAC
- Proactividade da manutenção
- Filosofias de gestão subjacentes à proactividade na manutenção
- Sistemas multiagente (MAS)
- Lógica *fuzzy*
- Caso de estudo - Manutenção proactiva de uma UTA
- Proposta de sistema de monitorização de falhas
- Conclusões aplicações e desenvolvimento futuro

O segundo capítulo reflecte o estado da arte em manutenção AVAC, referindo os tipos de manutenção utilizados frequentemente nestes sistemas. Aborda-se um pouco o tema da terminologia e indicadores de desempenho (KPI's – Key Performance Indicators). Avaliam-se basicamente os tipos de manutenção utilizados com mais

frequência e as suas vantagens e desvantagens, permitindo perspectivar uma arquitectura do agente adaptada o mais possível à realidade industrial. Aborda-se também o tema da avaliação da capacidade operacional de equipamentos electromecânicos de aquecimento, ventilação e ar condicionado, referindo também as operações de manutenção mais frequentes neste tipo de equipamentos.

O capítulo três incide sobre a temática dos sistemas multiagente MAS com o objectivo de enquadrar o tipo de agente seleccionado, onde são abordados temas como tipo de sistemas, comunicação em MAS, arquitecturas do sistema de comunicação e tipos de mensagens, entre outros.

O capítulo quatro debate a lógica *fuzzy*, que foi seleccionada pela sua simplicidade, robustez e adequação ao caso de estudo, indicando alguns exemplos de aplicações *fuzzy* na indústria e sublinhando a sua relevância no contexto da avaliação de temperaturas, entre muitos outros. Abordam-se os conceitos *fuzzy*, as operações mais relevantes, as funções mais utilizadas (que vão suportar a arquitectura do agente), as operações de fuzificação e desfuzificação e as propriedades/relações dos grupos *fuzzy*.

Na sequência do capítulo anterior, o capítulo cinco apresenta o caso de estudo com considerações gerais e uma abordagem à periodicidade de manutenção dos constituintes fundamentais de uma UTA.

O capítulo sexto é dedicado à problemática subjacente à arquitectura do agente envolvido, regras de fuzificação, deliberação, análise de resultados à luz de valores simulados, diagnóstico de possível avaria ou falha, optimizações diversas devido à proactividade imposta pelo agente, etc.

Pode-se observar também a forma como se estruturou o agente em função das regras de deliberação impostas, Representam-se matematicamente as funções de pertença *fuzzy* para os diversos sensores e modos de funcionamento, estabelecendo também as regras básicas de deliberação do agente, assim como a análise sintomática das avarias/falhas, construindo-se quadros de potencial diagnóstico. Analisa-se também em pormenor a construção do agente, descrevendo o seu algoritmo em *Labview*[®]. A parte do algoritmo dedicada ao simulador também é descrita pormenorizadamente, tal como o processo utilizado para registo de dados.

São efectuadas simulações que comprovam que os objectivos propostos foram atingidos e analisam-se resultados.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões, consequências das deliberações do agente, aflora também a capacidade de percepção do agente humano, optimização de

intervenções como consequência da utilização do agente e descreve também a forma de registrar intervenções, confirmação de anomalias e respectivos quadros de apoio.

Concluindo com uma perspectiva sobre possíveis campos de desenvolvimento futuro. Deixa-se uma janela aberta sobre esta temática, com um convite claro a um futuro trabalho sobre este tema.

Capítulo 2

Estado da arte da manutenção em sistemas AVAC

2.1 Manutenção de Sistemas AVAC

A manutenção de sistemas AVAC é hoje um universo extremamante complexo. As elevadas disponibilidades, fiabilidade e robustez que muitas vezes são exigidas a este tipo de equipamentos, associadas a uma tendência e necessidades cada vez maiores para otimizar consumos energéticos, conduziram-nos a um patamar onde a manutenção é cada vez mais uma preocupação de primeira linha de engenheiros, gestores e técnicos de manutenção (Chadderton, 2000).

A importância da adopção de boas políticas de manutenção com custos controlados, tornou-se crucial em qualquer instalação de pequeno, médio ou grande porte.

Refira-se por exemplo o caso de centros hospitalares, centros informáticos e de telecomunicações, ou unidades produtivas com actividades consideradas críticas, onde as actividades de manutenção são cruciais e podem em determinados casos pôr em causa a segurança de bens ou pessoas. Nestes casos a proactividade deverá assumir o seu expoente máximo, devendo as actividades de manutenção adquirir claramente uma faceta preventiva (Monchy, 1996).

A eficiência destes sistemas é pois assumidamente crucial. A informática assume por tudo isto um papel de relevo, com os habituais sistemas de gestão centralizada de apoio às actividades de manutenção, como exemplificado na Figura 2.1. Neste perspectiva, os MAS serão num futuro muito próximo uma ferramenta indispensável.

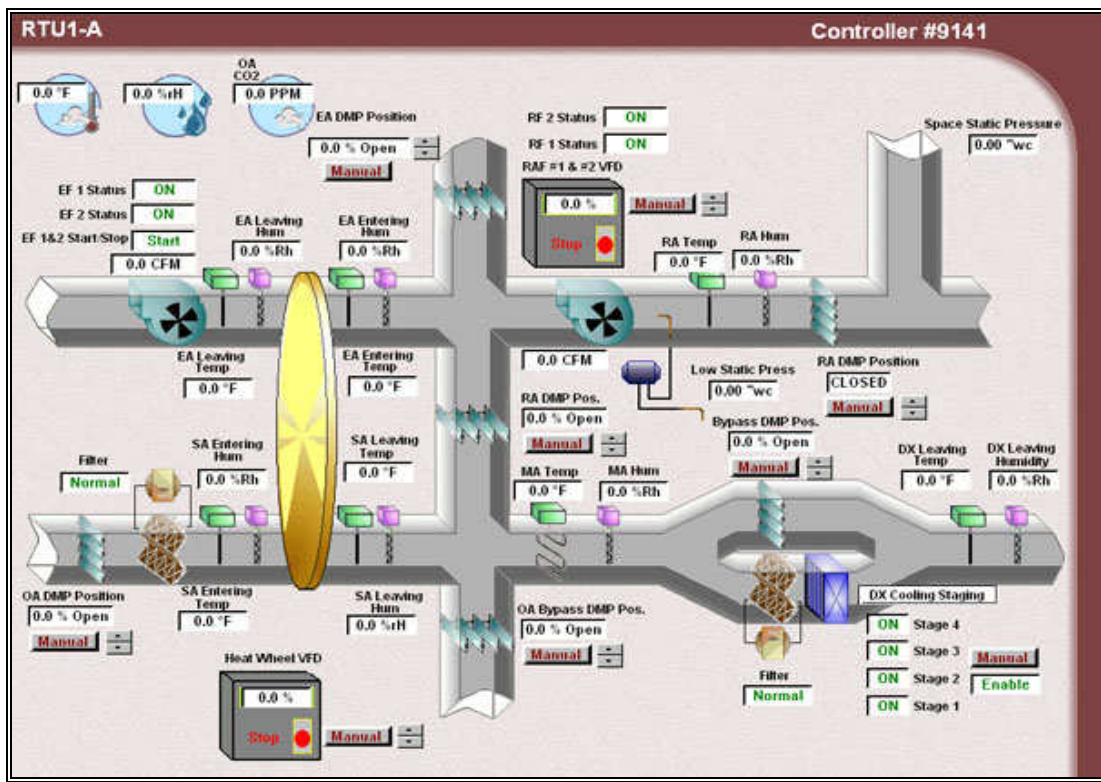


Figura 2.1 – Sistema integrado de controlo e gestão AVAC

(Jhcontrols, 2011)

2.1.1 Definições e indicadores utilizados em manutenção

Nesta secção aborda-se a terminologia corrente em manutenção de acordo com a norma Portuguesa NP EN 13306:2007, também susceptível de ser utilizada em equipamentos electromecânicos AVAC. Vão ser enumerados alguns indicadores de performance ou desempenho vulgarmente designados por (*KPI's*) que permitem aferir acerca da eficácia das políticas de manutenção que estão a ser utilizadas, custos envolvidos, atrasos nas intervenções, eventuais lacunas, eficácia de planeamento, incumprimentos diversos, etc. Muitos destes indicadores podem ser calculados com base na actuação do agente, desde que exista historial e registos adequados. O tipo de registo a efectuar, considerando a deliberação do agente, será também abordado posteriormente, no capítulo 5.

2.1.1.1 Terminologia

A terminologia vulgarmente utilizada em manutenção, de acordo com a NP EN 13306:2007 em vigor, pode ser consultada no *Anexo II*.

2.1.1.2 Indicadores e KPI's com interesse em contexto proactivo

“É impossível gerir aquilo que não controlamos e não podemos controlar aquilo que não medimos!” (Peter Drucker).

Relativamente aos indicadores de manutenção pode-se referir que a medição do desempenho da manutenção é um princípio fundamental para a sua gestão optimizada, permitindo identificar falhas com os níveis de eficácia pretendidos que, desde que criteriosamente utilizados, identificam também objectivamente onde se deve intervir para eliminar possíveis lacunas, não detectáveis facilmente de outra forma. De acordo com (Weber & Thomas, 2005), podemos sumarizar as características e objectivos dos indicadores mais significativos num contexto proactivo, que no âmbito do presente trabalho se pode resumir à Tabela *A.II.1*, em *anexo*. De igual forma remete-se para o *Anexo II*, os respectivos KPI's e tabelas.

2.2 Tipos de manutenção comuns em AVAC

De uma forma geral, podem-se agrupar da seguinte forma as operações de manutenção relativamente ao modo de abordagem de resolução de avarias que possam ter ocorrido ou que tenham uma probabilidade de vir a ocorrer (Stoneham, 1998):

- Manutenção correctiva
- Manutenção preventiva sistemática
- Manutenção preventiva condicional
- Manutenção preditiva

2.2.1 Manutenção correctiva em equipamentos AVAC

Esta é a forma mais óbvia e primária das operações de manutenção, podendo-se traduzir basicamente pela reparação da avaria após a sua ocorrência. É geralmente a forma mais onerosa de manutenção (Dhillon, 2006) originando normalmente:

- Uma utilização inferior à expectável em relação às máquinas e equipamentos que constituem o sistema AVAC.
- Uma diminuição da vida útil dos equipamentos e instalações.
- Paragens obrigatórias dos equipamentos completamente aleatórias, que podem ocorrer nos períodos mais inoportunos.
- Uma insatisfação garantida do cliente ou utilizadores do equipamento AVAC.
- Uma degradação ou perda total de bens que possam estar sujeitos a limites apertados de temperatura e humidade.

É um tipo de abordagem da manutenção a evitar a todo custo, não sendo dispensável poderá ser minimizada. A diminuição das operações de manutenção correctiva é também um dos objectivos do presente trabalho.

De acordo com (Souris,1992), para uma intervenção correctiva, optimizada e bem sucedida, é necessário ainda que exista:

- Pessoal previamente treinado, para intervir com a celeridade e proficiência desejadas, dependendo a celeridade da reparação da qualidade do diagnóstico.
- Meios materiais necessários à acção correctiva e adaptados aos equipamentos existentes e disponíveis no próprio local.
- Ferramentas necessárias para todos os tipos de intervenções que se revelem necessárias e que possam ser efectuadas no próprio local.
- Manuais detalhados de manutenção correctiva referentes aos equipamentos. (Na prática nem sempre existem no local da intervenção manuais detalhados, não estando regra geral atempadamente disponíveis às equipas de reparação/manutenção.
- Desenhos detalhados dos equipamentos e circuitos actualizados (não se disponibilizam facilmente para a maioria dos equipamentos AVAC de pequeno e médio porte).

- Stock de sobressalentes garantidos por uma gestão com pontos de encomenda mínimos.
- Formação contínua dos responsáveis da manutenção.
- Efectuar um registo dos custos directos e indirectos associados a cada intervenção. (A maioria das empresas trata estes dados de uma forma incipiente e muito primária, o que deve ser evitado a todo o custo).

Esta política de manutenção implica custos de operacionalidade consideravelmente elevados, sobretudo em equipamentos com um grau de complexidade elevado.

2.2.2 Manutenção Preventiva de equipamentos AVAC

A manutenção preventiva tem como base a prevenção de anomalias ou falhas que possam originar a paragem ou inclusivamente a redução da eficiência dos equipamentos. Revela-se de extrema importância quando os sistemas não possuem redundância. Esta política de manutenção baseia-se fundamentalmente em:

- Estudos estatísticos de dados adquiridos ao longo do tempo.
- Estados de operacionalidade dos equipamento, revelando-se a monitorização uma ferramenta indispensável para uma avaliação eficaz do estado dos equipamentos, apesar de se tornar onerosa devido à necessidade de equipamentos específicos, formação ou recurso a especialistas.
- Consumos de energia. O controlo dos consumos de energia e a sua consequente redução é um objectivo de políticas de manutenção preventivas.
- Manuais e esquemas do fabricante (condições ideais de funcionamento, periodicidade de lubrificação, etc.). Nem sempre estas informações estão à disposição das equipas de manutenção que funcionam muitas vezes em regime de subcontratação, onde as intervenções se revelam esporádicas e de qualidade duvidosa, sobretudo em pequenas e médias instalações.

Este tipo de manutenção tem inúmeras vantagens em relação à manutenção correctiva, tais como:

- Diminuição das intervenções correctivas, com a conseqüente redução do seu custo.
- Diminuição implícita da ocorrência de anomalias susceptíveis de acontecerem nos momentos mais críticos.
- Um aumento substancial da taxa de utilização dos equipamentos, o que se traduz numa enorme mais valia.

2.2.2.1 Manutenção preventiva sistemática de equipamentos AVAC

É o tipo de manutenção efectuada periodicamente em função do cumprimento de um planeamento pré-determinado, onde o factor determinante pode ser o tempo (de uma forma genérica), de vida útil de determinados componentes, o número de horas trabalhadas ou qualidade do ar interior requerida, entre outros. O planeamento das intervenções é estruturado com a entrada em funcionamento da instalação ou equipamento novo, ou depois de sujeito a uma revisão geral, ou parcial. É o método que se aplica normalmente depois de conhecer de antemão as leis de degradação dos materiais/equipamentos ou o seu MTBF (tempo médio entre a ocorrência de avarias). Utiliza-se sobretudo em equipamentos com custos de avaria elevados, ou a operar em condições consideradas críticas como é muitas vezes o caso dos equipamentos AVAC (por exemplo em hospitais). Na Figura 2.2 pode-se observar duas (UTA's) em controlo de condição simultâneo.



Figura 2.2 – Manutenção preventiva com recurso a monitorização
(Mitplc, 2011)

2.2.2.2 Manutenção preventiva condicional em equipamentos AVAC

É o tipo de manutenção que se baseia na utilização de dados reais obtidos *on-line* (ou não) acerca do estado do equipamento (autodiagnóstico, informação fornecida por sondas, sensores diversos, análise de vibrações etc.). Não se conhece à partida a lei da degradação destes equipamentos e a sua previsão revela-se extremamente complexa, pelo que este é um tipo de manutenção onde se valoriza imenso a experiência do operador, que regra geral, fundamenta os diagnósticos mais complexos.

Na Figura 2.3 pode observar-se a imagem termográfica de um compressor, a qual nos fornece diversas informações, como por exemplo as temperaturas em jogo e as zonas de aquecimento anormal que podem indiciar avarias.

De referir que esta ferramenta é adaptável às condições do ambiente MAS, permitindo aos agentes a interpretação das diversas zonas e cores.

É uma política de manutenção eficaz mas de implementação algo complexa.

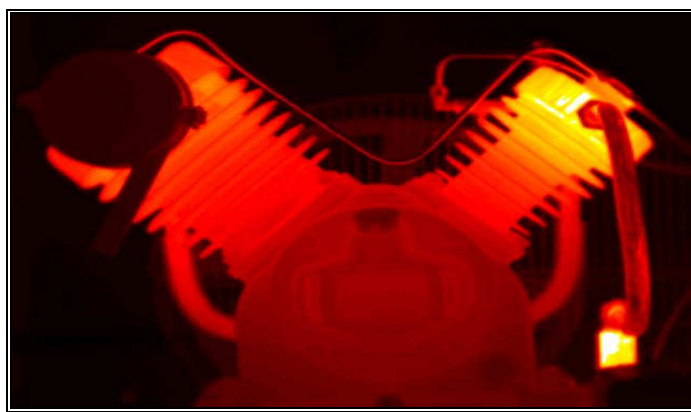


Figura 2.3 – Termografia dum compressor
(Stuart, 2011)

2.2.3 Manutenção preditiva em equipamentos AVAC

É a política de manutenção que se estrutura na observação de marcadores externos (controlo de condição). É essencial que os dados recolhidos possam servir para a caracterização de um estado sem grandes margens de erro. Devem-se evitar tomadas de

decisão pouco reflectidas e que possam acarretar custos elevados os quais certamente não terão o retorno esperado.

No entanto, os marcadores visíveis exteriormente, nem sempre se traduzem em factos susceptíveis de serem avaliados com um elevado grau de confiança, além de que a sua medição se verifica ser, por vezes, uma tarefa bastante complexa, tornando a política preditiva uma tarefa extremamente árdua.

A escolha dos métodos utilizados no controlo de condição (análise de vibrações, termografias e ensaios não destrutivos, ultra sons, ferrografias, etc.) varia de caso para caso, pelo que é correcto afirmar que a manutenção preditiva é um método que se baseia na operacionalidade do equipamento e dos seus sistemas, com o intuito primeiro de optimização de todos os processos associados à manutenção dos mesmos (Arqués, 1996). Trata-se pois de uma política de manutenção que se baseia na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento é sistemático e planeado sendo um dos seus principais objectivos permitir que o equipamento opere continuamente durante o maior intervalo de tempo possível.

2.3 Avaliação da capacidade operacional de equipamentos/sistemas

A capacidade operacional duma máquina está correlacionada em cada instante com a sua condição. Devem ser sempre equacionados os seguintes factores :

- Qual o nível de risco tolerável?
- Quais os riscos associados ao equipamento AVAC em questão? O equipamento é crítico?
- O equipamento é redundante?
- Qual a grandeza do risco associado a uma operacionalidade forçada?
- Qual a possibilidade de diminuição da probabilidade de acontecimento de determinado evento e de que forma podemos diminuir essa possibilidade?
- Qual o custo associado à diminuição pretendida da probabilidade de ocorrência?

Deve-se analisar o problema numa óptica primária, ou seja, procurando os motivos da falha na sua raiz. A Tabela 2.1 faculta algumas indicações sobre a origem de falhas em equipamentos electromecânicos (Arquès, 1996).

Causas	Frequência de ocorrência (%)
Falha mecânica	38
Erro operacional	26
Diversos	12
Processo divergente	10
Causa natural	7
Erro de concepção	4
Sabotagem	3

Tabela 2.1 – Causas reportadas de 100 acidentes significativos em equipamentos electromecânicos

2.4 Operações de manutenção frequentes em equipamentos electromecânicos para AVAC

Relativamente às operações de manutenção mais frequentes efectuadas em equipamentos AVAC podem-se referir algumas que são imprescindíveis para garantir uma operacionalidade minimamente satisfatória daqueles equipamentos e que devem ser consideradas em qualquer planeamento de acções de manutenção (Langley, 1999) tais como:

- 1) Limpeza ou troca dos filtros de ar;
- 2) Monitorização da queda de pressão nos filtros;
- 3) Limpeza das grelhas ou registos de entrada de ar;
- 4) Vigilância do desgaste de rolamentos em elementos rotativos;
- 5) Verificação do funcionamento da gestão técnica centralizada, caso exista;

- 6) Medição da dosificação química da água, caso a UTA funcione com baterias de água;
- 7) Limpeza e desinfecção dos depósitos de água;
- 8) Limpeza dos sistemas de distribuição de água;
- 9) Limpeza das superfícies dos motores e ventiladores;
- 10) Avaliação da pressão e temperatura de funcionamento no compressor no caso de estarmos em presença de baterias de expansão directa;
- 11) Verificação do estado das envolventes, estruturas ou partes móveis da máquina;
- 12) Provas de corrosão de todas as partes da máquina;
- 13) Desinfecção de todos os sistemas de distribuição de ar ou água;
- 14) Verificação dos estados das escovas dos motores eléctricos;
- 15) Verificação da medida da intensidade dos motores eléctricos a plena carga;
- 16) Inspeção e análise do isolamento eléctrico;
- 17) Verificação da correcta utilização dos fusíveis e interruptores;
- 18) Ajustes da tensão das correias dos ventiladores;
- 19) Verificação da calibragem dos fluxostatos;
- 20) Verificação do funcionamento dos contadores horários;
- 21) Investigação da origem de ruído e vibrações;
- 22) Detecção de possíveis fugas de fluidos;
- 23) Lubrificação e teste dos registos de ar;
- 24) Verificação dos desapertos estruturais;
- 25) Verificação da existência e estado da documentação fornecida;
- 26) Verificação da limpeza de sistemas de sobrecarga e drenagem;
- 27) Verificação do estado da galvanização ou qualquer outra protecção contra corrosão;
- 28) Verificação dos filtros na tubagem;
- 29) Verificação da calibragem de sensores de pressão, temperatura, humidade etc.;
- 30) Registo das pressões de ar, água e fluido frigorífero;
- 31) Verificação da actualização do “diário” de registos de avarias e manutenção;
- 32) Verificação das pressões e temperaturas de fluido frigorífero no caso da expansão directa;
- 33) Verificação das bombas e ventiladores de reserva, e outros eventuais equipamentos ou produtos necessários ao bom funcionamento da UTA;

- 34) Verificação da operacionalidade de permutadores;
- 35) Verificação do funcionamento de válvulas e motores em modo automático e manual;
- 36) Verificação do estado e limpeza de sedes de válvulas;
- 37) Verificação do estado do isolamento térmico.

Estas operações básicas devem ser efectuadas com diferentes periodicidades, e podem e devem ser encaradas de uma forma proactiva.

Um sistema inteligente, poderá de uma forma automática resolver problemas de planeamento e calcular a probabilidade de falha, deixando ao agente humano apenas a deliberação sobre aqueles factores ou decisões, que pela sua complexidade em conseguir encontrar instrumentação adequada, ou pelo facto de se traduzirem em custos proibitivos, não devam ser detectados de forma totalmente automática.

2.5 A importância da proactividade na manutenção de equipamentos electromecânicos

De um modo geral podemos abordar a manutenção através de duas filosofias: a reactiva e a proactiva. Por definição *“proactivo” é “aquele ou aquilo que tende a criar ou a controlar uma situação, tomando a iniciativa, e não apenas reagindo a essa mesma situação”*.

- **A abordagem reactiva** tenta responder a uma necessidade real e urgente e a sua eficácia depende da rapidez e duração das acções a empreender.
- **A abordagem proactiva** pretende encontrar soluções no controlo de condição dos equipamentos através das técnicas normalmente utilizadas para o efeito. A grande maioria dos procedimentos correctivos e preventivos têm origem na sequência dos resultados de inspecções e técnicas preditivas.

Os principais objectivos da abordagem proactiva são:

- Uma manutenção objectiva e permanente do desempenho dos equipamentos, de acordo com as especificações estabelecidas;

- Uma manutenção da capacidade produtiva e a melhoria contínua dos equipamentos ou serviços.

2.5.1 Filosofia de gestão subjacente à manutenção proactiva

Uma das grandes vantagens da manutenção proactiva é a diminuição do risco associado à falha ou anomalia dos equipamentos. Devem ser ponderadas as seguintes questões, quando se pretende agir de uma forma proactiva segundo (Khan & Haddara, 2005):

- Quais as variáveis que podem ser controladas ou não e que permitam induzir uma falha no sistema;
- De que forma é que a falha pode ocorrer;
- Qual a probabilidade da sua ocorrência;
- Caso ocorra uma falha quais as suas consequências.

Em AVAC, a análise dos dados provenientes das monitorizações ou outras fontes estatísticas deve ser ponderada (Stoneham, 1998), pelos seguintes requisitos:

- Condições de avaliação;
- Idade da unidade;
- Tempo de reparação e custos de materiais;
- Custo da substituição da unidade em situações de emergência;
- Nivel de eficiência da unidade;
- Custos de operacionalidade do equipamento.

Podemos dizer que actualmente, apesar de vários anos de estudos, demonstrações e experiência acumulada, a grande maioria das instalações AVAC realizam ainda as suas tarefas de manutenção num modo reactivo. Uma das principais razões apontadas é, sem dúvida, a falta de recursos financeiros disponíveis para o efeito. Se pensarmos que cerca de 40% da energia total consumida em espaços comerciais e em escritórios é da responsabilidade dos sistemas AVAC, é fácil perceber que conseguir manter estes equipamentos em condições de funcionamento óptimas deverá ser o primeiro passo na

racionalização e gestão da energia consumida. A importância de uma selecção cuidada e criteriosa de processos de manutenção adequados, é extremamente importante, inclusivamente para além da necessidade de racionalização da energia. Veja-se, por exemplo, a maioria dos sistemas de telecomunicações, que requerem especificações precisas da sua própria envolvente, temperatura e humidade relativa, que quando fora dos apertados limites de funcionamento podem levar a uma interrupção no serviço destes sistemas e originar sérios prejuízos financeiros.

Um bom plano de manutenção propicia uma poupança energética na ordem dos 20% a 30% segundo (Piper,2009), comparativamente a uma instalação onde não exista qualquer plano de manutenção minimamente adequado e esta seja realizada sempre na forma mais onerosa: a correctiva. Por tudo isto, a proactividade é um método que se traduz sempre numa mais valia em qualquer instalação ou equipamento electromecânico.

De acordo com (Piotrovsky,2001), a redução de custos efectivos em equipamentos electromecânicos devido a uma boa política de manutenção proactiva, em relação a uma política reactiva desadequada, são dados pela Tabela 2.2.

POLÍTICA DE MANUTENÇÃO	CUSTOS [\$/HP]	POUPANÇA
Reactiva	\$ 18 HP	\$ -----
Preventiva	\$ 13 HP	\$ 5 H/P
Preditiva	\$ 9 HP	\$ 9 H/P
Proactiva	\$ 6 HP	\$ 12 H/P

Tabela 2.2 - Poupança devida a manutenção proactiva (Piotrovsky,2001).

Termografia, análise de vibrações, ferrografia, ultra-sons, análises químicas, etc., são algumas das técnicas não invasivas utilizadas no âmbito preventivo e consequentemente são também, e por inerência, ferramentas proactivas.

O registo histórico de avarias do equipamento é normalmente um valioso auxiliar ao diagnóstico, quando utilizado com bom senso e em “auxílio” às medidas já descritas anteriormente. Um conhecimento profundo do funcionamento do equipamento, torna-se

também indispensável para um diagnóstico fiável. Um modelo que permita simular avarias é também um precioso auxiliar. O conhecimento do nível de degradação de determinadas funcionalidades ou materiais e peças constituintes do equipamento permite planear de uma forma eficaz e antecipadamente possíveis acções de manutenção (Arquès 1996).

O critério de selecção de uma técnica de controlo de condição para uma máquina crítica, depende do tipo de componente que se revele menos fiável e da forma como a avaria evolui. Devem então ser considerados métodos que permitam o controlo de condição desses mesmos componentes menos fiáveis com um grau de eficácia aceitável.

Uma correcta política de manutenção preventiva/proactiva origina:

- Aumento de segurança;
- Redução de custos de manutenção;
- Aumento de disponibilidade dos equipamentos.

É importante que no seguimento de qualquer política de manutenção preventiva/proactiva adoptada em AVAC, se considere o seguinte (Cabral, 1998):

- Definição, tanto quanto possível, de avarias a detectar em cada equipamento (válvulas, ventiladores, baterias, registos, etc...)
- Definição das melhores técnicas a aplicar.
- Instrumentação adequada.
- Tratamento da informação (tipo de bases de dados, linguagem).
- Procedimentos de medida *standard* para todos os equipamentos semelhantes.
- Planeamento das inspecções.
- Formação e sensibilização dos agentes humanos e utilizadores.

Podemos observar na Figura 2.4 o aspecto de um software de monitorização de parâmetros operacionais em (UTA's).



Figura 2.4 – Software de monitorização de uma UTA em ambiente Windows
(Morphfx, 2011)

No capítulo seguinte analisam-se os sistemas multiagente os quais são, definitivamente, uma óptima solução para a construção de um algoritmo inteligente para gerir de forma proactiva a manutenção de equipamentos electromecânicos. É feita uma reflexão sobre o tipo de agente que mais interessa aos objectivos que se pretendem atingir, nomeadamente a proactividade e a optimização da manutenção de equipamentos electromecânicos destinados a AVAC, por vários motivos:

- Possibilitam uma modularidade de construção ao nível da programação, permitindo acrescentar agentes de uma forma fácil e robusta.
- Possibilitam um paralelismo na computação, permitindo uma maior rapidez de processamento.
- O sistema é fácil de reconfigurar, caso tal seja necessário.
- Interagem bem com objectivos distintos de projecto.

(no caso de estudo, torna-se fácil definir novos limites para determinadas funções utilizadas).

- Possibilitam a redundância dos sistemas, podendo envolver vários agentes em tarefas similares.
- Permitem estruturas mais simplificadas em sistemas complexos.

Capítulo 3

Sistemas Multiagente

3.1 Sistemas multiagente comportamentos / envolventes

As técnicas de controlo inteligente utilizando agentes inteligentes, tentam recriar as condições de sistemas biológicos naturais existentes. São exemplos a organização funcional dum conjunto de formigas, de um conjunto de abelhas, cupins, ou qualquer outro sistema onde se suponha existir, para cada estímulo, uma resposta (Ferber & Gasser, 1995). A Figura 3.1 exemplifica de uma forma genérica a arquitectura de um sistema multiagente, que controla remotamente aplicações em ambiente Windows, utilizando os recursos de uma base de dados única, tipo de sistema mais utilizado quando estamos na presença de um baixo número de agentes.

Podemos definir um agente como um sistema computacional situado numa determinada envolvente, capaz de executar tarefas de uma forma autónoma, tendo em vista o cumprimento dos seus objectivos (Wooldridge, 2002; Mendes, 2008).

Em MAS, um comportamento global inteligente pode ser alcançado através do comportamento individual dos seus agentes intervenientes, não sendo necessário que todos eles apresentem comportamentos inteligentes.

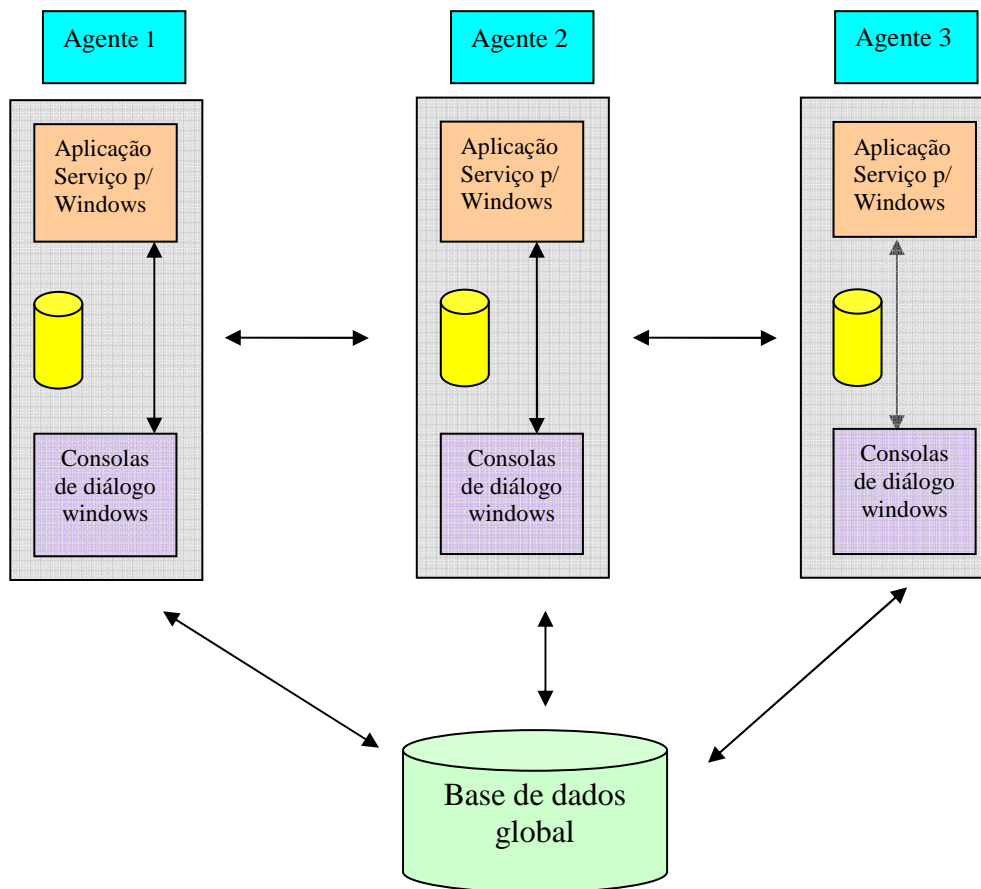


Figura 3.1 – Exemplo de um sistema multiagente integrado
(Ferber & Gasser, 1995)

É importante que os agentes numa determinada envolvente possam interagir com o agente humano de uma forma harmoniosa e complementar, criando um espírito de entreatajuda mútuo (Xiang, 2002).

A decisão sobre a acção a tomar é determinada pelo agente, considerando as mudanças operadas no ambiente em que actua; Em AVAC, (pressões, temperaturas e humidades são normalmente as envolventes mais comuns) ponderando a urgência, grau de importância e prioridades, no cumprimento dos seus objectivos.

Num determinado sistema designam-se por agentes as suas entidades activas, formando este conjunto de entidades uma sociedade. As entidades consideradas passivas são traduzidas pelo ambiente.

O fluir da informação entre agentes, ou entre agentes/ambiente, pode ser efectuada de uma forma explícita (comunicação explícita), ou de um modo indirecto (emissão de sinais através do ambiente) e designa-se por interacção entre agentes.

Podem-se classificar os Agentes em três grandes classes:

- Agentes cognitivos/deliberativos.
- Agentes reactivos.
- Agentes híbridos.

3.1.1 Agentes do tipo cognitivo/deliberativo

Este tipo de agentes baseia-se em organizações sociais humanas, tais como grupos, hierarquias e mercados. Segundo (Ferber & Gasser,1995), as principais características dos sistemas cognitivos são as seguintes:

- Representação explícita de agentes participativos, assim como do seu ambiente.
- Possuidores da capacidade de obter registos de acções e interacções que já ocorreram, o que lhes permite prever ou planejar futuras acções.
- Comunicam e percebem de forma distinta.
- A comunicação estabelece-se de modo directo, na forma clássica.
- Mecanismo de operação deliberativo. Os agentes cognitivos raciocinam e decidem em comunidade (acções, planeamento, objectivos).
- Um MAS cognitivo contem normalmente poucos agentes, algumas dezenas no máximo, pela complexidade que a sua arquitectura pode assumir.

Na Figura 3.2, podemos observar ainda que de uma forma genérica, a arquitectura de um agente cognitivo.

- O agente aprende sobre os demais agentes utilizando informação armazenada numa estrutura própria para descrições externas. Este possui vários estados internos: (RS) estado de raciocínio, (DS) estado de decisão e (CS) estado de comprometimento. O processo de mudança de estados internos resulta de operações de processamento interno. (Xiang, 2002).

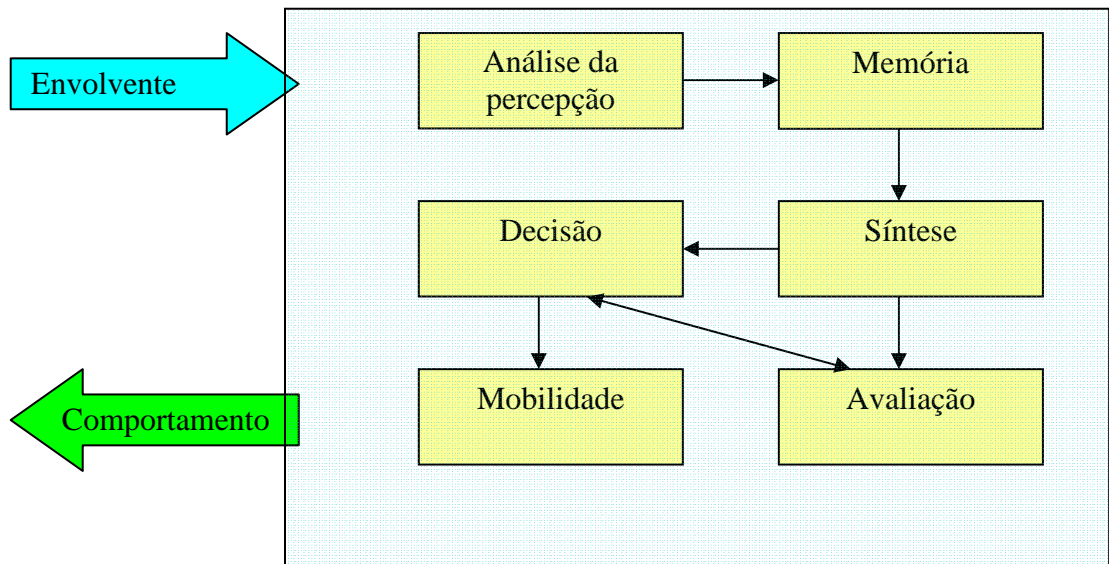


Figura 3.2 – Estrutura de um agente cognitivo
(Weiss, 1999)

3.1.2 Agentes do tipo reactivo

Os agentes reactivos fundamentam-se em modelos de organização biológica (formigas, cupins, abelhas, etc..) que possuem estruturas funcionais que se baseiam na dualidade estímulo – resposta. As suas principais características são, de acordo com (Ferber & Gasser,1995):

- Previsibilidade do conhecimento (possuem regras de comportamento) e definem de uma forma directa o comportamento dos agentes intervenientes.
- O ambiente não possui uma representação explícita.
- Não possuem registo das acções (este tipo de agentes não regista acções passadas nem futuras).
- A sua capacidade de organização é semelhante à observada em animais que coexistem em grandes comunidades
- Grande número de membros, com comunidades que podem atingir milhares de membros.

Possuem uma estrutura muito mais simplificada que os cognitivos. Os seus *outputs* dependem exclusivamente da sua percepção do ambiente. Estes tipos de agentes estruturam o problema, interagindo entre si, cada um com objectivos individuais distintos. Um conjunto de regras é normalmente suficiente para representar as opções destes agentes. Na Figura 3.3 pode-se observar a estrutura de um agente reactivo.

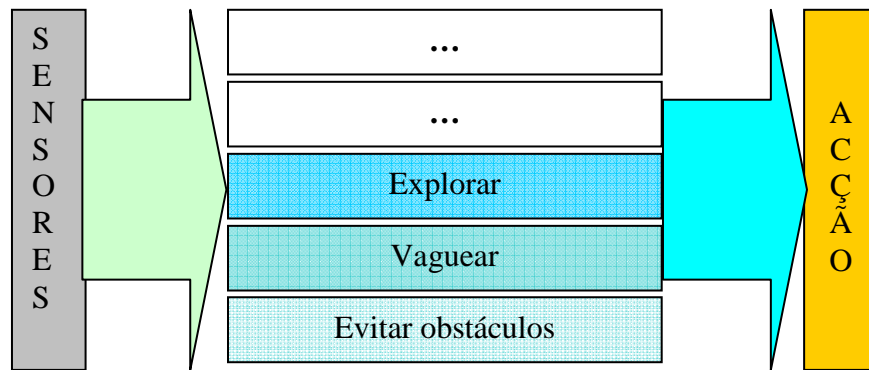


Figura 3.3 – Estrutura básica simplificada de um agente reactivo
(Wooldridge, 2002)

Na Figura anterior podemos observar o comportamento de um robot em exploração autónoma. O agente reactivo controla os movimentos em função da informação sensorial que possui.

De acordo com (Rocha *et al.*, 2008), um conjunto de regras deve representar o conhecimento sobre os relacionamentos do ambiente e adequar-se à resolução de problemas utilizando o conteúdo das regras. Podemos representar um conhecimento adquirido de duas formas:

- **Tipo declarativo** : O conhecimento é definido e está bem especificado, enquanto que a sua interpretação não é definida.
- **Representação de procedimentos** : As informações de controlo necessárias ao uso do conhecimento disponível estão disponíveis no próprio conhecimento. Para utilizar este tipo de representação é necessária também a utilização de instruções específicas sobre a informação, estruturadas sob a forma de dados contidos no conhecimento.

Algumas das grandes vantagens na sua utilização estão relacionadas com os seguintes factores:

- A dimensão do problema ser demasiado elevada para ser resolvida por apenas um agente.
- Permitir a manutenção entre múltiplos sistemas legados, onde a manutenção do código genético deixou de ser possível. (Por exemplo quando se substitui um equipamento ou sistema por outro semelhante, mas com características genéticas distintas).
- Providenciar soluções naturais para problemas distribuídos geograficamente e funcionalmente. (Adaptar a máquina às condições actuais de utilização, inclusivamente externas)
- Permitir uma interface de cooperação homem-máquina onde ambos podem operar como agentes.

Podemos considerar também que os MAS permitem uma maior optimização de recursos em problemas onde o conhecimento ou a acção não são linearmente distribuídos. Por exemplo, falhas de carácter aleatório em equipamentos. De acordo com (Stone & Veloso, 1996), existem várias razões substancialmente importantes para a utilização de MAS nestas circunstâncias:

- O domínio do problema assim o sugere devido por exemplo à distribuição espacial. (Equipamentos em destinos diferentes ligados remotamente. Por exemplo equipamentos para os mesmos fins, em localizações diferentes com modos de funcionamentos semelhantes)
- Rapidez de execução e processamento. Cada agente possuirá tarefas específicas atribuídas. (Em manutenção permitem uma maior celeridade na identificação do problema, mesmo que este se encontre ainda em fase incipiente.)
- Possibilidade de escalonar agentes, permitindo o aumento ou redução do seu número em sistemas abertos.
- Simplificação das tarefas de programação (subdivisão do problema em vários subproblemas). Cada sinal pode ser analisado a um nível superior, permitindo

maior detalhe e vice versa, (suponha-se um sinal de temperatura, com significado para um determinado intervalo e margem de erro).

- A facilidade com que os agentes operam entre si, facilita o estudo da IA e comportamentos sociais.

3.1.3 Agentes híbridos

Como o próprio nome indica, combinam a arquitectura dos sistemas cognitivos e reactivos, tentando categorizar as funcionalidades do agente em camadas dispostas hierarquicamente. Possuem uma arquitectura estruturada em níveis ou camadas.

3.2 Comunicação em MAS

A comunicação entre entidades computacionais é um dos problemas mais importantes das ciências da computação. A área dos MAS trata a comunicação a um nível bastante mais elevado do que em qualquer outra área. Linguagem de alto-nível, bastante próxima da linguagem utilizada por humanos é normalmente utilizada. Para além disso, um agente deliberativo ou híbrido possui uma representação interna do seu ambiente, conhecimento e capacidade de raciocinar, que se baseia no seu próprio conhecimento com origem nas suas percepções (em cada instante pode decidir sobre a melhor acção a empreender). De igual forma, assume-se que um agente tem capacidade para comunicar e alguma habilidade social (pode comunicar e interagir com outros agentes, nomeadamente humanos presentes na sua envolvente). A Figura 3.4 representa a arquitectura de comunicação de um agente, observando-se também na estrutura, as interligações às bases de dados fundamentais ao seu desempenho comportamental.

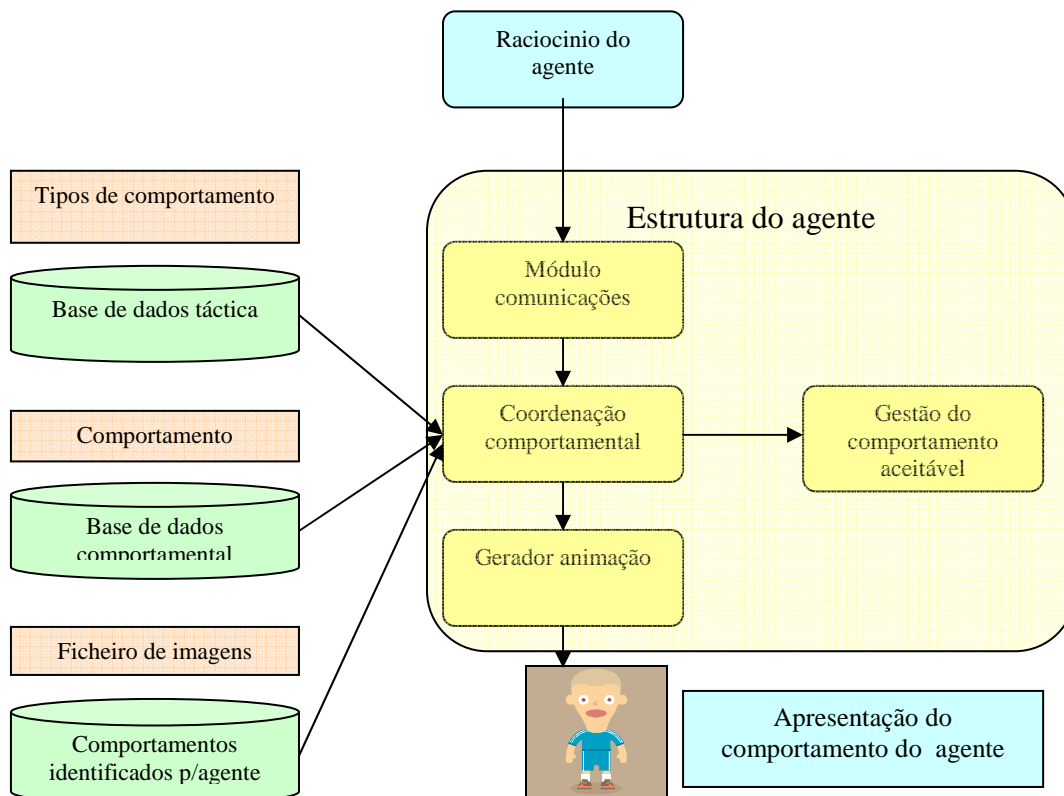


Figura 3.4 – Exemplo da arquitectura de comunicação de um agente
(Weiss, 1999)

É usual a utilização de um módulo de comunicações num agente que tem a seu cargo a percepção (recepção de mensagens) e a acção (envio de mensagens). Este módulo depende de forma directa do módulo central ou inteligente, de forma a que o processamento inteligente aconteça de uma forma natural.

3.2.1 Arquitecturas do sistema de comunicação

O sistema de comunicação entre agentes pode ter as seguintes arquiteturas segundo (Weiss, 1999).

- **Comunicação directa:**

Os agentes tratam da sua própria comunicação sem a intervenção de qualquer outro agente participante, partilhando especificações, enviando aos outros agentes as suas necessidades e/ou capacidades, de forma a que cada agente possa decidir sozinho as iniciativas a adoptar em matéria de comunicação. Não existe pois uma coordenação das comunicações, o que pode originar um bloqueio das mesmas, caso todos eles optem por estabelecer comunicações ao mesmo tempo. A Figura 3.5 exemplifica a comunicação directa.

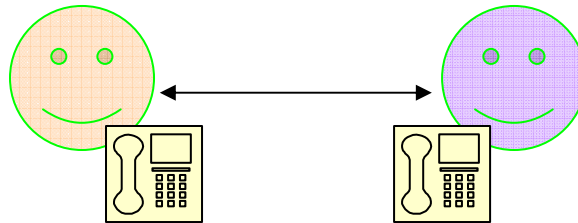


Figura 3.5 – Comunicação directa

- **Comunicação assistida:**

Os agentes comunicam entre si de uma forma ordenada, utilizando agentes especiais designados por agentes facilitadores. Neste tipo de arquitectura a organização é do tipo sistema federado; se determinado agente i pretender enviar uma mensagem a um outro agente j , será obrigado a enviá-la primeiro a um agente facilitador, que se encarregará de a reencaminhar ao seu destinatário. Esta arquitectura resolve parcialmente o problema da coordenação da comunicação e diminui bastante a complexidade envolvida nos processos comunicativos. Os agentes não necessitam de armazenar informação detalhada relativamente aos outros agentes e nem tão pouco saber a sua localização para comunicar, basta transmitir as suas intenções de comunicação ao agente facilitador. Este tipo de comunicação pode obviamente criar algum estrangulamento de comunicações. A fiabilidade do sistema também é questionável em determinadas condições limite; a falha

ocorrerá com o agente facilitador e este não pode nem deve falhar. A Figura 3.6 exemplifica uma arquitectura com agente facilitador envolvido.

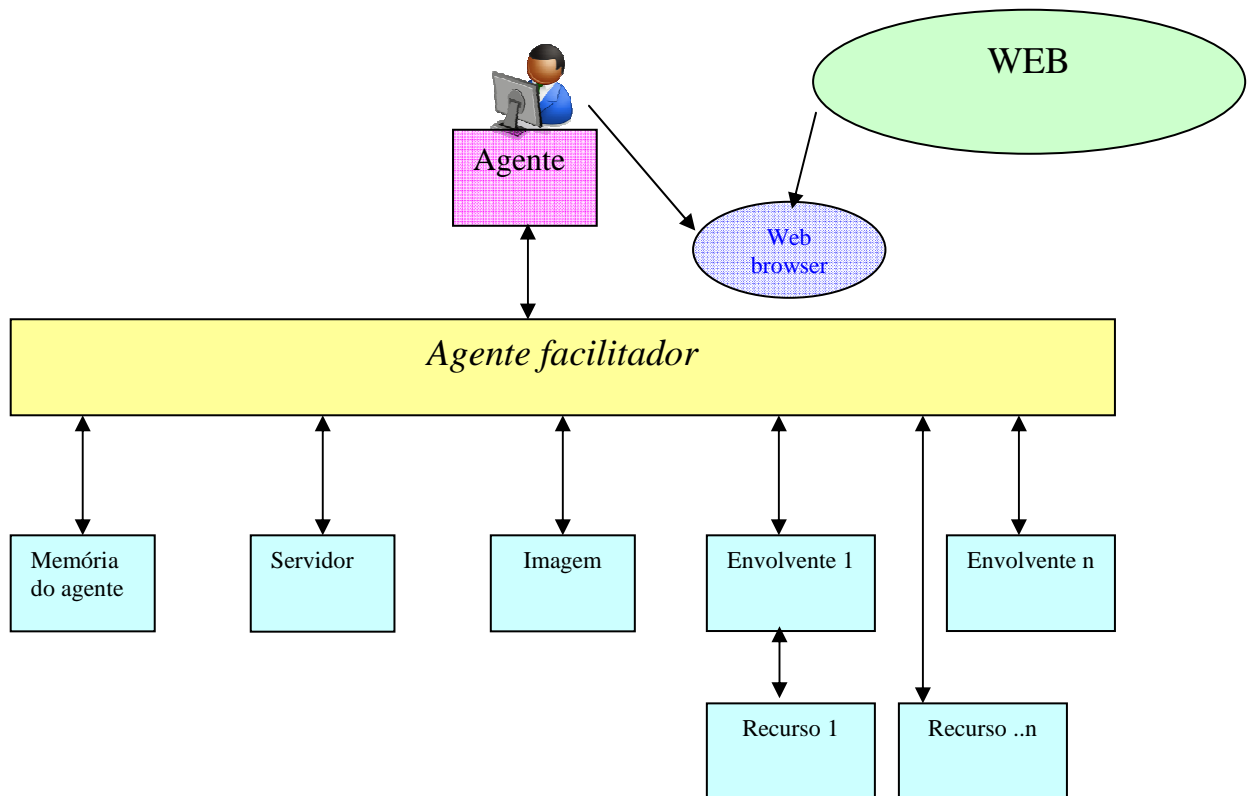


Figura 3.6 - Arquitectura de comunicação com agente facilitador
(University of Southampton, 2010)

A comunicação entre agentes está relacionada com o nível de estruturação das comunicações, podendo estas ser implementadas de duas formas:

- **Memória partilhada (quadro negro) por todos os agentes da comunidade.**
Utilizando uma base de dados única.
- **Passagem de mensagens entre agentes ou módulos destes.**
Utilizando bases de dados parciais e complementares.

Na Figura 3.7, pode-se observar uma arquitectura de comunicação com bases de dados parciais e chamadas de n agentes em diferentes redes parciais. Ao contrário do exemplo da Figura 3.1, esta arquitectura utiliza bases de dados parciais, e é bastante utilizada quando existe um elevado número de agentes.

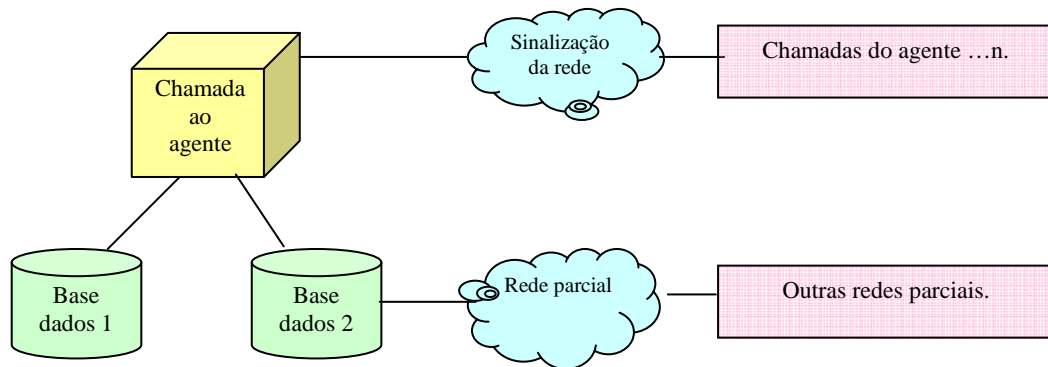


Figura 3.7– Arquitectura de comunicação entre agentes com utilização de bases de dados parciais

(Ferber & Gasser, 1995)

Regra geral, a forma de comunicação mais usual resume-se à troca de informação entre agentes, transmitindo ao sistema alguma eficácia.

Soluções de memória partilhada tornam-se mais complexas e obrigam a metodologias de sincronização de agentes.

Por sua vez, ao aplicar arquitecturas de comunicação directa deve-se prever que uma mensagem pode não ser recebida e vice-versa. O sistema deve ser dotado da fiabilidade exigida para prever estes acontecimentos (Weiss, 1999).

A utilização de uma arquitectura de comunicação assistida pode evitar as consequências referidas anteriormente, sobretudo quando o agente está dotado da capacidade de retenção de mensagens e reenvio periódico, até que o destinatário as receba, mas traduz-se regra geral numa redução de eficiência ao nível da transmissão. Uma solução de memória partilhada soluciona normalmente os problemas referidos anteriormente, podendo no entanto comprometer confidencialidades. O sistema deve prever mecanismos de controlo e vigilância necessários para prevenir estas situações.

Quando se comunica, deve-se pois levar em consideração segundo (Reis, 2003):

- **O que deve ser comunicado** – O agente deve raciocinar acerca do conteúdo das mensagens que vai enviar, considerando as características do canal à sua disposição.

- **Timing da comunicação** – A ponderação do *timing* considerando as capacidades à disposição.
- **Definição de quem recebe** – A decisão acerca do receptor da mensagem é importante, sobretudo quando se pretende que a comunicação a estabelecer seja bilateral.
- **Como comunicar** – Caso existam vários meios de comunicação, deve seleccionar o mais eficaz.

Tendo em vista os objectivos desta dissertação e os resultados que se pretendem obter, entendeu-se que um agente com comportamento proactivo com regras de comportamento pré estabelecidas onde não é necessária a representação explícita do ambiente, seria o mais indicado. Pretende-se também providenciar soluções naturais para problemas distribuídos funcionalmente. Houve ainda a preocupação de adaptar o algoritmo a uma comunicação do tipo directo. Caso se pretenda futuramente evoluir para mais agentes a controlar outros parâmetros, considerou-se que a partilha de informação, especificações etc, permitida por este tipo de comunicação seria suficiente. Como pode ser por exemplo o caso do controlo de pressões, humidade relativa, consumos eléctricos ou outros quaisquer parâmetros no âmbito de um desenvolvimento futuro desta dissertação.

No capítulo seguinte aborda-se a lógica *fuzzy* a qual, como já foi referido na introdução, é suficientemente robusta, versátil e de fácil implementação para atingir os objectivos propostos neste trabalho.

Capítulo 4

Lógica *Fuzzy*

4.1 Introdução à Lógica *fuzzy*

O domínio da aquisição de sinais em controlo de condição para diagnóstico de avarias e análise de tendências é um universo extremamente complexo, sobretudo pelo ruído induzido por envolventes complexas e ambientes ruidosos. É necessário saber utilizar os dados adquiridos, os quais no momento da aquisição são meros indicadores, na maioria dos casos fruto de uma conjugação de diversos factores e fenómenos que é preciso saber “filtrar” com bom senso e ponderação. A experiência adquirida ao longo do tempo é uma preciosa ajuda para eventuais diagnósticos que se revelem difíceis e de elevada responsabilidade.

Com o evoluir das ciências informáticas e o desenvolvimento da inteligência artificial, os cientistas e engenheiros estão cada vez mais interessados em criar métodos e técnicas que permitam a computação de dados com graus de incerteza diversos, recriando os mais diversos fenómenos naturais e artificiais.

Avaliar alterações de condições de funcionamento, quantificá-las, entender e apreender toda esta quantidade de informação, é extremamente importante para uma actividade como a manutenção, sobretudo quando o objectivo é diagnosticar anomalias ou falhas, encarando a sua resolução numa perspectiva proactiva.

E neste contexto lato, que a teoria *fuzzy* tem a sua grande mais valia permitindo que determinada função possa pertencer a determinado conjunto com valores que podem variar entre 0 e 1, $\mu_f \in [0, + 1]$, esta regra traduz e generaliza os princípios da teoria *fuzzy*.

O professor Lofti A. Zadeh sugere no seu princípio da incompatibilidade “*Quanto mais de perto examinamos um problema no mundo real, mais nos aproximamos de uma solução do tipo fuzzy*”, sugerindo que a complexidade é inversamente proporcional ao *know-how* que possuímos sobre determinado problema ou sistema. Quando a complexidade dos sistemas é elevada, os dados não são abundantes tornando-se vagos. Podemos utilizar este tipo de lógica para manipular estas informações, como é o caso de uma avaria num sistema electromecânico para AVAC. Na Figura 4.1, podem-se

observar funções *fuzzy* aplicadas à avaliação de temperaturas, o que se pode perfeitamente enquadrar num contexto proactivo de análise de tendência de qualquer peça ou equipamento sujeito a variações de temperatura, mediante a sua condição operacional. O gradiente de cor indica como se pode observar as diferentes temperaturas em jogo, podem-se observar também as funções triangulares de pertença *fuzzy*.

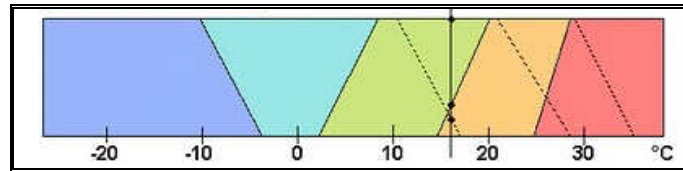


Figura 4.1 - Lógica *fuzzy* aplicada à avaliação de temperaturas
(Bojadziev & Bojadziev, 1995)

4.2 A importância da lógica *fuzzy* na indústria moderna.

Exemplos de aplicação.

Aparelhos, sistemas mecânicos, máquinas, existe todo um universo de equipamentos mecânicos que nos tempos modernos utiliza a lógica *fuzzy* para obter modos de funcionamento otimizados relativamente a processos mais convencionais.

O conceito *fuzzy* abriu definitivamente uma janela para um universo mais moderno, mais adaptado às reais condicionantes de uma nova indústria onde a tecnologia e a sofisticação sofrem todos os dias uma evolução sempre em prol de um melhor desempenho de sistemas e equipamentos que permitam ao ser humano um maior conforto e segurança. É esse o caminho neste século onde a informática reina sobre tudo e todos.

O fabricante japonês “*Toshiba*” foi o primeiro a produzir ar condicionado controlado por algoritmos baseados em lógica *fuzzy*, enquanto os antigos aparelhos de ar condicionado utilizavam apenas controladores *On/off*, baseados no desligar ou ligar do sistema quando determinados valores pré estabelecidos fossem atingidos. Os modernos aparelhos socorrem-se também da teoria *fuzzy* para reduzir os consumos energéticos, regular de uma forma mais eficiente a temperatura, assim como obter um funcionamento mais linear ou suave da máquina. O primeiro sistema *Inverter* de ar condicionado, como ainda são vulgarmente designados hoje em dia, surgiu em 1989.

Surgiram também nos últimos anos inúmeros aparelhos electrodomésticos e aparelhos de electromedicina, onde os conceitos *fuzzy* assumem posição de relevo.

Podemos observar na Figura 4.2 e Figura 4.3 exemplos de sensores e controladores muito utilizados na indústria actual, que baseiam o seu funcionamento em lógica *fuzzy*. Na figura 4.2 observam-se sensores com outputs lineares de (4 a 20) mA.



Figura 4.2 – Sensores de Temperatura *fuzzy*
(Globalspec, 2010)



Figura 4.3 – Controlador *fuzzy*
(Temflex, 2011)

Pode-se ainda referir por exemplo os famosos sistemas “ABS”, utilizados na indústria automóvel, capazes de detectar a velocidade do veículo, condições de aderência do piso e padrão de condução. Utilizam também conceitos *fuzzy* para o efeito.

4.3 Conceito de Grupos *fuzzy*

O conceito de *fuzzy set* como já vimos, admite níveis de pertença distintos de entidades a um determinado universo, simulando fenómenos reais ou artificiais (Bojadzyev & Bojadzyev, 1995).

O grau de pertença define-se no intervalo $[0, + 1]$. A função $\mu_A(x)$, representa basicamente o valor assumido $\{0,1\}$, pelos números contidos no intervalo referido .

Existem duas formas de identificar grupos *fuzzy* segundo (Cruz & Figueroa, 2010): Consideremos X o universo em análise, e x um elemento independente pertencendo a X, logo o grupo *fuzzy* A definido em X, pode ser definido como uma sucessão de pares ordenados.

$$A = (x, \mu_A(x)) \quad x \in X \quad (1)$$

Assim sendo, um par do tipo $(x, \mu_A(x))$ é um grupo singular. Por exemplo, o grupo *fuzzy* A pode ser definido como a sucessão dos seguintes números inteiros :

$$A = (1,1.0), (5,0.8)$$

Onde o segundo elemento de A descreve que 5 pertence a A num grau de 0.8. Podemos também descrever um grupo *fuzzy*, através de somatórios ou integrais de acordo com o tipo de universo, discreto ou contínuo:

Para um tipo de universo discreto a notação é a seguinte:

$$A = \sum_{xi \in X} \mu A(xi) / xi \tag{2}$$

Representa a conjunção dos grupos singulares pertencentes

Para um universo contínuo a notação é a seguinte:

$$\int_x \mu A(x) / x \tag{3}$$

4.4 Operações e funções *fuzzy* mais relevantes:

Intersecção e reunião de conjuntos são operações muito utilizadas em teoria *fuzzy* e descritas através dos operadores *min* (\wedge) e *máx* (\vee) respectivamente idênticos ao operador produto e soma em álgebra, (Chen & Pham, 2000). Objectivamente mantém-se o valor de mín e máx de um elemento :

Podemos então afirmar que :

$\mu A \wedge \mu B = \min (\mu A, \mu B) \cong \begin{matrix} \mu A \text{ se e só se } & \mu A \leq \mu B \\ \mu B \text{ se e só se } & \mu A > \mu B \end{matrix} \tag{4}$
--

$\mu A \vee \mu B = \max (\mu A, \mu B) \cong \begin{matrix} \mu A \text{ se e só se } & \mu A \geq \mu B \\ \mu A \text{ se e só se } & \mu A < \mu B \end{matrix} \tag{5}$
--

Dois tipos de funções também muito utilizadas em lógica *fuzzy* são :

- **Função Bell :**

$$\mu_{Bell} = \frac{1}{1 + |(x - 0.1)/3|^6} \quad (6)$$

- **Função triangular :**

$$\mu_{triangular} = \frac{2(x-1)}{7} \quad ; 1 \leq x \leq 9/2 \quad (7)$$

$$\mu_{triangular} = -\frac{2(x-8)}{7} \quad ; 9/2 \leq x \leq 8 \quad (8)$$

Podemos observar de seguida na Figura 4.4 o aspecto de funções de pertença *fuzzy* do tipo triangular que vão ser utilizadas na construção do agente e tipo Bell.

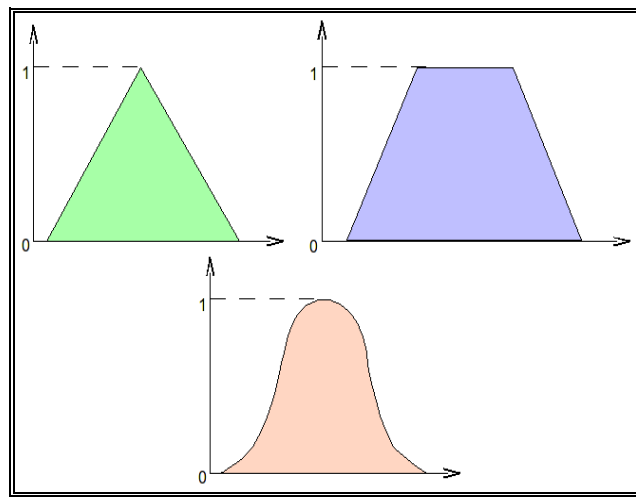


Figura 4.4 - Exemplos de funções de pertença *fuzzy*, do tipo triangular, triangular com patamar constante de pertença máximo e Bell.

(Cruz & Figueroa, 2010)

4.4.1 Propriedades dos grupos *fuzzy*

Segundo (Bojadzyev & Bojadzyev, 1995).

- Grupo vazio : se a função assumir o valor zero em todo o seu domínio
 $A = 0$, se $\mu_A(x) = 0, \forall x \in X$ (9)

- Grupo *fuzzy* normal : se a função assumir pelo menos num dos elementos do grupo o valor 1. $\mu_A(x) = 1$. (10)

- Reunião de dois grupos *fuzzy* : a reunião de dois grupos A e B, do mesmo universo de discurso X, resulta noutro grupo *fuzzy* onde o grau máximo de pertença é definido pelos elementos dos dois grupos.
 $\mu_{A \cup B}(x) \cong \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$. (11)

- Intersecção de dois grupos *fuzzy* : Representa o valor mínimo do grau de pertença de cada valor x do universo comum aos dois grupos.
 $\mu_{A \cap B}(x) \cong \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$. (12)

- Complemento de um grupo *fuzzy*: representa-se por \bar{A} o complemento do conjunto A. $\mu_{\bar{A}}(x) \cong 1 - \mu_A(x)$ (13)

- Produto de dois grupos *fuzzy*: representa o produto algébrico de duas funções A e B. $\mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$. (14)

- Potência de grupo *fuzzy*: A potência β de A (A^β), é representada linguisticamente por *VERY*. $\mu_{A^\beta}(x) \cong [\mu_A(x)]^\beta$. (15)

- Concentração : Elevar o grupo ao quadrado é designado linguisticamente Por CON. $\mu_{CON}(x) = \text{RAIZQ} \mu_A(x)$ (16)

4.5 Fuzificação

A fuzificação é utilizada para transformar um grupo comum de elementos num grupo *fuzzy*, quando necessário, também pode servir para aumentar o grau de fuzificação de determinado conjunto, utilizando uma acção de fuzificação F , por exemplo do tipo Bell ou triangular. Podemos observar um exemplo na Figura 4.5.

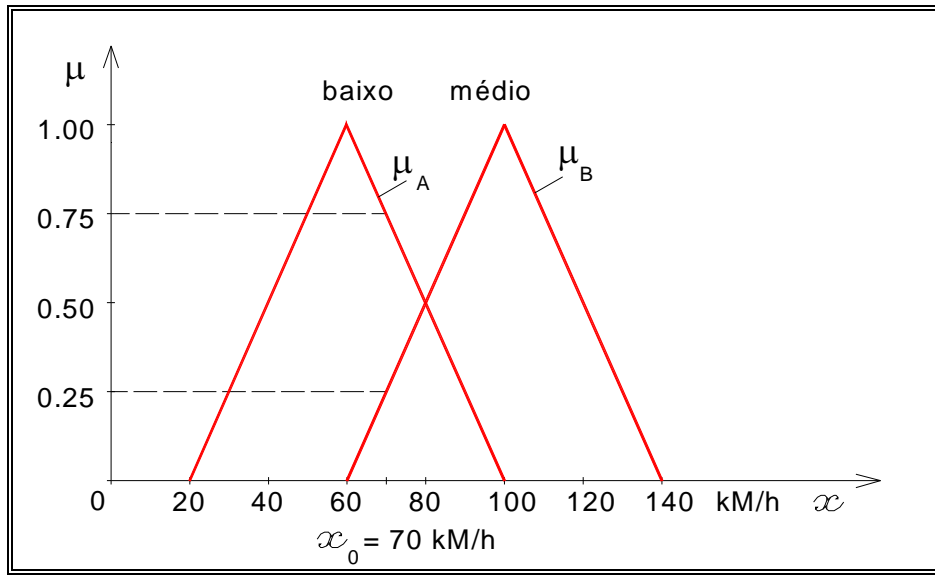


Figura 4.5 - Fuzificação do vector - velocidade de um automóvel.

(Chen & Pham, 2000)

4.6 Corte alfa

A função de corte alfa consiste na eliminação de um grupo de elementos comuns de A , pertencentes ao grupo *fuzzy* num determinado grau, onde o corte α , representa o grupo de elementos desse universo onde a função de A é maior ou igual a α . Na Figura 4.6 podemos observar uma função triangular afectada por um corte alfa.

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha, \quad 0 < \alpha \leq 1\} \quad (17)$$

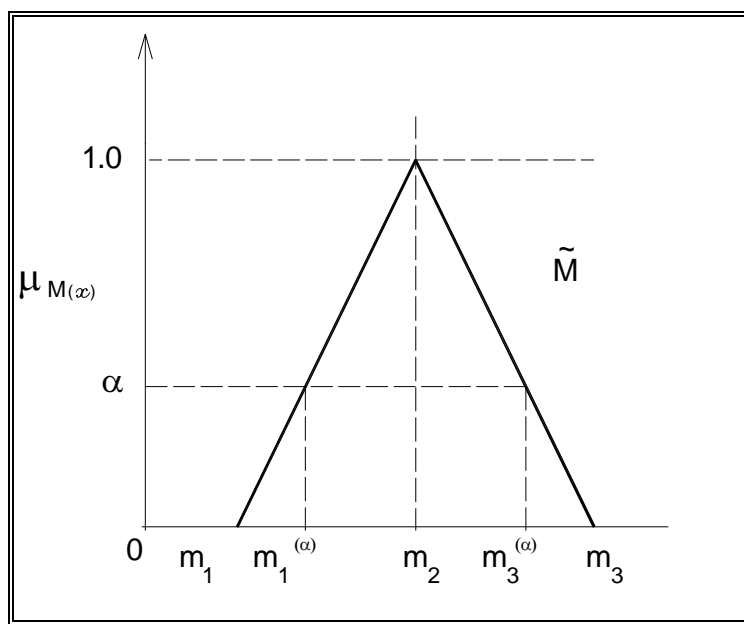


Fig 4.6 - Função triangular com corte α .

(Chen & Pham, 2000)

4.7 Relações entre grupos *fuzzy*

Enquanto grupos *fuzzy* são definidos num universo de discurso único, as relações *fuzzy* podem ser definidas em vários universos de discurso simultaneamente, (Kartalopoulos, 1996).

Se S representar um universo de discurso e A, B dois subgrupos, então $A \times B$ representa um produto no universo $S \times S$, e a relação *fuzzy* representa a relação entre elementos de A e de B , $\mu_{A \times B}(a,b), a \in A, b \in B$. Pode-se observar na Figura seguinte uma relação entre grupos *fuzzy*.

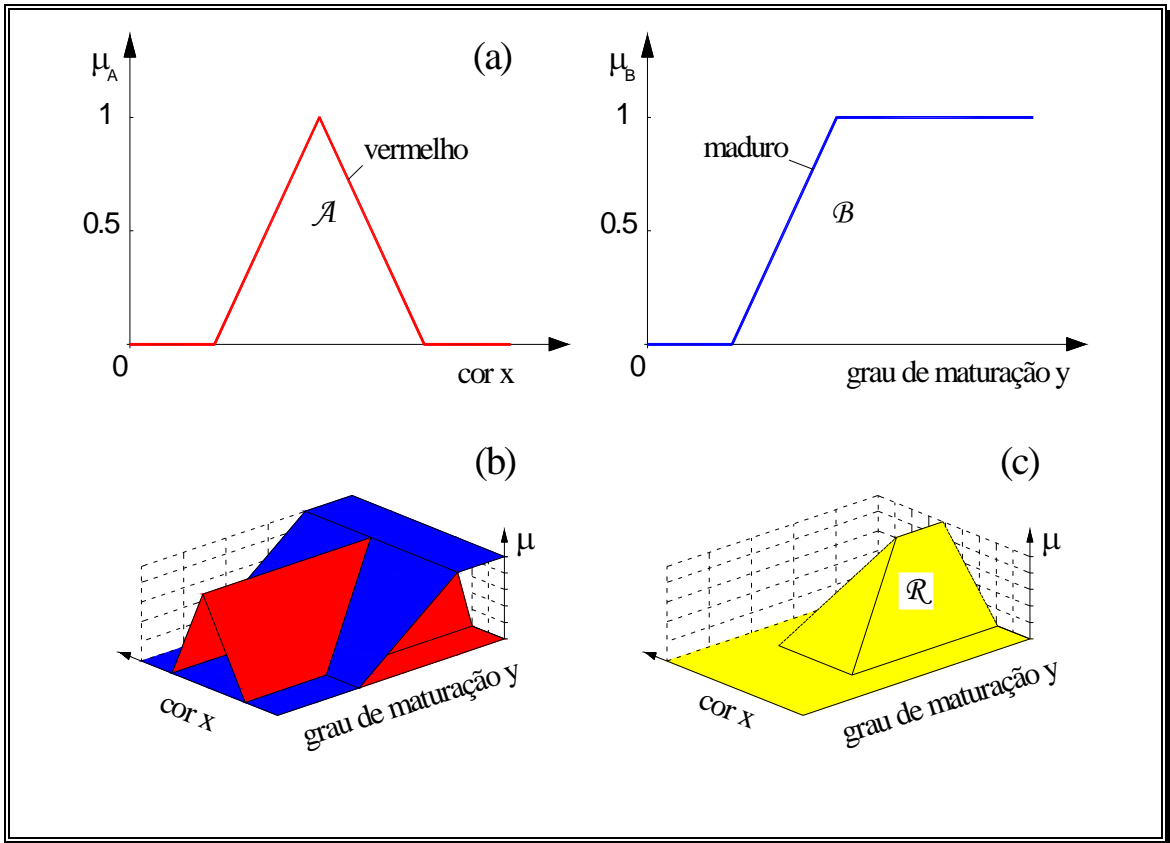


Figura 4.7 – Relação *fuzzy* identificando funções de pertença que indicam o grau de maturação de um fruto.
(Kartalopoulos,1996)

A tabela seguinte permite interpretar o grau de maturação através da cor do fruto. De uma forma semelhante poderemos interpretar anomalias de acordo com desvios de temperatura de maior ou menor grau em relação ao expectável.

	<i>Verde</i>	<i>Meio maduro</i>	<i>Maduro</i>
<i>verde</i>	1	0	0
<i>amarelo</i>	0	1	0
<i>vermelho</i>	0	0	1

Tabela 4.1 – exemplo de relação *fuzzy* para identificação do grau de maturação de 1 fruto.

O agente vai ser construído basicamente à custa da lógica *fuzzy*, por tudo o que já se referiu, mas também pelo facto de se adaptar perfeitamente às condições pretendidas de análise de temperaturas nas diversas secções da UTA, visto que a sua eficácia neste domínio é uma realidade..

Capítulo 5

Caso de estudo

5.1 Considerações gerais

Neste capítulo vai-se descrever a constituição de uma unidade de tratamento de ar, vulgarmente designada por UTA, que por definição pode ser uma unidade autónoma ou não, constituída por diversos equipamentos agrupados numa determinada sequência pré definida possuindo controlo próprio. Uma UTA pode incluir ventiladores, bombas, baterias de aquecimento, baterias de arrefecimento, lavador de ar ou injectores, caixa de mistura, recuperador de calor sensível ou entálpico, válvulas e controlo. É também abordada a problemática associada à periodicidade de manutenção dos equipamentos que a constituem.

O objectivo principal desta dissertação é a demonstração da possibilidade de construir, através da IA, um algoritmo informático em *Labview*[®], que fazendo uso das capacidades do(s) seu(s) agente(s), nos vai permitir avaliar os dados que vão sendo compilados durante o funcionamento da nossa unidade de tratamento de ar, estabelecendo assim um sistema (Sumathi & Surekha, 2007) , que tem por objectivo o diagnóstico automático de avarias, assim como a minimização dos seus efeitos imediatos, agindo sobre os seus componentes fundamentais, nomeadamente ventiladores e registos, optimizando o seu deficiente funcionamento.

Optou-se pela análise das seguintes temperaturas:

- Temperatura da secção de mistura.
- Temperatura de retorno
- Temperatura de ar novo

Serão considerados os desvios destas temperaturas, para além do expectável em cada momento e para cada regime operacional da UTA.

Qualquer variação não esperada destes parâmetros que seja valorizada positivamente pelo nosso agente, desencadeará acções previstas e accionará um dos dois níveis de alarme previstos pelo agente, para informar local ou remotamente agentes humanos ou informáticos.

Decidiu-se optar por dois níveis de alarme :

- Alarme de alerta.
- Alarme de perigo.

Alarme de alerta

Com este alarme poderá surgir a inibição de regimes de funcionamento mais elevados de alguns constituintes do equipamento. Por exemplo a restrição das velocidades mais altas dos ventiladores de insuflação e retorno, assim como uma indicação ao nível da consola da máquina ou remotamente do aumento da probabilidade de ocorrência de uma avaria. Paralelamente ocorrerá a gravação destas ocorrências num ficheiro acessível ao agente humano. Estes dados poderão e deverão servir para tratar estatisticamente toda a informação adquirida on-line.

Alerta de perigo

Com este alarme poderá ser desencadeada a paragem imediata do equipamento, caso tal seja possível sem prejuízos financeiros ou humanos. Poderá também ser induzida uma redução de capacidade nos equipamentos constituintes da UTA, com o objectivo de minimizar as consequências da anomalia ocorrida, até que o agente humano possa decidir qual a melhor acção a levar a cabo. Estes dados, tal como os anteriores, deverão ser tratados estatisticamente, de forma a permitir uma construção ordenada e estruturada de um registo histórico de ocorrências.

Unidade de tratamento de ar

Equipamento constituído por diversos módulos agrupados numa dada sequência, possuindo controlo próprio.

O equipamento poderá ter uma configuração diversificada de acordo com especificações de projecto, especificações de clientes, imposições legais etc.

Apresenta-se a seguir o esquema genérico de uma unidade de tratamento de ar. De salientar que uma UTA não é mais do que um conjunto de módulos, cada um com funções específicas no condicionamento e tratamento do ar, a insuflar em espaços habitados por humanos ou não, e onde o grau de exigência do cumprimento de limites impostos às características e requisitos do ar tratado nestes equipamentos, pode variar muito.

A UTA poderá ter uma disposição relativa muito diferenciada das suas várias secções, de acordo com os seus objectivos de projecto.

Pretende-se demonstrar que é possível a utilização de agentes inteligentes em sistemas AVAC, tendo em vista a proactividade na sua manutenção.

Aspecto genérico de uma UTA

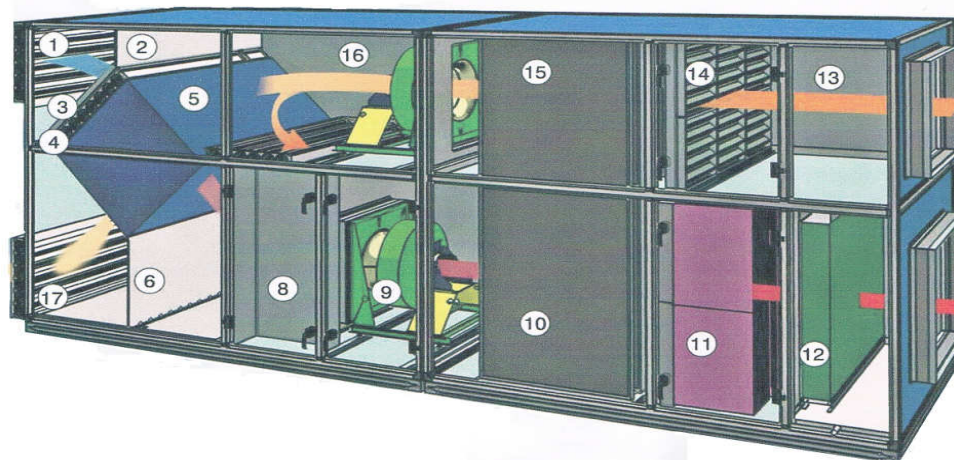


Figura 5.1- Unidade de Tratamento de ar UTA.

(Sandometal, 2010)

Legenda:

- 1.- Registo motorizado de ar novo
- 2.- Sensor de temperatura de ar novo
- 3.- Pré filtro e pressostato de ar novo
- 4.- Registo motorizado do recuperador e do by-pass do recuperador
- 5.- Recuperador de calor de fluxos cruzados
- 6.- Sensor de temperatura de mistura

- 7.- Registo motorizado de mistura
- 8.- Quadro eléctrico de potência e controlo
- 9.- Ventilador de insuflação
- 10.- Atenuador de som de insuflação
- 11.- Filtro com pressostato
- 12.- Bateria de expansão directa
- 13.- Sensor de temperatura de retorno
- 14.- Pré filtro e pressostato de retorno
- 15.- Atenuador de som do retorno
- 16.- Ventilador do retorno
- 17.- Registo motorizado de ar rejeitado

5.2 Periodicidade de manutenção dos constituintes fundamentais da UTA

Filtros

Filtros de elevada qualidade devem ser substituídos ou limpos com uma periodicidade que varia normalmente entre os 15 e os 60 dias, factor que varia conforme a duração do funcionamento do equipamento e as características do local. Ter em conta que um filtro com um elevado grau de colmatação pode eventualmente originar temperaturas anormais a jusante ou a montante deste.

Drenagem de condensados

Equipamentos e materiais destinados a este fim, devem ser observados e limpos com uma periodicidade mínima de 90 dias. Uma drenagem ineficaz ou parcialmente obstruída pode originar colónias de bactérias, inclusivé a legionella, desde que as temperaturas oscilem à volta dos 60° C. O agente não detecta de uma forma directa anomalias no tabuleiro de drenagem de condensados. Um fluxostato integrado no tubo de drenagem pode servir para tornar esta verificação proactiva, podendo um agente específico muito simples regular esta função.

Condensadores

Limpeza com uma periodicidade trimestral ou menor, no caso de estes equipamentos estarem submetidos a condições consideradas adversas (poeiras, lixo, entulhos). Uma boa periodicidade de limpeza é definida caso a caso. A sujidade acumulada pode originar desvios de temperatura anormais em relação ao expectável, estando o agente concebido para detectá-las. Não afectam a qualidade do ar interior (QAI), no sentido da sua contaminação.

Baterias de água quente/fria

Limpeza e desinfecções apropriadas, com periodicidades mínimas semestrais, para garantir uma QAI elevada assim como um rendimento eficaz dentro dos parâmetros normais. À semelhança dos condensadores devem ser observadas as condições da envolvente e depois estabelecer uma periodicidade favorável. O agente deverá detectar anomalias nestes componentes, ainda que de uma forma indirecta. Especial atenção à estanquidade de todos os constituintes destas baterias.

Permutadores de calor

Verificações trimestrais do estado geral, limpeza e estanquidade perfeita destes equipamentos devem ser efectuadas com periodicidades no mínimo semestrais. Em ambientes mais sujos deverá ser definida outra periodicidade mais adequada. Anomalias, sujidades ou quaisquer outros factores que afectem o desempenho do sistema, serão detectados pelo agente devido aos implícitos desvios de temperatura em relação ao expectável, que podem obviamente originar.

Quadros eléctricos, e seus componentes

Verificações, testes e reapertos dos componentes deste equipamento devem ser levadas a cabo com periodicidades mínimas semestrais. Análises termográficas periódicas também se justificam quer pela sua rapidez, quer pelo seu carácter não invasivo de diagnóstico.

Ventiladores

Verificações do estado de rolamentos, de tensão nas correias, desapertos estruturais, desalinhamentos, empenos, estado das correias e sinoblocos de suporte do ventilador, devem ser efectuadas regularmente. A falha de um ventilador será detectada pelo nosso agente através da diminuição ou aumento não expectável da temperatura de mistura ou retorno de acordo, com o ventilador em causa.

Apoios antivibráteis

Inspecções visuais regulares sem um período definido devem garantir o regular e eficiente desempenho destes componentes, os quais podem induzir em vibrações não esperadas e originar ressonâncias sempre indesejáveis. Tomar especial atenção a empenos, peças metálicas móveis em contacto, etc. O agente não está preparado para monitorizar estes equipamentos.

Registos motorizados

Verificação com periodicidade mínima trimestral do bom funcionamento das lâminas dos registos. O agente terá também a capacidade de detectar aqui alguma anomalia, pela conjugação anormal de temperaturas.

Rolamentos

Inspecção do bom funcionamento, com a garantia de que não se excedeu largamente a vida útil destes componentes, com uma periodicidade trimestral. O agente não possui capacidades explícitas para detectar avarias nestes equipamentos. Um transdutor (acelerómetro) pode ser facilmente integrado no sistema para análise proactiva destes componentes em ambiente MAS.

Motores eléctricos

Medição de consumos e reapertos nas ligações destes equipamentos, com uma periodicidade mínima semestral. Verificação que pode tornar-se proactiva utilizando placas de aquisição próprias para estes sinais, considerando que o *Labview*[®] permite medir intensidades de corrente, tensões eléctricas e frequências de uma forma extremamente simples e prática o que facilita a sua integração em ambiente MAS.

Sensores

Inspeção visual e testes de funcionamento, calibragem dos mesmos se necessário, caso se detectem anomalias em temperaturas que depois não se confirmem.

Avaliação das temperaturas de insuflação e retorno

Medições periódicas destas temperaturas para aferir acerca da eficácia do equipamento. O agente terá um bom desempenho para diagnóstico destas temperaturas que são o maior indicador de bom funcionamento da UTA. As temperaturas de insuflação e retorno e respectivos diferenciais entre insuflação e retorno são normalmente indicados pelo fabricante ou em tabelas existentes no mercado.

Indica-se também no *anexo VIII* o ciclo de vida útil esperado para diversos equipamentos AVAC. A ponderação acerca dos *outputs* e acções a levar a cabo, deverá reflectir os ciclos de vida útil dos equipamentos. A intervenção num equipamento em fim de vida útil deverá ser ponderada de forma diferenciada de um equipamento em início de vida, ou a meio desta. Cabe ao agente humano efectuar esta ponderação pois o agente não é sensível aos ciclos de vida úteis dos equipamentos.

Capítulo 6

Proposta de sistema de monitorização de falhas

6.1 Arquitectura do agente para manutenção proactiva

A parte sensorial é constituída por três sensores que detectam temperaturas operacionais da UTA, nas várias secções: secção mistura, secção de retorno e ar novo. O agente vai perceber estes dados adquiridos *on-line* os quais vão sendo armazenados numa base de dados específica para o efeito, podendo ser inclusivamente transpostos para uma folha de cálculo de *excel* de forma automática, como veremos mais adiante. De seguida o agente procede, através da sua arquitectura interna, à comparação das temperaturas medidas com as temperaturas expectáveis para o regime de funcionamento em causa, para de seguida deliberar acerca das acções a empreender de acordo com regras bem definidas sobre os diversos equipamentos :

- Ventilador de insuflação.
- Ventilador de retorno.
- Registo motorizado de extracção.
- Registo motorizado de ar novo.
- Esta deliberação pode compreender ainda a paragem integral do sistema.
- Pode ainda ser accionado um alarme de alerta.
- Pode também ser accionado um alarme de perigo.

Depois da fase de deliberação concluída, o agente vai agir sobre os componentes do sistema considerados, caso a deliberação tenha sido nesse sentido, através do seu processamento interno da seguinte forma:

- Ventilador de insuflação – redução da capacidade em 25% ou 50%.
- Ventilador de retorno – redução da capacidade em 25% ou 50%.
- Registo de extracção - redução da capacidade em 25% ou 50%.
- Registo de ar novo - redução da capacidade em 25% ou 50%.

O registo histórico de avarias e respectivos padrões está previsto existir numa base de dados própria que vai sendo construída de uma forma automática se assim o pretendermos.

O agente humano pode em qualquer altura decidir sobre a deliberação efectuada pelo agente e ignorá-la se assim o pretender. O tratamento estatístico de toda esta informação deve ser efectuado pelo operador humano. Indicadores de manutenção específicos (KPI), devem ser também considerados para este tipo de manutenção proactiva. Como por exemplo um indicador que nos dê um nível de eficiência proactiva do nosso algoritmo ou outros que nos permitam avaliar as implicações a nível financeiro ou ainda que nos permita avaliar o número de (homens/hora × máquina) que está a ser utilizado em determinado período de tempo. Este indicador vai servir como uma avaliação da aprendizagem da interacção humana com a máquina e o agente. Na Figura seguinte 6.1 podemos observar esquematicamente o diagrama funcional da arquitectura do nosso agente.

A análise de temperaturas desviantes é uma forma de diagnosticar possíveis falhas que possam ocorrer no sistema; a ideia fundamental subjacente consiste na detecção, na fase incipiente da anomalia, onde esta pode não afectar ainda o sistema de uma forma contínua e efectiva.

Pretende-se que o agente seja a primeira ferramenta de diagnóstico da manutenção.

Os sistemas *fuzzy* são ideais para classificação de anomalias, conseguindo distinguir diferentes níveis de falha de acordo com as regras impostas.

Foi considerado um intervalo de tempo mínimo para que as perturbações que possam causar instabilidade nas temperaturas, como é o caso do arranque da máquina ou mudanças de regimes de operação, ou ainda um erro na operação do equipamento, não sejam interpretados como uma anomalia. Este intervalo de tempo mínimo em que o sistema estabiliza e se equilibra a si próprio é de 10 minutos, tempo durante o qual o agente humano não deve equacionar qualquer acção, apesar de o agente registar estes desvios os quais poderão depois ser tratados estatisticamente de forma a que se possa interpretar os padrões de uma anomalia/falha de carácter intermitente como tantas vezes acontece.

A arquitectura do sistema está desenhada para interagir de forma harmoniosa com o agente humano, responsável de manutenção. A arquitectura revela uma construção simples sendo possível alterar os limites para os desvios em causa, assim como alterar

as regras de deliberação de forma fácil, o que o torna uma ferramenta proactiva extremamente versátil.

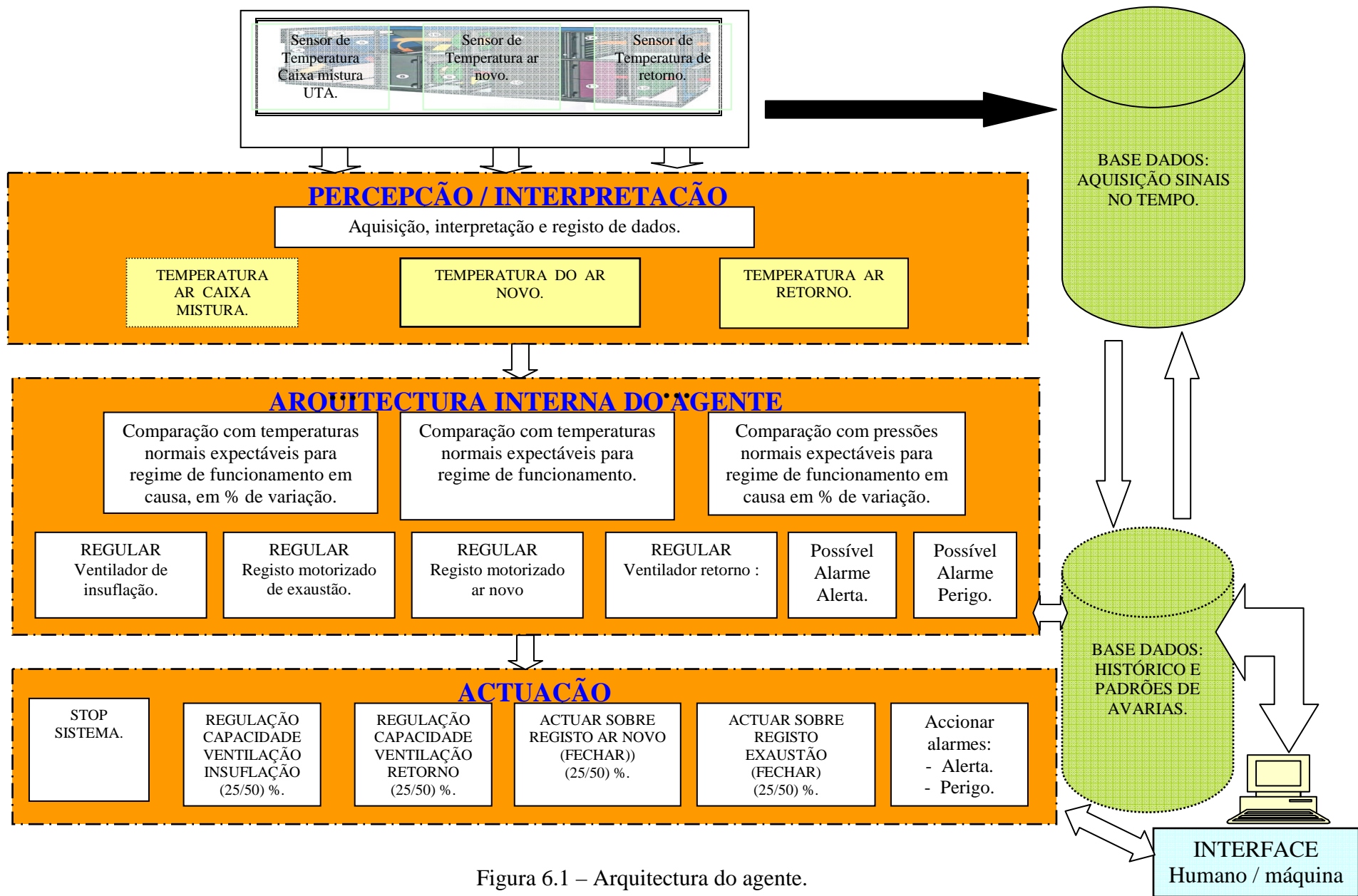


Figura 6.1 – Arquitectura do agente.

6.2 Representação matemática das funções de pertença *fuzzy*

Este capítulo tem como objectivo o estabelecimento de grupos e regras *fuzzy* que permitam ao agente adquirir a sua capacidade deliberativa. Segundo arquitectura do agente proposto na figura 6.1. Considerou-se que os três parâmetros a controlar na UTA são:

- T° da caixa de mistura
- Temperatura de ar novo
- Temperatura de retorno

Estes três parâmetros serão medidos por três sensores distintos, que passaremos a designar por :

- Sensor de T^a de mistura
- Sensor de T^a de ar novo
- Sensor de T^a de retorno

Caso a percentagem de variação de algum destes parâmetros medidos seja superior a um determinado valor pré definido, considerar-se-à que ocorreu uma situação anómala no sistema.

Poderemos considerar que os dados obtidos por estes sensores podem ser classificados como :

1. Valores anormais considerados baixos relativamente à variação para o set - point ou variações expectáveis.
2. Valores considerados normais relativamente à variação para o set - point ou variações expectáveis.
3. Valores anormais considerados altos relativamente à variação para o set - point ou variações expectáveis,

6.2.1 Sensor de Temperatura de mistura (X1)

Na Figura 6.2 pode-se observar as funções *fuzzy* do tipo triangular da secção de mistura.

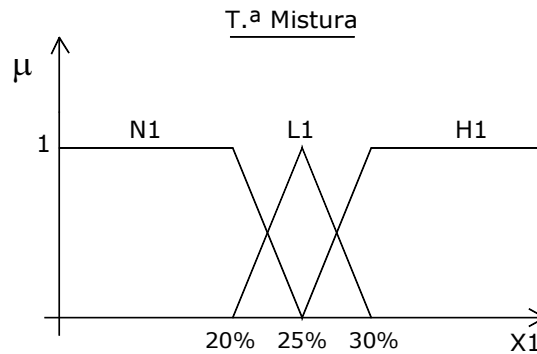


Fig 6.2 – Funções *fuzzy* triangulares, Temperatura mistura

Deve ser levada em conta, a idade da máquina, flutuação da amplitude térmica diária, degradação de alguns componentes, selantes, etc... Considera se então que:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| $20 \% \leq \Delta TM \leq 30 \%$ | é considerada uma variação anormal baixa.....(L) |
| $ \Delta TM \leq 20 \%$ | é considerada uma variação normal..... (N) |
| $ \Delta TM > 30\%$ | é considerada uma variação anormal alta.....(H) |

6.2.2 Sensor de Temperatura de ar novo (X2)

Temperaturas anormais registadas pelo sensor de ar novo podem indicar avarias no próprio sensor, no registo motorizado de ar novo, ou outras anomalias nesta secção da UTA. Temperaturas anormais na caixa de mistura detectadas pelo agente podem ter origem em condições climatéricas adversas e imprevisíveis, que poderão originar temperaturas inesperadas na secção de mistura. Situação que tanto pode ocorrer no Verão como no Inverno. O agente fica assim mais habilitado a interpretar os desvios daí resultantes. Além destas condições climatéricas poderão ocorrer outras eventualidades nas proximidades da UTA que poderão também originar desvios não expectáveis.

Temos então dois tipos de funcionamento distintos, Verão e Inverno.

6.2.2.1 Funcionamento Inverno (X2I)

Na Figura 6.3 pode-se observar as funções *fuzzy* do tipo triangular da secção de ar novo em modo de aquecimento, ou Inverno.

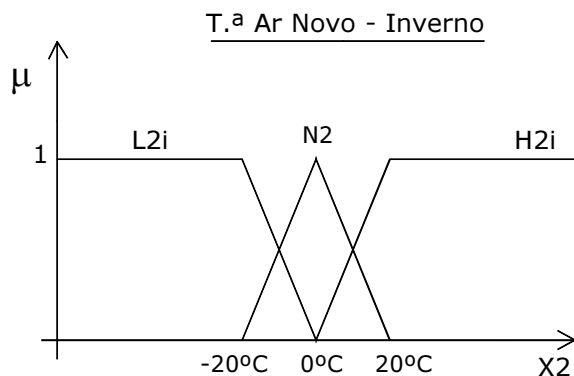


Figura 6.3 – Funções *fuzzy* triangulares, Temperatura ar novo, Inverno

$-20 \leq T^a \text{ ar exterior inverno} \leq 20^\circ\text{C}$ é considerado normal(N)

$-20 < T^a \text{ ar exterior inverno}$ é considerado anormalmente baixo.....(L)

$T^a \text{ ar exterior inverno} > 20^\circ\text{C}$ é considerado anormalmente alto(H)

6.2.2.2 Funcionamento Verão (X2V)

Na Figura 6.4 pode-se observar as funções *fuzzy* do tipo triangular da secção de ar novo em modo de arrefecimento, ou Verão.

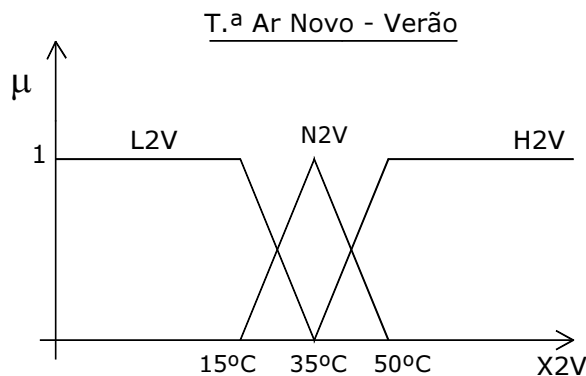


Fig 6.4 – Funções *fuzzy* triangulares Temperatura ar novo, Verão

- $15 \leq T^a \text{ ar exterior Ver\~{a}o} \leq 50^\circ\text{C}$ é considerado normal(N)
- $15 < T^a \text{ ar exterior Ver\~{a}o}$ é considerado anormalmente baixo.....(L)
- $T^a \text{ ar exterior inverno} > 50^\circ\text{C}$ é considerado anormalmente alto(H)

6.2.3 Sensor de Temperatura de retorno (X3)

Na Figura 6.5 pode-se observar, à semelhança das anteriores, as funções *fuzzy* do tipo triangular da secção de retorno.

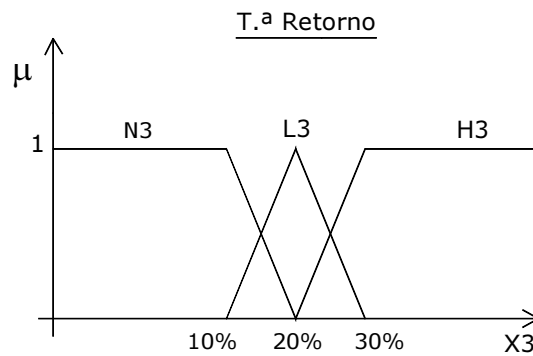


Fig 6.5 – Funções *fuzzy* triangulares, Temperatura de retorno

Deverá ser considerada a idade da máquina, flutuação da amplitude térmica diária, degradação de alguns componentes e selantes, etc. Considera-se então que:

- $10\% \leq |\Delta TR| \leq 30\%$ é considerada uma variação anormal baixa..... (L)
- $10\% \leq |\Delta TR|$ é considerada uma variação normal(N)
- $|\Delta TR| > 30\%$ é considerada uma variação anormal alta.....(H)

6.2.4 Definição das funções de pertinência *fuzzy*

Para (X1 - sensor temperatura de mistura)

$$\mu_{LI}(X1) = \begin{cases} 1 & \text{se } -\infty < x1 \leq 20\% \\ (25\% - x1) & \text{se } 20\% < x1 \leq 25\% \\ 0 & \text{se } 25\% < x1 < +\infty \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{NI}(X1) = \begin{cases} (x1 - 20\%) & \text{se } 20\% < x1 < 25\% \\ (30\% - x1) & \text{se } 25\% < x1 < 30\% \\ 0 & \text{else,} \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{HI}(X1) = \begin{cases} 0 & \text{se } -\infty < x1 < 25\% \\ (x1 - 25\%) & \text{se } 25\% < x1 \leq 30\% \\ 1 & \text{se } 30\% < x1 \leq +\infty \end{cases} \quad (20)$$

Para (X2I - sensor temperatura de ar novo, UTA - funcionamento de inverno)

$$\mu_{LI}(X2I) = \begin{cases} 1 & \text{se } -\infty < x2i < -20^\circ\text{C} \\ (0^\circ\text{C} - x2i) & \text{se } -20^\circ\text{C} < x2 < 0^\circ\text{C} \\ 0 & \text{se } 0^\circ\text{C} < x2 < +\infty \end{cases} \quad (21)$$

$$\mu_{NI}(X2I) = \begin{cases} (x2i - (-20)) & \text{se } -20 < x2 \leq 0 \\ (20 - x2i) & \text{se } 0^\circ\text{C} < x1 < 20^\circ\text{C} \\ 0 & \text{else,} \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_{HI}(X2I) = \begin{cases} 0 & \text{se } -\infty < x2i < 0 \\ (x1) & \text{se } 0^\circ\text{C} < x1 < 20^\circ\text{C} \\ 1 & \text{se } 0^\circ\text{C} < x1 < +\infty \end{cases} \quad (23)$$

Para (X2V - sensor temperatura de ar novo, UTA - funcionamento de Verão)

$$\mu_{LI}(X1) = \begin{cases} 1 & \text{se } -\infty < x_{2v} \leq 15^\circ\text{C} \\ (35^\circ\text{C} - x_{2v}) & \text{se } 15^\circ\text{C} < x_{2v} \leq 35^\circ\text{C} \\ 0 & \text{se } 35^\circ\text{C} < x_{2v} < +\infty \end{cases} \quad (24)$$

$$\mu_{NI}(X1) = \begin{cases} (x_{2v} - 15) & \text{se } 15^\circ\text{C} < x_{2v} \leq 35^\circ\text{C} \\ (50^\circ\text{C} - x_{2v}) & \text{se } 35^\circ\text{C} < x_{2v} \leq 50^\circ\text{C} \\ 0 & \text{else,} \end{cases} \quad (25)$$

$$\mu_{HI}(X1) = \begin{cases} 0 & \text{se } -\infty < x_{2v} < 35^\circ\text{C} \\ (x_{2v} - 35^\circ\text{C}) & \text{se } 35^\circ\text{C} < x_{2v} \leq 50^\circ\text{C} \\ 1 & \text{se } 50^\circ\text{C} < x_{2v} < +\infty \end{cases} \quad (26)$$

Para (X3 - sensor temperatura de retorno)

$$\mu_{LI}(X1) = \begin{cases} 1 & \text{se } -\infty < x_3 \leq 10\% \\ (20\% - x_3) & \text{se } 10\% < x_3 \leq 20\% \\ 0 & \text{se } 20\% < x_3 < +\infty \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_{NI}(X1) = \begin{cases} (x_3 - 10\%) & \text{se } 10\% < x_3 \leq 20\% \\ (30\% - x_3) & \text{se } 20\% < x_3 \leq 30\% \\ 0 & \text{else,} \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_{HI}(X1) = \begin{cases} 0 & \text{se } -\infty < x_3 < 20\% \\ (x_3 - 20\%) & \text{se } 20\% < x_3 < 30\% \\ 1 & \text{se } 30\% < x_3 < +\infty \end{cases} \quad (29)$$

6.3 Regras básicas de deliberação do agente

Neste sub-capítulo, vamos definir as regras básicas que vão reger o funcionamento do agente.

Estas regras baseiam-se em dados adquiridos através de experiência humana, dados do fabricante, anuários climatológicos, tabelas de temperatura ,pressões de fluido frigorígeno, etc.

Das funções de pertença *fuzzy*, podemos inferir as regras descritas em 6.3.1. Foram criadas regras distintas para funcionamento de Inverno e funcionamento de Verão, tendo em vista que as temperaturas exteriores e interiores envolvidas são substancialmente diferentes.

6.3.1 Conjunto de regras para UTA em funcionamento de Inverno

R (0) : IF x1 is *NI* AND x2i is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C0

R (1) : IF x1 is *HI* AND x2i is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C1

R (2) : IF x1 is *NI* AND x2i is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C2

R (3) : IF x1 is *NI* AND x2i is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C3

R (4) : IF x1 is *LI* AND x2i is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C4

R (5) : IF x1 is *NI* AND x2i is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C5

No *anexo I*, são apresentadas as restantes regras de deliberação para a UTA em funcionamento de Inverno.

6.3.2 Conjunto de regras para UTA em funcionamento de Verão

R (0) : IF x1 is *NI* AND x2v is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C0

R (1) : IF x1 is *HI* AND x2v is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C1

R (2) : IF x1 is *NI* AND x2v is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C2

R (3) : IF x1 is *NI* AND x2v is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C3

R (4) : IF x1 is *L1* AND x2v is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C4

R (5) : IF x1 is *N1* AND x2v is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C5

No *anexo I*, são apresentadas as restantes regras de deliberação para a UTA em funcionamento de Verão.

O diagnóstico das prováveis anomalias que estão a afectar o sistema pode ser então feito praticamente em tempo real através da análise do *anexo I*.

6.4 Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de Inverno

C0 - UTA em funcionamento normal, anomalias não detectadas.

C1 - Temperatura anormal elevada na caixa mistura. Causas prováveis:

- Bateria ou valvularia com anomalia.
- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia
- Sensor com anomalia.

C2 - Temperatura de ar novo anormal elevada. Causas prováveis:

- T^a exterior anormalmente elevada.
- Presença de fonte de calor nas proximidades.
- Sobreaquecimento do motor do registo de ar novo, ou quadro eléctrico.

C3 - Temperatura de retorno anormal elevada. Causas prováveis:

- Registos fechados nas grelhas dos espaços interiores.
- Registos fechados no Layout de condutas.
- Actividade que desenvolva calor elevado num qualquer espaço interior.

C4 - Temperatura anormal baixa na caixa de mistura. Causas prováveis:

- Anomalia na bateria de aquecimento.

- Sensor caixa de mistura c/ anomalia.
- Anomalia na bateria de aquecimento ou valvularia.

C5 - Temperatura de ar novo anormal baixa. Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremamente baixas.
- Registo motorizado demasiado aberto, anomalia no motor ou controlador.
- Sensor de temperatura de ar novo com anomalia.

*Nota : Temperatura anormal alta ou baixa refere-se aos desvios para o expectável podendo estes ser considerado reduzidos ou elevados.

No *anexo I* são apresentados os restantes possíveis diagnósticos para a UTA em funcionamento de Verão.

6.5 Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de Verão

C0 - UTA em funcionamento normal, anomalias não detectáveis.

C1 - Temperatura anormal elevada na caixa mistura. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Bateria de arrefecimento com funcionamento anómalo.
- Funcionamento anómalo do registo de extracção.
- Funcionamento anómalo do registo de ar novo.

C2 - Temperatura de ar novo elevada. Causas prováveis:

- T^a exterior anormalmente elevada.
- Actividade que desenvolva calor a desenvolver-se nas proximidades.
- Sensor de temperatura de ar novo com anomalia.

C3 - Temperatura de retorno anormal elevada. Causas prováveis:

- Provável avaria no sensor.
- Ventilador retorno com avaria.

- Actividade que desenvolva calor elevado num qualquer espaço interior.
- Bateria de arrefecimento ou valvularia com anomalia.

C4 - Temperatura anormal baixa na caixa de mistura. Causas prováveis:

- Avaria na bateria de frio, sensor ou controlador com defeito.
- Registo de extracção ou retorno com anomalia.
- Sensor ou controlador com anomalia.

C5 - Temperatura de ar novo baixa. Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremamente baixas, para a época.
- Sensor com defeito ou anomalia.

*Nota : Temperatura anormal alta ou baixa refere-se aos desvios para o expectável podendo estes ser considerados reduzidos ou elevados.

No *anexo I* são apresentados os restantes possíveis diagnósticos para a UTA em funcionamento de Verão.

6.6 Arquitectura do agente : Acções a empreender × regras de deliberação

O agente vai deliberar de acordo com regras bem definidas, as quais vão originar *outputs* que se pretendem adequados para minorar os efeitos da suposta anomalia que foi detectada pelo agente. A lógica subjacente a esta deliberação é a de que os estados energéticos mais baixos podem causar menos danos. Devido a esse facto, o agente só delibera no sentido da diminuição das entropias presentes no sistema. O estado energético dum sistema tende normalmente a elevar-se com a ocorrência de acontecimentos não desejáveis. Optou-se por intervir apenas ao nível dos ventiladores, registos e paragem da UTA. Sublinhe-se também que a deliberação é acompanhada de alarmes de alerta e perigo que o agente “entende” emitir depois de uma avaliação da ocorrência, através do seu processamento interno.

Convencionou-se que:

- 0 – Implica que nenhuma acção será levada a cabo para esse componente.
- 1 – Implica que o componente em questão deve reduzir a sua capacidade de 25%.
- 2 - Implica que o componente em questão deve reduzir a sua capacidade de 50%.
- 3 – Implica que um alarme deve ser activado algures na central ou remotamente, indicando-nos que o equipamento em questão atingiu e ultrapassou um limite de sobreaviso relativamente aos parâmetros normais de operação e podendo-se estar na fase incipiente de uma qualquer anomalia.
- 4 - Implica que um alarme deve ser activado algures na central ou remotamente, indicando-nos que o equipamento em questão atingiu um limite considerado de avaria iminente, ou qualquer outro factor que represente risco elevado para pessoas ou bens. O agente humano deve ponderar intervenção imediata, de acordo com tabelas de intervenção.
- 5 –Indica-nos que a UTA deve deixar de funcionar, pela conjugação dos desvios de temperatura em relação aos valores expectáveis, pressupondo uma anomalia grave.

A tabela 6.1 resume as possíveis acções resultantes da deliberação do agente.

COMPONENTE	MANTER REGIME	REDUÇÃO CAPACIDADE 25%	REDUÇÃO CAPACIDADE 50%	ACTIVAR ALARME CENTRAL “PRIORIDADE MÉDIA”	ACTIVAR ALARME CENTRAL “PRIORIDADE ALTA”	STOP
UTA	0	-	-	-	-	5
Ventil. Retorno	0	1	2	3	4	-
Ventil. insuflação	0	1	2	3	4	-
Registo ar novo	0	1	2	3	4	-
Registo exaustão	0	1	2	3	4	-

Tabela - 6.1 *Outputs* para o sistema

Observações

Relativamente ao registo de ar novo e extracção, entende-se que a redução de capacidade implica o fecho do registo, sendo reduzida a sua área de passagem útil em 25 ou 50 %.

A deliberação obedece a determinadas condições enumeradas nas tabelas seguintes, tabela 6.2 e tabela 6.3 onde se descreve as possibilidades de conjugação de temperaturas que depois de fuzificadas assumem os estados (High – H), (Normal – N) ou (Low – L). As vinte e seis condições enumeradas a seguir, reflectem as possíveis e eventuais anomalias que podem transparecer na análise das temperaturas envolvidas nos diversos sectores ou módulos da UTA.

A conjugação das diversas temperaturas indicia a possível ocorrência de determinadas anomalias ou falhas que deverão ser consideradas, pois podem estar a condicionar o bom desempenho e eficácia do sistema. O agente baseia-se nestes indícios para avaliar as condições reais adquiridas *on-line*.

Tº MISTURA (Desvio %)	Tº AR NOVO INVERNO	Tº RETORNO (Desvio %)	CONDIÇÃO	STOP UTA	VENTILADOR. INSUFLAÇÃO	VENTILADOR RETORNO	REGISTO DE AR NOVO	REGISTO DE EXAUSTÃO	ALARME P CENTRAL OU REMOTO “PRIORIDADE “MÉDIA”	ALARME P CENTRAL OU REMOTO PRIORIDADE “ALTA”
N	N	N	C0	0	0	0	0	0	0	0
H	N	N	C1	0	1	1	0	0	3	0
N	H	N	C2	0	0	0	2	1	0	4
N	N	H	C3	0	2	1	0	0	3	0
L	N	N	C4	0	1	0	1	1	3	0
N	L	N	C5	0	1	0	2	1	3	0
N	N	L	C6	0	1	0	2	2	3	0
L	L	L	C7	0	1	1	1	1	0	4
L	L	N	C8	0	1	1	2	1	3	0
L	L	H	C9	0	1	1	1	1	3	0
L	N	L	C10	0	0	0	1	1	3	0
L	N	H	C11	0	1	0	0	1	3	0
L	H	L	C12	0	0	0	2	1	0	4
L	H	N	C13	5	0	0	0	0	0	4
L	H	H	C14	0	0	0	1	0	0	4
N	L	L	C15	0	1	1	2	1	3	0
N	L	H	C16	0	0	1	1	0	3	0
N	H	L	C17	0	1	2	1	0	3	0
N	H	H	C18	0	1	2	1	1	3	0
H	L	L	C29	0	0	2	1	0	3	0
H	L	N	C20	0	0	1	1	0	3	0
H	L	H	C21	5	1	0	0	0	0	4
H	N	L	C22	0	0	0	0	1	3	0
H	N	H	C23	0	0	1	1	0	3	0
H	H	L	C24	5	0	0	0	0	0	4
H	H	N	C25	5	0	0	0	0	0	4
H	H	H	C26	5	0	0	0	0	0	4

Tabela - 6.2 UTA em funcionamento de Inverno – *Inputs* × *Outputs* – Deliberação

Tº MISTURA (Desvio %)	Tº AR NOVO VERÃO	Tº RETORNO (Desvio %)	CONDIÇÃO	STOP UTA	VENTILADOR INSUFLAÇÃO	VENTILADOR RETORNO	REGISTO DE AR NOVO	REGISTO DE EXAUSTÃO	ALARME P CENTRAL OU REMOTO PRIORIDADE “MÉDIA”	ALARME P CENTRAL OU REMOTO PRIORIDADE “ALTA”
N	N	N	C0	0	0	0	0	0	0	0
H	N	N	C1	0	1	0	1	1	3	0
N	H	N	C2	0	1	0	2	1	3	0
N	N	H	C3	0	1	2	2	0	0	4
L	N	N	C4	0	0	1	0	0	0	4
N	L	N	C5	0	0	0	2	1	0	4
N	N	L	C6	0	1	1	0	0	3	0
L	L	L	C7	5	0	0	0	0	0	4
L	L	N	C8	0	1	1	2	1	3	0
L	L	H	C9	0	1	1	1	1	3	0
L	N	L	C10	0	1	1	0	0	3	0
L	N	H	C11	0	1	1	0	0	3	0
L	H	L	C12	0	1	1	2	1	3	0
L	H	N	C13	5	0	0	0	0	0	4
L	H	H	C14	0	1	1	0	1	3	4
N	L	L	C15	0	1	1	2	1	3	0
N	L	H	C16	0	1	1	1	1	3	0
N	H	L	C17	0	1	1	2	0	3	0
N	H	H	C18	0	1	1	2	1	3	0
H	L	L	C19	0	2	2	1	1	3	0
H	L	N	C20	0	1	1	1	1	0	4
H	L	H	C21	0	1	1	2	0	0	4
H	N	L	C22	0	1	1	1	1	3	4
H	N	H	C23	0	2	2	1	1	3	0
H	H	L	C24	5	0	0	0	0	0	4
H	H	N	C25	5	0	0	0	0	0	4
H	H	H	C26	5	0	0	0	0	0	4

Tabela - 6.3 UTA em funcionamento de Verão – *Inputs X outputs* - Deliberação

6.7 Funcionamento do agente - Algoritmo *Labview*[®] / ICTL

Neste subcapítulo descreve-se o processo de construção do agente (algoritmo em *Labview*[®]), sublinhando os aspectos mais importantes da programação e as características mais significativas das subrotinas em questão, designadas por VI's.

Utilizou-se o *Intelligent control toolkit for Labview*[®], (ICTL) da *Tribal Engineering*, com o objectivo de simplificar a estruturação das unidades de programação, tornando-as mais dinâmicas, directas, simples e compactas.

Foi construído também um simulador com o intuito de simular temperaturas medidas *on-line*, assim como de estabelecer uma comparação com temperaturas expectáveis para o regime de funcionamento considerado (Mihura,2001).

Este simulador permite-nos obter temperaturas de mistura expectáveis com uma aproximação muito aceitável, processo descrito em pormenor no (*anexo V – Cálculo aproximado de Temperatura de mistura*), considerando temperaturas exteriores e temperaturas de retorno através de um balanço destas com os respectivos caudais em jogo. Um ciclo *WHILE*, envolvendo toda a linguagem gráfica empregue, permitindo a temporização entre iterações é também considerado, tendo em vista a capacidade de armazenamento de dados, que poderá ser restrita. A temporização entre iterações é configurável e permite adaptar a taxa de aquisição de dados às condições de armazenamento de dados existente.

O simulador será abordado mais á frente neste capítulo.

Quanto à arquitectura pura do agente, o programa subdivide-se basicamente em quatro partes :

- Regras de inferência
- Fuzificação
- Desfuzificação
- Registo de dados

Descrição de funcionamento

Os sinais simulados, depois de processados no simulador, vão passar por um processo de fuzificação, utilizando-se para isso funções do tipo triangular onde os *outputs* são classificados e definidas funções de pertença a subgrupos *fuzzy*. A Figura seguinte representa o VI correspondente ao símbolo gráfico da sub-rotina de construção da função triangular do programa.

Por cada sensor da nossa UTA, existe pois um VI ou subrotina de fuzificação, que nos permite classificar os sinais adquiridos de uma forma clara em três intervalos. Estes intervalos são facilmente configuráveis, sem alterações da estrutura do programa.

Para a selecção de modo de funcionamento de Inverno ou Verão, decidiu-se por uma estrutura do tipo *CASE*, controlada por uma *string* comum a todas as estruturas *CASE* existentes, onde seja necessário a selecção do modo de funcionamento.

Na Figura 6.6 pode-se observar o pormenor da estrutura *CASE*, permitindo estabelecer limites para as funções triangulares relativas ao ar novo e a selecção da estação (Verão / Inverno). As duas figuras 6.7 e 6.8 idem para secção de mistura e retorno.

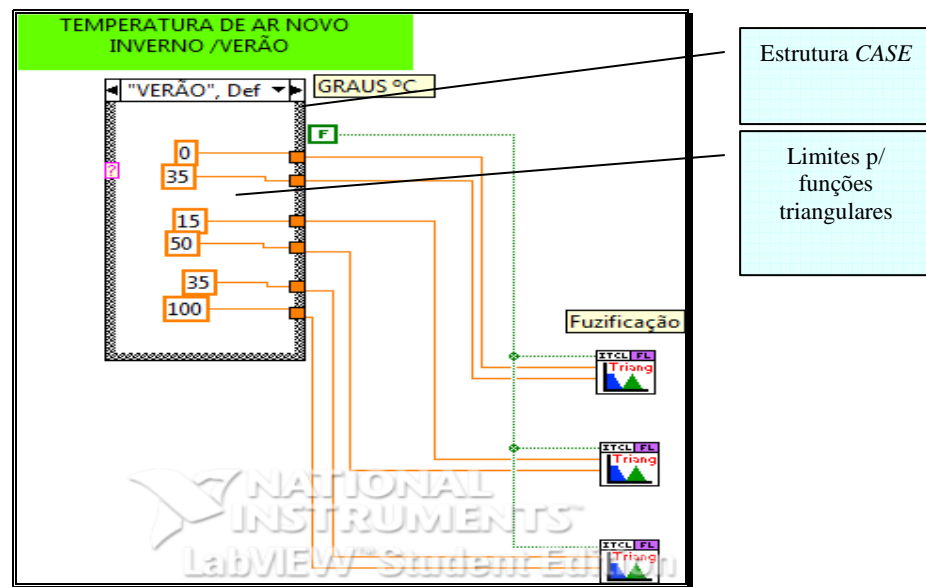


Figura 6.6 – Estrutura *CASE*, para selecção do modo de funcionamento de Verão / Inverno e respectiva fuzificação de *inputs* da secção de ar novo.

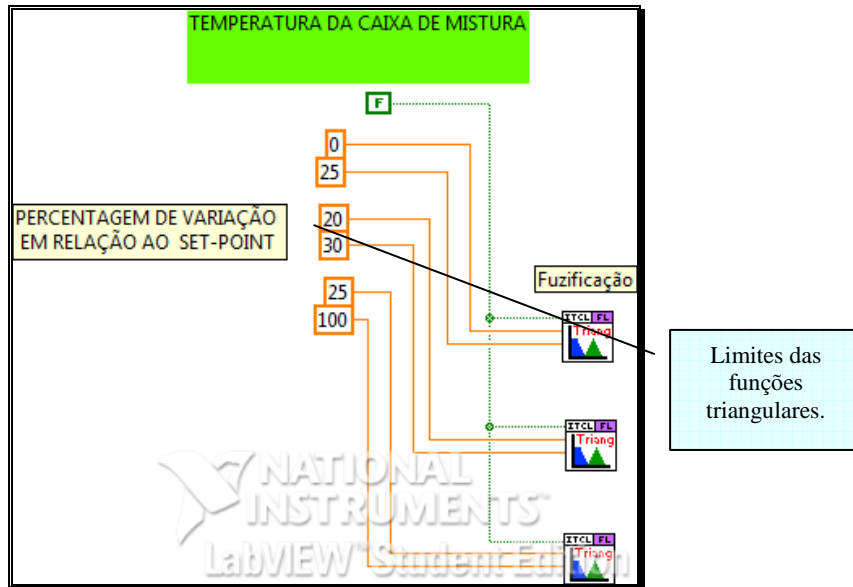


Figura 6.7 - Fuzificação de *inputs* da caixa de mistura

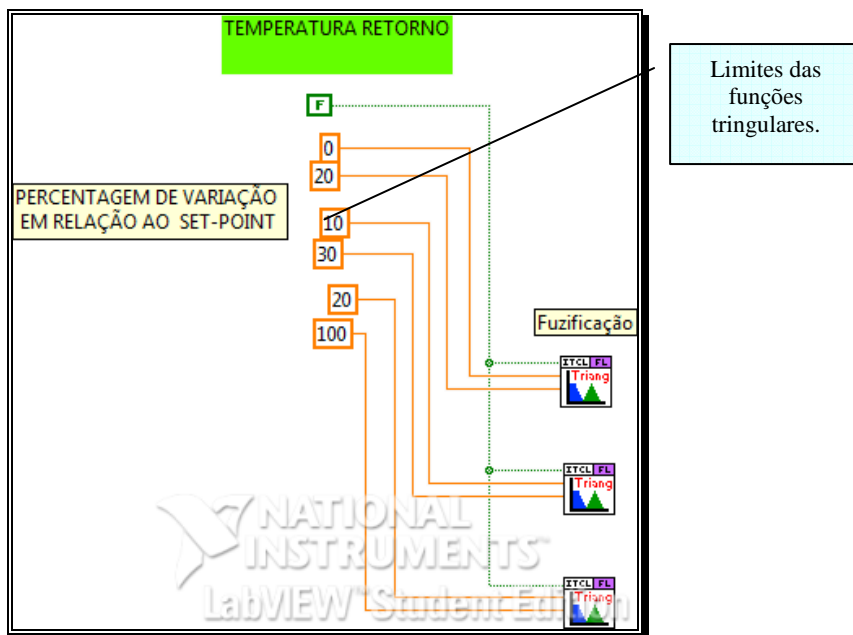


Figura 6.8 - Fuzificação *inputs* da secção de retorno

Após o processo de fuzificação os dados são coligidos num *array* do tipo 3D. Para cada função triangular que controlam, respectivamente (temperatura de mistura, temperatura de ar novo Verão e Inverno, existe um *array* deste género).

De seguida vamos precisar de obter o operador *min* para cada regra, assim como as combinações que estão na origem dos nossos *outputs*. Tudo isto é conseguido através de

uma subrotina ou vi, designado por *premise_evaluation.vi*, que podemos observar na figura seguinte.

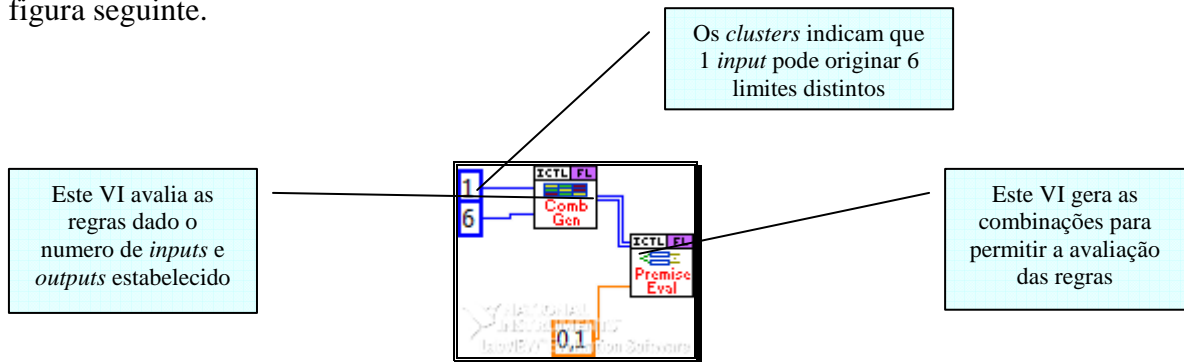


Figura 6.9 - *Premise evaluation.vi*, e *Input combinator generator.vi*

Podemos observar também na figura anterior o *input combinator generator.VI*. Este gera de uma forma automática, as combinações necessárias para a avaliação das regras impostas, consoante o numero de *inputs* e funções de pertença *fuzzy*. Além disso, pode – se observar também o *cluster* onde se define o valor mínimo de activação de cada regra, neste caso 0.1 °C.

De seguida e antes de procedermos à desfuzificação, vamos obter o valor de cada combinação de regra para cada *output* considerado. As tabelas 6.2 - funcionamento de Inverno e tabela 6.3 - funcionamento de Verão, estão reflectidas nestes *arrays* envolvidos pelas estruturas *CASE*, que nos permitem a selecção de funcionamento Verão/ Inverno. Podemos observar o aspecto destas estruturas na Figura 6.11 da página seguinte.

As regras de deliberação para obtenção de *outputs*, são designadas por inferência e estruturadas em *arrays* monodimensionais, para os *outputs* pretendidos.

A desfuzificação é conseguida através do VI, *defuzzifier_constants.VI*, que se pode observar na Figura seguinte 6.10 que desfuzifica através de valores constantes, considerando os *arrays* contendo as constantes para cada regra e combinações operacionais das mesmas. Em resumo, cada *output* depende directamente da inferência constante nestes *arrays*.

Este VI por um lado considera as constantes de cada regra, por outro avalia as operações associadas a essas regras



Figura 6.10 – Desfuzificador, *defuzzifier_constants.vi*

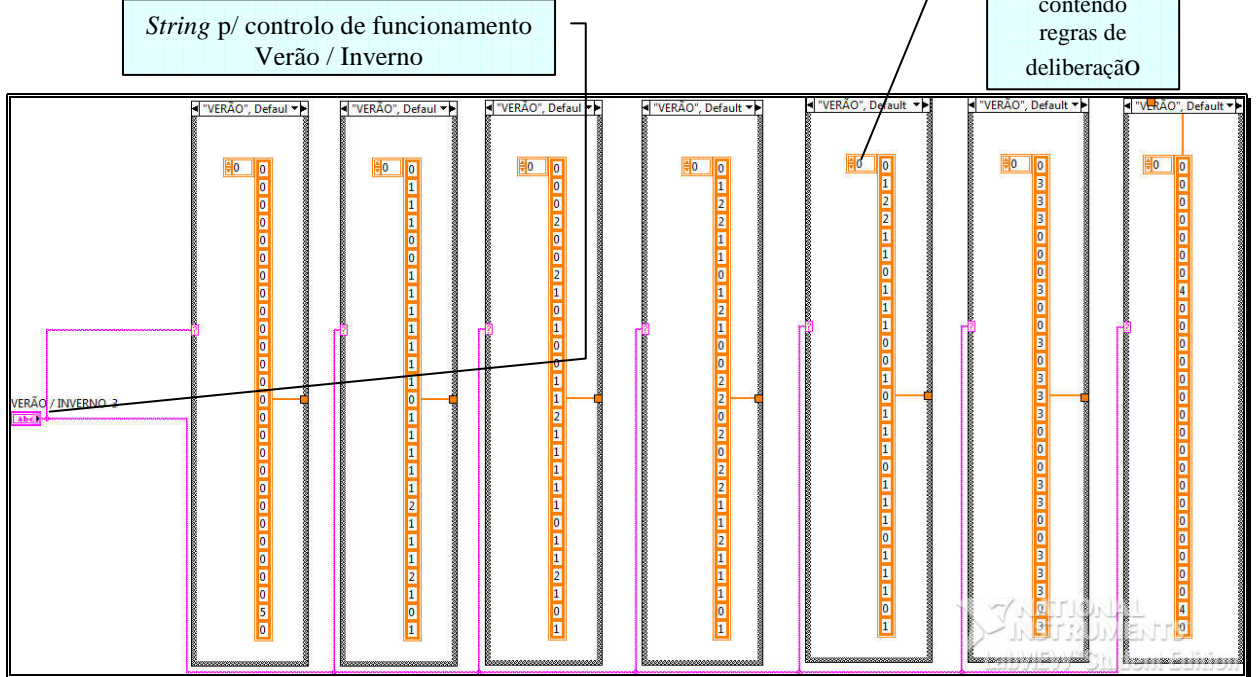


Figura 6.11 - Estruturas CASE, controladas por uma *string* que permite seleccionar funcionamento de Verão/Inverno, contendo *arrays* com as regras de deliberação, para cada condição considerada.

Completa-se a desfuzificação utilizando uma função de arredondamento, que nos oferece o número inteiro mais próximo.

De seguida construiu-se uma consola de *led's* que permitem uma leitura rápida da alteração das condições de operacionalidade normais, através de funções lógicas booleanas. Um *led* aceso na consola de cor vermelha, reflecte probabilidade de anomalia ou anomalia efectiva; um *led* aceso de cor verde reflecte condições de operacionalidade normais (quando o número inteiro obtido é superior a zero, acende-se um *led* de cor vermelha, caso contrário será um *led* de cor verde a acender, indicando normalidade no funcionamento da UTA. Pode-se observar este pormenor na Figura 6.12. Nesta figura pode-se observar também o painel de saída - *outputs* completo do agente.

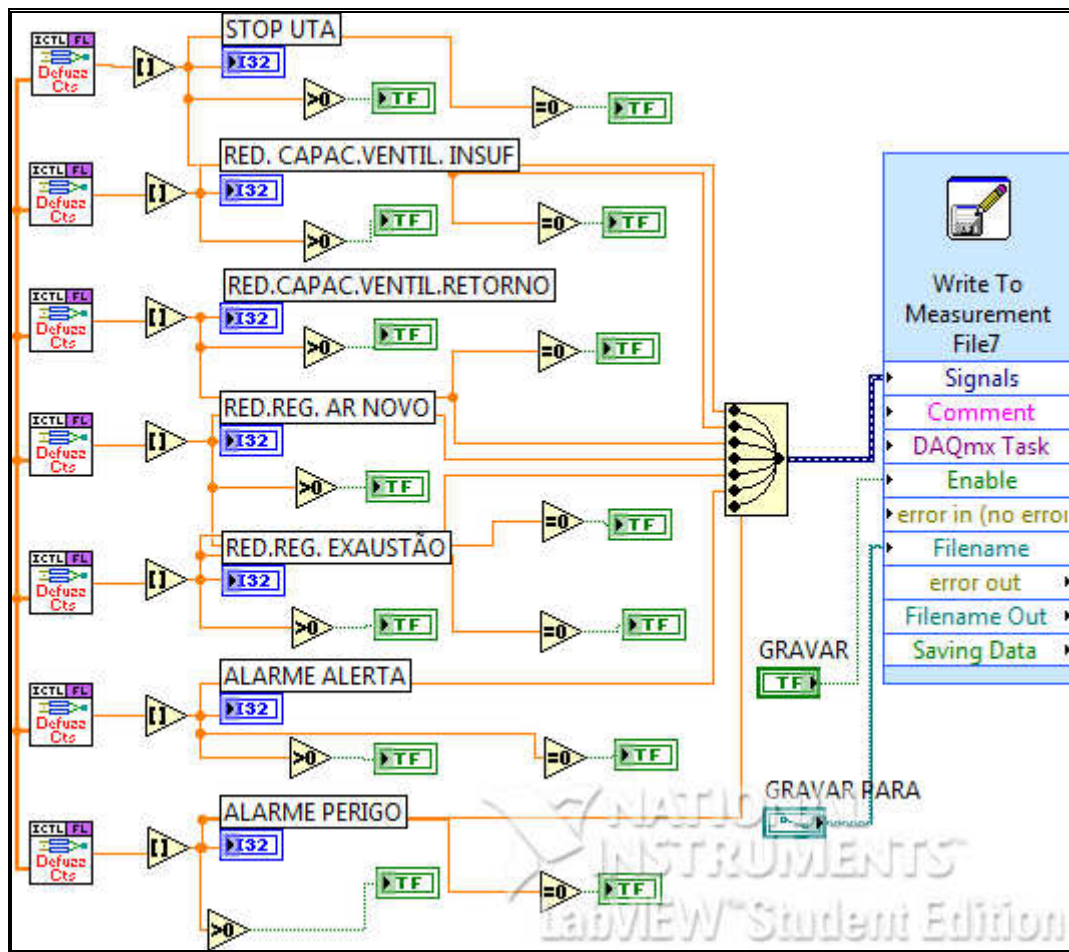


Figura 6.12 - Painel de *outputs* e registo de dados.

6.7.1 Simulador

Foram utilizados “sensores” simulados para reproduzir as condições que se poderiam obter em ambiente laboratorial. Botões do tipo *Knob*, com uma escala de 0 a 100 °C, simulam sinais de temperatura ou em alternativa *arrays* do tipo controlo numérico que nos permitem uma sintonia fina dos sinais que simulam a temperatura.

É feita uma comparação das temperaturas medidas com as temperaturas expectáveis para um dado regime de funcionamento.

Para os valores de referência, estimam-se valores expectáveis de acordo com os valores combinados de ar novo, secção de mistura e secção de retorno.

A diferença ou erro entre os valores medidos (simulados) e de referência (estimados) é avaliada pelo agente.

Simulação das condições de secção de mistura

Esta zona do simulador serve para simular condições de operacionalidade que possam ocorrer na secção de mistura. A Figura 6.13 ilustra a linguagem gráfica utilizada.

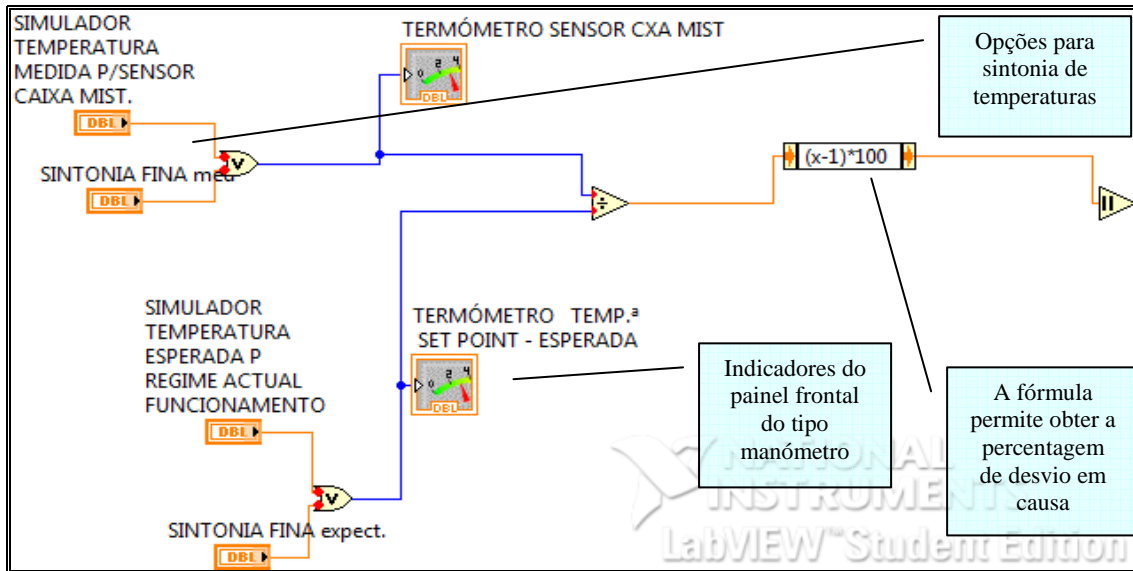


Figura 6.13 – Simulador de Temperatura da secção de mistura

. As temperaturas de mistura são calculadas de acordo com as temperaturas de retorno e ar novo requeridas, observando a estação do ano e caudais de ar novo e extracção envolvidos, tornando os dados coerentes. Este processo está descrito em pormenor no *anexo V*. Repare-se da observação da Figura 6.14 que os valores medidos podem ser adquiridos através de um botão do tipo *Knob* ou em alternativa através de um indicador numérico que nos permite um pouco mais de sensibilidade na selecção destes valores. Os dados são observáveis na consola através de indicadores do tipo manómetro. Os dois sinais simulados são de seguida comparados e obtida uma percentagem de desvio de um valor em relação ao outro. Este desvio, como é óbvio, só pode assumir valores reais inteiros.

Simulação das condições de secção de ar novo

Nesta zona do simulador simulam-se as temperaturas exteriores em jogo ou através de um botão do tipo *Knobb* ou em alternativa através de um indicador numérico. Um manómetro permite-nos, tal como anteriormente, uma visualização rápida destes valores. A Figura seguinte ilustra bem esta situação.

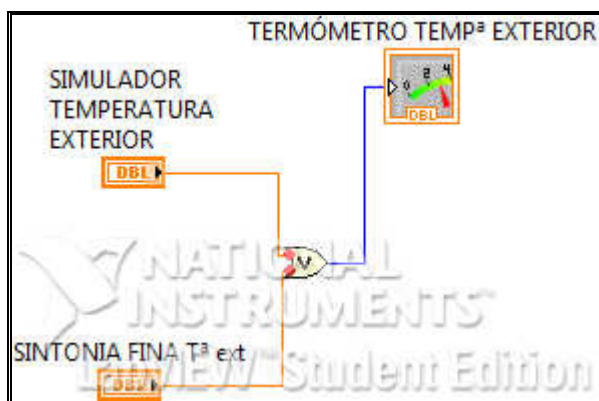


Figura 6.14 - Simulador de Temperatura exterior.

Simulação das condições de secção de retorno

À semelhança do que acontece na secção de mistura, o procedimento aqui é o mesmo. A Figura 6.15 ilustra também esta parte do simulador.

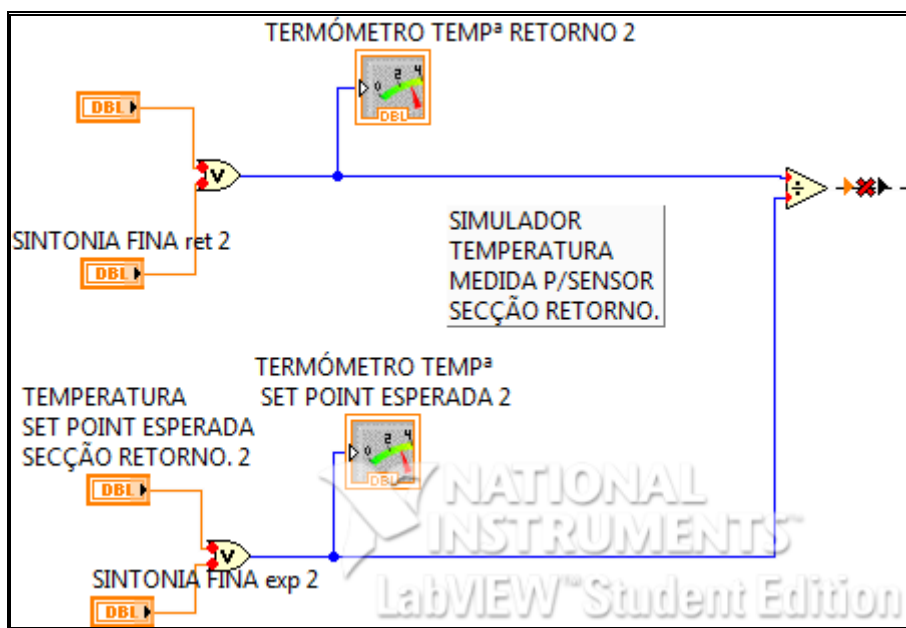


Figura 6.15 – Simulador de Temperatura da secção de retorno

Pode-se observar de seguida na Figura 6.16 o aspecto do diagrama de blocos completo do agente.

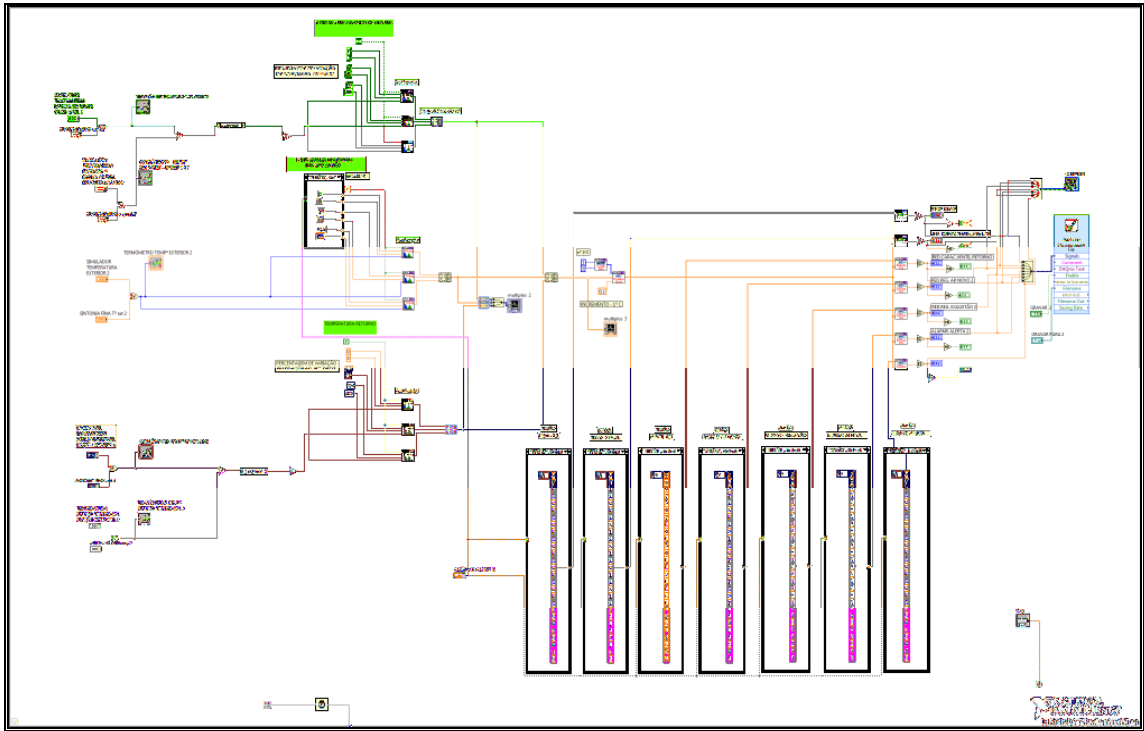


Figura 6.16 – Diagrama de blocos completo do agente

A Figura seguinte ilustra o ciclo que nos permite obter temperaturas de mistura simuladas, coerentes com as temperaturas de retorno e ar novo e respectivos caudais em jogo.

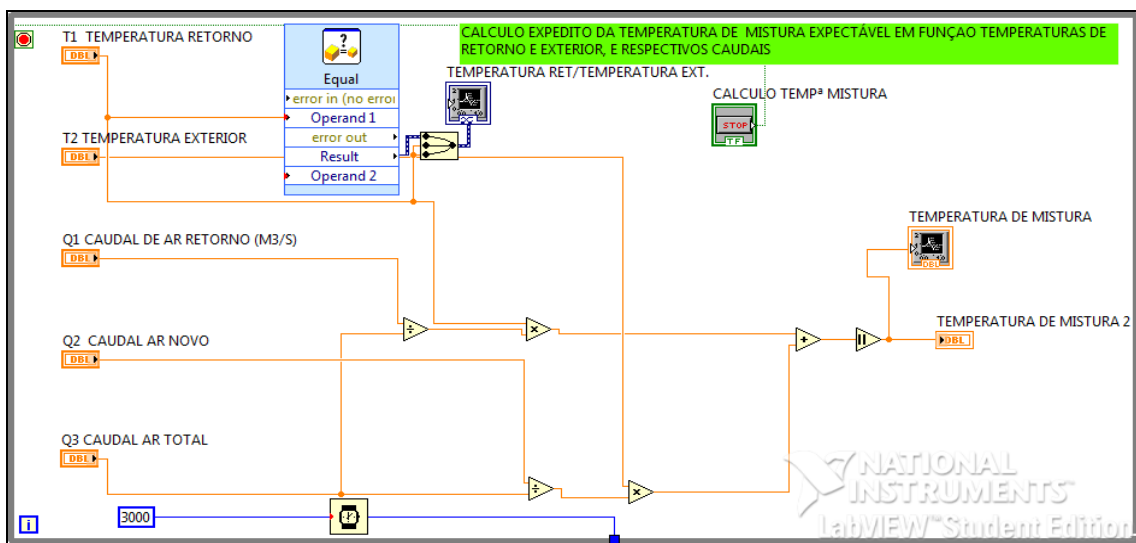


Figura 6.17 – Ciclo *WHILE* para obtenção de temperaturas de mistura simuladas.

Na figura seguinte pode-se observar o painel de controlo do simulador da UTA.

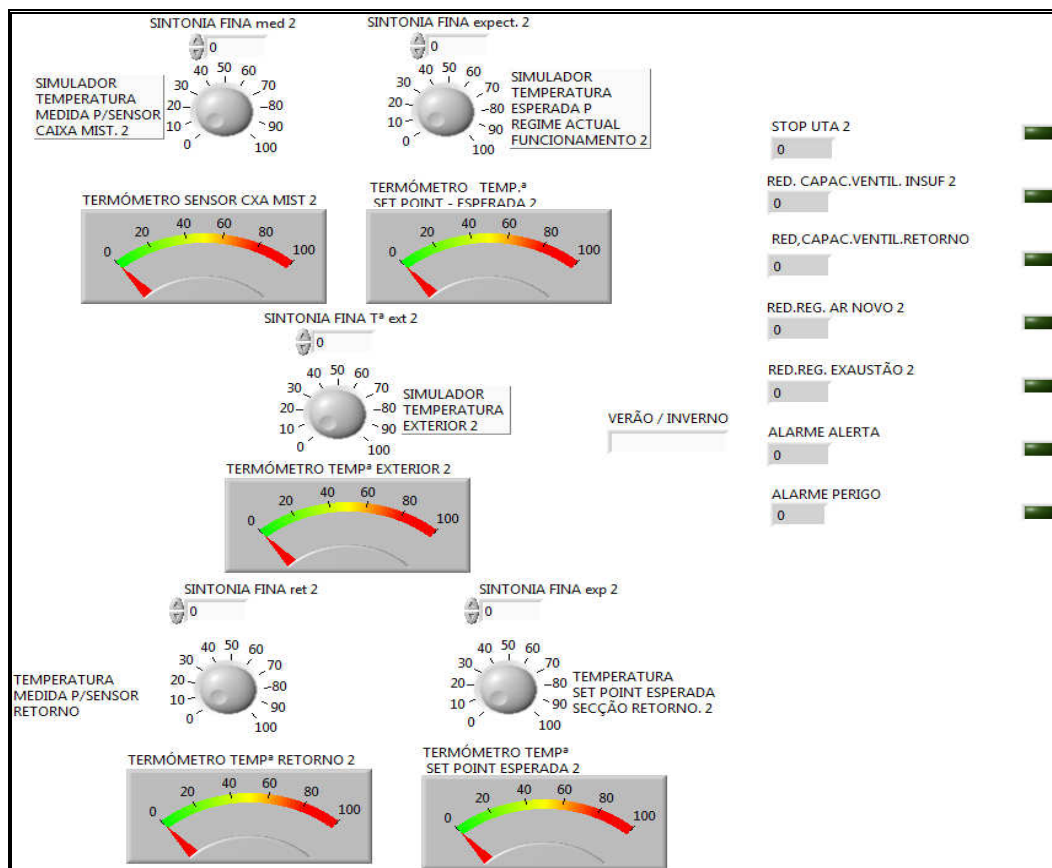


Figura 6.18 – Painel de controlo do simulador da UTA

6.7.2 Registo de dados

Para efectuar o registo de dados foi utilizado o *write to measurement express VI* o qual permite efectuar a gravação de um modo contínuo ou condicional.

No *anexo III* é descrito em pormenor o funcionamento e os procedimentos associados ao registo de dados.

6.8 Análise de simulações

Nesta secção serão analisados os resultados de diversas simulações do modelo real.

6.8.1 Análise de *outputs* na consola do simulador

1ª simulação – UTA em funcionamento normal sem desvios em relação ao expectável assinaláveis. O gráfico seguinte apresenta os *outputs* todos a zero no intervalo temporal considerado. Observa-se apenas uma linha sem qualquer descontinuidade no tempo, o que significa que todos os valores adquiridos e analisados estão dentro da normalidade.

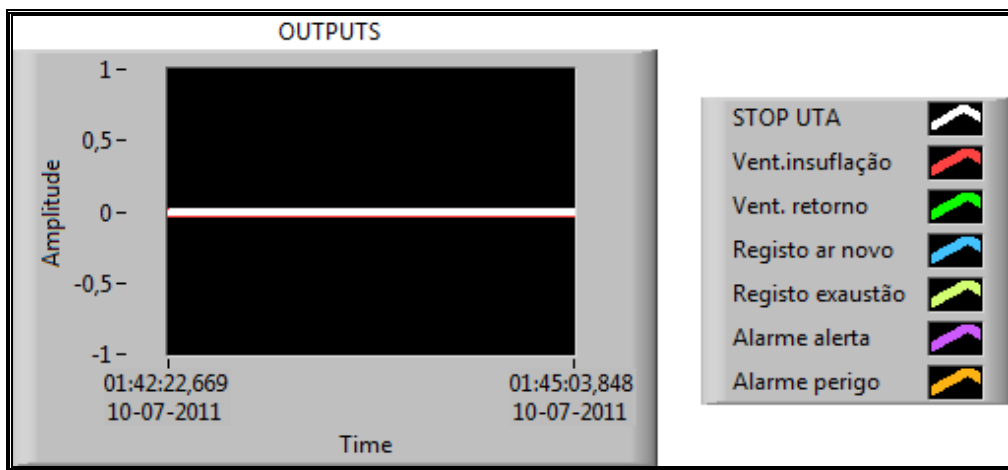


Figura 6.19 – Resultados da 1ª simulação denotando os *outputs* um funcionamento normal sem avarias ou falhas.

2ª simulação – Na Figura seguinte podemos observar a UTA em funcionamento anómalo com desvios em relação ao expectável. Esta Figura apresenta os *outputs* correspondentes a uma condição C9 em funcionamento de Inverno.

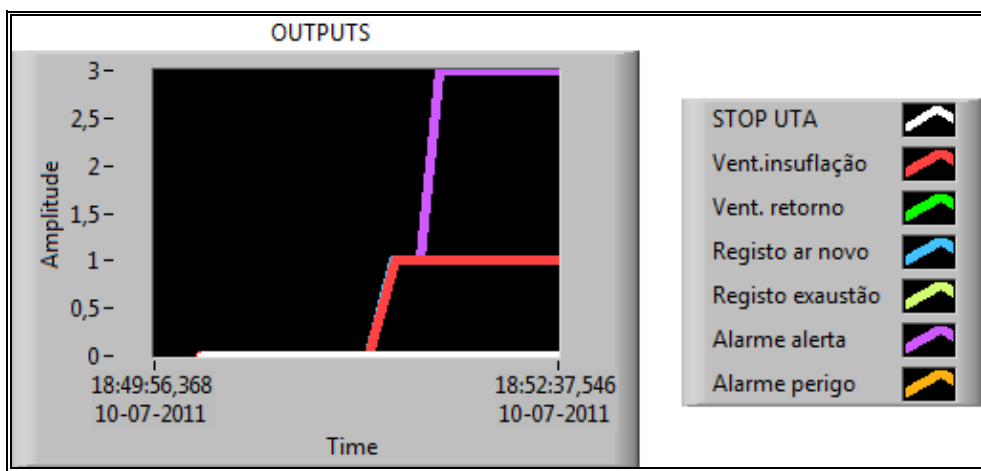


Figura 6.20 – Resultados da 2ª simulação denotando *outputs* que traduzem funcionamento anómalo na UTA

A consola de *outputs* apresenta a seguinte configuração :

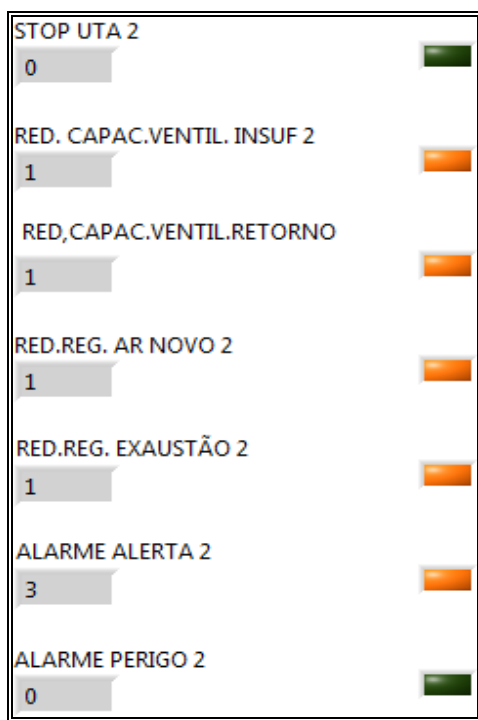


Figura 6.21 - Quadro de *outputs* do painel frontal

Esta condição (C9) indica-nos que estamos na presença de uma temperatura na caixa de mistura anormal baixa em relação às temperaturas expectáveis. Verifica-se também que a temperatura de ar novo é baixa em relação ao expectável, notando-se igualmente que a temperatura de retorno é anormal elevada relativamente aos valores expectáveis.

3ª simulação – Na Figura 6.22 seguinte, podemos observar a UTA em funcionamento anómalo com desvios em relação ao expectável, considerados de risco elevado, deliberando o agente informático a sua paragem. Esta figura apresenta os *outputs* correspondentes a uma condição *C13,C21,C24,C25,C26*, para funcionamento de Inverno que implicam uma paragem imediata da mesma, assim como a activação do alarme de perigo.

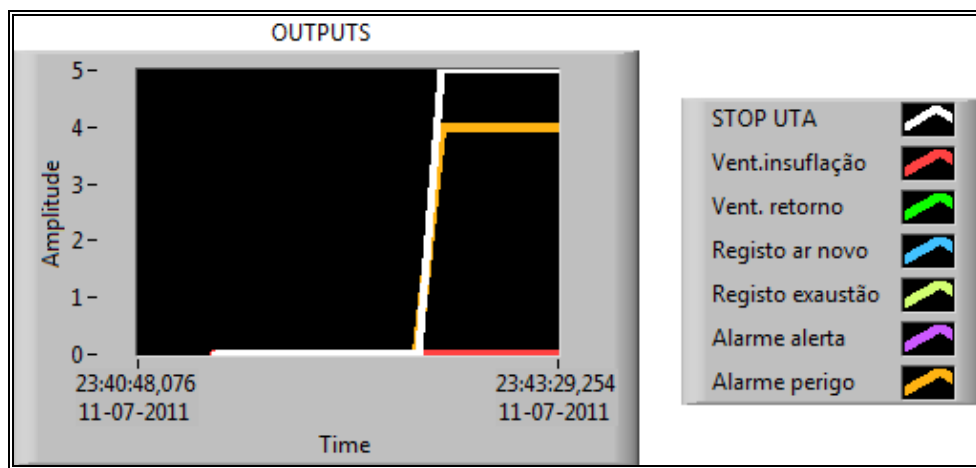


Figura 6.22 - Resultados da 3ª simulação com *outputs* correspondentes a condições: *C13,C21,C24,C25,C26*.

A consola de *outputs* apresenta a seguinte configuração :

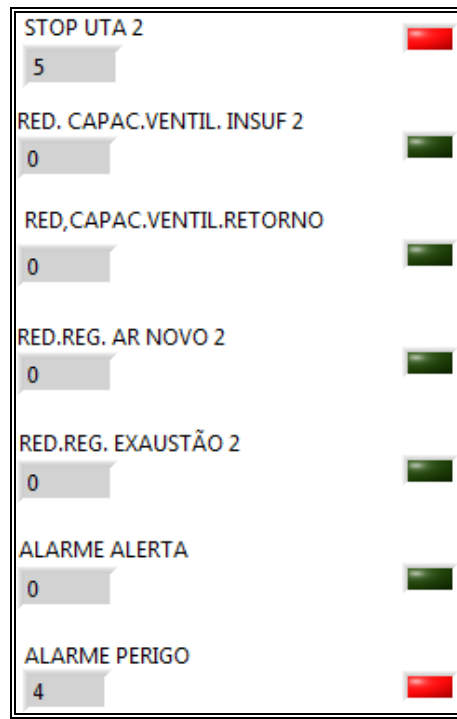


Figura 6.23 – Consola de *outputs*, 3ª simulação

4ª simulação – Nesta simulação observa-se na sequência da simulação anterior, a inversão dos valores que reflectem uma diminuição drástica da temperatura exterior. Estes valores de *outputs* são originados por uma condição C3 para funcionamento de Inverno.

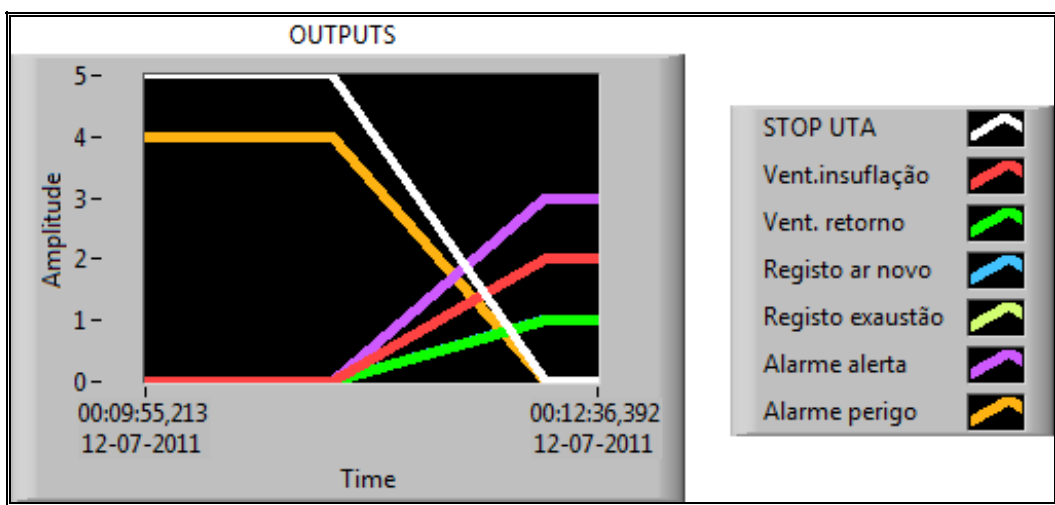


Figura 6.24 – Resultados da 4ª simulação reflectindo uma alteração *online* das condições de temperatura exterior.

6.8.2 Tempos de detecção de temperaturas desviantes

Analisando os gráficos das simulações anteriores conclui-se, que o agente é bastante eficaz (rápido) na detecção de anomalias que possam ocorrer. O tempo de uma iteração pode ser definido de acordo com o número de amostragens desejadas, o que define obviamente a taxa de amostragem. Na folha de *excel* da Figura 6.25, com os dados da amostragem registados importados em formato *TDMS*, podemos observar os tempos de detecção para os diferentes *outputs*. A tabela seguinte 6.4 reflecte também os tempos de detecção das simulações efectuadas.

Simulação #	Condição detectada	Tempo de detecção (s)	Alarme despoletado
Simulação 1	C0	0	-----
Simulação 2	C9	2.81	Alerta
Simulação 3	C13,C21,C24,C25,C26	2.81	Perigo
Simulação 4	C3	2.81	Alerta

Tabela 6.4 Tempos de detecção do agente

Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description
pedro.lvm		pedro		1	

Group	Channels	Description	wf_xcolumns
Untitled	8	One	

Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	NI_ChannelName	NI_ExpisRelativeTime	NI_ExpStartTimeStamp	NI_ExpTimeStamp	NI_ExpXDimension	wf
Time	DT_DATE	s	1					0	13-07-2011 12:56:52,300 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled	DT_DOUBLE		1			Untitled		0	13-07-2011 12:56:52,268 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled 1	DT_DOUBLE		1			Untitled 1		0	13-07-2011 12:56:52,237 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled 2	DT_DOUBLE		1			Untitled 2		0	13-07-2011 12:56:52,341 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled 3	DT_DOUBLE		1			Untitled 3		0	13-07-2011 12:56:52,353 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled 4	DT_DOUBLE		1			Untitled 4		0	13-07-2011 12:56:52,174 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled 5	DT_DOUBLE		1			Untitled 5		0	13-07-2011 12:56:52,206 AM	13-07-2011 12:56:52,354 AM	t	
Untitled 6	DT_DOUBLE		1			Untitled 6		0				

Implicit	Start	Interval	Length
Time	0	1	1

Figura 6.25 - Folha de cálculo com valores de detecção importados do algoritmo.

6.8.3 Anomalias detectadas

As anomalias detectadas pelo simulador podem ter várias origens. Podemos observar as condições de diagnóstico de funcionamento de Verão e Inverno nas secções 6.4 e 6.5 e respectivo *anexo*.

Capítulo 7

Conclusões, aplicações e desenvolvimento futuro

7.1 Considerações

Os resultados obtidos são encorajadores e demonstram que de facto o algoritmo criado é um poderoso indicador de possíveis anomalias que possam estar a afectar o sistema, ou ainda que o venham a fazer num horizonte temporal não muito longínquo. As simulações efectuadas confirmam que de facto os *outputs* resultantes da desfuzificação são precisos e funcionam de acordo com o seu objectivo de *design*.

A resposta rápida a qualquer desvio nas temperaturas normais de operação e *set-up*, verificado pelo agente, relativamente às temperaturas medidas pelas sondas, corresponde normalmente a um *output* que tem por objectivo minorar o impacto do desvio encontrado.

Quanto à decisão acerca da intervenção de equipas de manutenção humanas, cada vez que o sistema as identifica, exceptuando alguns casos considerados mais graves e que originam a paragem imediata da UTA, pensou-se que o mais lógico seria atribuir ao agente humano (supervisor do sistema ou responsável de manutenção) essa responsabilidade, utilizando os quadros de apoio *VI.1* e *VI.2*, que se encontram no *anexo VI* desta dissertação.

É óbvio que é muito mais simples planear uma intervenção de manutenção quando à partida temos identificadas as possíveis causas de falha/anomalia que muitas vezes ocorrem em envolventes exteriores à arquitectura considerada para o agente. Assim o *expert* humano é fundamental para avaliar o tipo de acções a desencadear, depois da actuação do agente.

A arquitectura do tipo multiagente enquadra-se na perfeição com uma política proactiva de manutenção em equipamentos electromecânicos AVAC.

7.2 Deliberação do agente, suas implicações e consequências colaterais

Paragem da UTA

A paragem completa do sistema é também uma alternativa, caso o agente delibere nesse sentido. Esta paragem só é equacionada em situações extremas, quando a conjugação de situações desviantes sejam consideradas bastante anómalas. No entanto, esta opção/acção deve ser encarada e ponderada em conjunto com as consequências que daí possam resultar. O responsável humano deve estar em perfeitas condições de fazer esta avaliação pois possui informação privilegiada que transcende o agente e pode zelar para que não seja permitida a ocorrência de danos ou prejuízos, materiais ou humanos ou pode pelo menos tentar minimizá-los em último recurso. O agente não está estruturado para avaliar condições exteriores à sua envolvente básica. Também a emissão de um sinal de perigo deliberada pelo agente deve ser transmitida de imediato ao técnico de forma a que o tempo de decisão seja suficiente para efectuar a escolha adequada à situação em causa, devendo este apoiar-se na maior quantidade de informação disponível, assim como na sua experiência adquirida e como regra de ouro possuir um conhecimento exaustivo do sistema.

Ventiladores de insuflação

Já vimos que é possível ao agente deliberar, de acordo com as regras estabelecidas, que a capacidade de ventilação na insuflação seja diminuída em 25% ou 50 %. Estes modos de funcionamento alternativos dependem como já vimos das regras básicas estabelecidas. Como é óbvio esta redução de capacidade implica, ainda que temporariamente, alterações ao funcionamento do sistema e normalmente aumento ou redução de temperaturas interiores, assim como alterações aos caudais em jogo. A possibilidade de intervenção do agente humano está prevista em qualquer altura pelo sistema. Este poderá excepcionalmente não aceitar as condições impostas pelo agente informático, caso entenda existir naquele momento uma solução que melhor se adapte, atendendo aos diversos condicionalismos de funcionamento a que a instalação possa estar sujeita.

Pretende-se que a redução da capacidade destes ventiladores seja temporária, até que a possível anomalia/falha detectada seja corrigida. Entretanto os espaços climatizados a montante deste ventilador sofrem uma tendência para ficar em depressão, a qual se acentua com a continuação deste funcionamento de recurso imposto pela deliberação do agente, desde que a velocidade de retorno não se altere.

Ventiladores de extracção

Tal como para os ventiladores de insuflação, é possível ao agente deliberar a redução da capacidade destes ventiladores em 25% ou 50%.

Obviamente, as condições interiores de funcionamento seleccionadas vão sofrer desvios, se o agente assim o deliberar. Caso os dois agentes (o humano e o informático) assim o entendam, esta situação implicará, ainda que temporariamente, uma perda de qualidade no ar interior. Existirá assim uma tendência temporária para que os espaços servidos por este ventilador entrem em sobrepressão, o que reduzirá a qualidade do ar interior. Em casos extremos deverão ser considerados sensores de CO₂ para que a qualidade do ar não se deteriore além dos limites admissíveis para o ser humano (0.3% CO₂ – Boa QAI; 0.6% CO₂ – QAI Admissível; 1% CO₂ – QAI Má; 6% CO₂ – QAI Muito má), (Carrier, 1999). Esta diminuição da capacidade de ventilação pode originar, em determinadas condições de utilização dos espaços interiores, variações significativas das temperaturas seleccionadas. Ao decisor humano será atribuída a capacidade para decidir de uma forma diferenciada.

Registo de extracção

Este registo é muito importante no controlo da qualidade do ar interior. À medida que este registo se vai fechando, a quantidade de ar recirculado aumenta, recirculando com ele todos os seus contaminantes, tabaco, CO, CO₂, odores, poeiras, etc..

Alarme de condição de alerta

Este alarme é activado sempre que o agente “entender” que a situação se reveste de gravidade considerável. Como tal, deve despoletar imediatamente uma análise por parte do técnico responsável da manutenção (agente humano), no sentido de decidir qual a melhor opção mediante as informações obtidas pelos agentes informáticos e suas deliberações, auxiliado pelos quadros de apoio do *anexo VI* e pela sua própria experiência pessoal.

Alarme de condição de perigo

Este alarme é activado sempre que o agente assim o delibere. Poderá também decidir pela paragem da UTA. Este modo de alarme indica que está a ocorrer uma anomalia que depois de avaliada pelo agente foi considerada grave. Possivelmente o agente já deliberou anteriormente em relação a uma possível intervenção em alguns componentes da UTA. Espera-se também uma decisão do agente humano em complemento ao agente.

7.3 Agente humano, capacidades de percepção aplicadas ao caso de estudo

Os seres humanos possuem de facto uma enorme capacidade para perceber determinados sinais, cheiros, sabores, vibrações e toques, (Junior, 1995). A sensibilidade de qualquer agente de manutenção humano deve ser treinada, desenvolvida e estimulada. O responsável da manutenção deve estar imbuído desta disciplina e inculcá-la aos seus colaboradores. Algumas horas de treino poderão ter um retorno de eficácia muito elevado. Os sentidos humanos não estão, regra geral, treinados para detectar pequenas variações. O agente humano deve ser treinado considerando: especificações quantitativas, fotografias, registos, etc. Amostragens devem ser também providenciadas, onde os parâmetros críticos devem ser bem visíveis, diferenciando o bom do razoável e do mau. O tipo de decisão a tomar deve ser do tipo “ aceitável/ não aceitável”. Este tipo de decisão apoiada e ponderada é um auxiliar precioso para aumentar a eficácia do agente informático, o qual apesar de poder deliberar sozinho, não

possui a experiência humana. Esta simbiose permite atingir resultados muito positivos numa óptica proactiva e predictiva de detecção de anomalias, ou desvios de *set-point* que possam traduzir desgaste, avaria ou mau funcionamento de qualquer constituinte da UTA.

7.4 Necessidade de um planeamento de manutenção aplicado ao caso de estudo

A predictividade com carácter proactivo, requer dados consistentes e concisos com o mínimo ruído ou interferências possíveis. Através do registo de dados disponível em quantidade suficiente, será possível prever anomalias, desde que sejam provocadas por desgaste ou funcionamentos intermitentes, originados por defeitos não detectáveis pelos processos comuns de inspecção.

É ainda essencial para que a utilização deste algoritmo seja bem sucedida (Haines & Hittle, 2003) e para que possa sobretudo contribuir para um aumento de eficácia pretendido na política de manutenção adoptada que:

1. Exista uma listagem de todos os componentes fundamentais da UTA e dos respectivos intervalos considerados para as intervenções preventivas, recomendados pelo fabricante. Estes componentes são aqueles onde a susceptibilidade de ocorrerem avarias são mais frequentes e onde normalmente o fabricante de alguma forma conhece as suas leis de degradação.
2. Seja efectuado um planeamento bem concebido e detalhado com tarefas definidas mensalmente, semanalmente e se possível diariamente, o que nos permitirá adaptar os requisitos impostos pelo fabricante à análise do sistema efectuada pelo agente, optimizando assim intervalos entre intervenções.
3. Exista responsabilização e sensibilização dos técnicos que efectuam as tarefas.
4. Exista supervisão eficaz das tarefas em execução, de forma a garantir a qualidade.
5. Seja efectuada a actualização das bases de dados referentes às intervenções efectuadas.

Estes dados, em conjunto com o agente, permitem estruturar e prever, conseguindo-se assim implementar um plano realista e dinâmico, perfeitamente adaptado às condições da máquina e/ou instalação onde está inserida.

6. Efectuar o *follow-up* das intervenções, se necessário, de forma a corrigir discrepâncias que possam ocorrer.
 7. Efectuar a actualização e melhoramento das condições de deliberação do agente.
- O algoritmo está estruturado de uma forma simples e eficaz, permitindo alterações de limites de funções *fuzzy* e alterações à inferência de uma forma fácil rápida e eficaz, o que lhe confere grande dinamismo a este nível.

7.5 Optimização de intervenções nos equipamentos controlados pelo agente

A proactividade conferida pelo agente permite optimizar intervenções, realizando trabalhos que se tenham vindo a revelar de alguma prioridade, bastando para isso que num intervalo temporal pré-definido tenham existido dois ou mais alertas de segurança, acerca dos quais se tenha determinado com sucesso o diagnóstico. Torna-se possível a optimização de qualquer intervenção visto que conhecemos à partida as tendências do sistema.

7.6 Registo de intervenções, confirmação de anomalias e quadros de apoio

De cada vez que o agente detecta uma falha/anomalia, o tempo de intervenção para a correcção desta deve ser equacionado de acordo com a severidade presumível da mesma. Caso se confirme a não transitoriedade da ocorrência, ou seja, os valores anómalos demonstrem uma tendência para se manterem, então pode e deve certamente ser urgente intervir. Caso contrário, um episódio isolado pode não ser sinónimo de anomalia ou tendência declarada. O responsável humano deve também possuir o bom senso suficiente e a experiência necessária para poder avaliar acerca do tipo de intervenção a efectuar. Os quadros de apoio do, *Anexo VI*, fornecem indicações preciosas acerca das acções a levar a cabo mediante as condições verificadas e

deliberações do agente, permitindo uma decisão partilhada entre agente humano e agente informático, caso se opte por este tipo de política, como exemplifica a Figura 7.1



Figura 7.1 – Decisão partilhada entre agentes humano e informático
(Peabirus, 2011)

7.7 Desenvolvimento futuro

Num futuro trabalho será interessante gerir de uma forma proactiva a manutenção de grupos de equipamentos AVAC, onde a sua maior semelhança seja o seu funcionamento termodinâmico. Será interessante em ambiente MAS gerir a manutenção de UTA's *chillers*, ventiladores *fan-coils* etc.

O ambiente MAS permite o controlo simultâneo de diversos parâmetros, como por exemplo temperaturas, pressões, graus de humidade relativa, entre outras variáveis presentes no sistema e que se pretendam controlar.

O aperfeiçoamento das deliberações dos vários agentes envolvidos permitirá também racionalizar ao máximo os consumos de energia envolvidos, o que é hoje uma necessidade premente em qualquer sociedade medianamente evoluída. Como sabemos as instalações AVAC consomem uma fatia bastante considerável da energia dispendida nas instalações em grandes edifícios, representando cerca de quinze a vinte por cento da energia total consumida por estes.

Um dos objectivos duma futura abordagem a estas matérias será a de conferir maior autonomia ao agente ou grupo de agentes, permitindo que a intervenção humana seja relegada definitivamente para segundo plano, possibilitando assim de uma forma completamente automática e inteligente manter os equipamentos operacionais com os menores custos energéticos, menores custos de manutenção e rácios de eficiência e eficácia o mais próximos do óptimo possível. A proactividade é uma forma de encarar também esta nova preocupação dos tempos actuais na procura da solução óptima. O

próximo passo a dar no desenvolvimento deste algoritmo será nesse sentido. Em cada instante o equipamento deve ser “ incentivado “ a reduzir o seu consumo energético, fazendo uso do conhecimento disponível da sua envolvente. Uma das primeiras medidas a adoptar será talvez a optimização do funcionamento de cada componente da UTA, através do conhecimento adquirido pelos seus agentes, pressupondo assim uma futura utilização de redes neuronais com algoritmos genéticos (Zilouchian & Jamshidi, 2001).

Imagine-se o benefício de conseguir implementar todo este sistema numa grande instalação AVAC, onde milhões de euros são dispendidos na grande maioria dos casos seguindo políticas antiquadas e onde a proficiência deixa muito a desejar. Se em cada instante o sistema possuir a capacidade de se auto-avaliar e conseqüentemente seja capaz de se auto-reconfigurar de forma inteligente, não ignorando nenhum dos seus objectivos de *design*, as vantagens serão de facto incontáveis.

Esta dissertação abre uma janela sobre o muito que existe por fazer neste domínio onde a competitividade é cada vez maior e as probabilidades de falha pretendem-se cada vez menores.

Pretende-se desta forma contribuir para tornar a manutenção destes equipamentos (AVAC) o mais proactiva, abrangente e objectiva possível, com benefícios óbvios para todos os intervenientes directos ou indirectos.

Bibliografia

- Arquès, P. (1996). *Diagnostic Prédicatif de L'état Des Machines*. 1ª edição. Masson. ISBN 2-225- 85367-3. Paris, França.
- Bojadziev, G. & Bojadziev, M. (1995). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, 1ª edição, World Scientific, ISBN 9810223889, Londres, Inglaterra
- Cabral, J.P.S., (1998). *Organização e Gestão da Manutenção*. 2ª edição, Lidel edições técnicas, ISBN : 972-757-052-6, Lisboa, Portugal
- Carrier Air Conditioning Company (1999). *Manual de aire acondicionado*, 1ª edição, Marcombo Boixareu Editores, ISBN 84-267-0115-9, Barcelona, Espanha
- Chen, G. & Pham, T. (2000). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*, CRC Press, ISBN 0-8493-1658-8, Houston, Texas, EUA
- Chadderton, V. D. (2000). *Manual Práctico Del Aire Acondicionado (Frío Y Calor)*. 1ª Edição. A.Madrid Vicente Ediciones. ISBN 84-87440-93-2, Madrid, Espanha
- Cook J.P. (2009)., Monitoring Preventive Maintenance Effectiveness. Proactive approach studies corrective maintenance orders on components in the PM program. Disponível em [http:// www.indianpointenergy.net/entergy](http://www.indianpointenergy.net/entergy)
- Cruz P.P. & Figueroa F.D.R (2010). *Intelligent control systems with Labview®*, 1ª edição Springer, ISBN 978-1-84882-683-0, Cidade do México, México
- Dhillon, B. S., (2006). *Maintenability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. 1ª Edição, Taylor & Francis, ISBN : 0-8493-7243-7, Boca Raton, EUA
- Danfoss Refrigerant controls (2002) *Notas de montagem – equipamentos eléctricos automáticos*. Lisboa, Portugal.

Faisal I.Khan & Mahmoud M Haddara (2003). Risk based maintenance (RBM) : a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning, Faculty of engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland, St John's, Nfld, Canada.

Ferber, J & Gasser, R.(1995). Les SystÉms Multi-Agents. *Vers une intelligence collective*. 1ª edição, InterEditions ISBN : 0-6582-5428-2, Paris, France

Globalspec (2011). Fuzzy temperature sensors , *disponível em* : <http://globalspec.com>

Haines, R.W. & Hittle, D.C (2003), *Control Systems for heating, ventilating, and air conditioning*, 6ª edição, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-3259-2264-0, Londres, Inglaterra.

Jhcontrols (2009). Sistemas integrados de controlo e gestão AVAC - American auto-matrix, *disponível em* : <http://www.jhcontrols.com>

Junior, P. D. J. (1995). *Preventive Maintenance*.

The International Society for Measurement and Control, New York, EUA

Kartalopoulos, S.V. (1996). *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, ISBN 0-7803-1128-0, Nova Iorque, EUA

Kenthavarnaz N. & Kim N. (2005). *Digital Signal Processing System-Level Design using LabVIEW®*. 1ª edição, Elsevier / Newnes, ISBN : 0-7506-7914-X, Oxford, EUA

Khan L.K.F & Haddara M.M (2005). *Development of a risk based maintenance (RBM) strategy for a power generating plant*. Memorial University of Newfoundland, St John's NL, Canada

- Khan L.K.F & Haddara M.M (2003). *Risk based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance / inspection scheduling and planning*. Memorial University of Newfoundland, St John's NL, Canada
- Koelet C. P. (1997). *Fundamentos, diseño y aplicaciones*. 1ª edição A. Madrid Vicente Ediciones, ISBN : 84-87440-97-5, Madrid, Espanha
- Langley, C.B. (1999). *Electromechanical and Electronic Controls for HVAC*. 1ª edição, Prentice Hall, ISBN : 0-13-907569-0, New Jersey, EUA
- Langley, C.B. (2003). *Air conditioning and refrigeration handbook*. 2ª edição, Prentice Hall, ISBN : 0135787416, New Jersey, EUA
- Mendes, M.J.G.C. (2008). *Multi-agent Approach to Fault Tolerant Control Systems* Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Mihura B. (2001). *LabVIEW® for Data Acquisition*. 1ª edição, Prentice Hall, ISBN : 0-13-015362-1, Saddle River, EUA
- Miller R. (2006). *LabVIEW® for Data Acquisition*. 1ª edição, Mcgraw-Hill, ISBN 0071604995, Londres , Inglaterra
- Mitplc (2011). Remote monitoring , *disponível em : <http://mitplc.com>*
- Myrefelt S. (2004). *The reliability and availability of heating, ventilation and air conditioning systems*, KTH, Division of building services Engineering, Royal Institute of technology, Estocolmo, Suécia
- Monchy, F. (1996). *La fonction maintenance. Formation à la gestion de la maintenance industrielle*, Masson, ISBN 2-225-85518-8, Paris, França
- Morphx. (2011) Supervisor software 963, *disponível em: <http://www.morphfx.co.uk>*

NIST, The National Institute of standards & technology, (1995), Life cycle costs, disponível em : <http://www.nist.gov>

Oughton, D.R., & Hodkinson, S., (2002), *Heating and air conditioning of buildings*, 9ª Edição, Butterworth Heinemann, ISBN : 0-7506 – 4642 – X, Oxford, Inglaterra

Peabirus (2011), Nativos x emigrantes digitais, disponível em <http://www.peabirus.com.br>

Piotrovsky, J. (2001), Proactive maintenance for pumps, Archives. disponível em : <http://www.maintenanceworld.com>

Piper P.E (2009), Maintenance and energy savings, disponível em : www.Facilities.net.com.

Patton, J. D. (1995). *Preventive Maintenance*, The International Society for Measurement and Control, 2ª edição, ISBN 1-55617-533-7. EUA

Reis, L.P. (2003). *Coordenação em sistemas multiagente, Aplicações na gestão Universitária e Futebol Robótico*, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal

Rocha M., & Cortez P., & Neves J.M, (2008). *Análise Inteligente de Dados*. 1ª edição FCA editora, ISBN : 978-972-722-278-0, Lisboa , Portugal

Souris, J.-P. (1992). *Manutenção Industrial: Custo ou Benefício*, 1ª Edição, Lidel edições técnicas, ISBN : 972—9018-25-1, Lisboa, Portugal.

Stoneham, D. (1998). *MAINTENANCE MANAGEMENT and TECHNOLOGY Handbook*. 1ª edição, Elsevier Advanced Technology, ISBN : 1 85617 3151, Cambridge, Inglaterra.

Stone P. & Veloso M., (1996) *Multi-Agent Systems: A Survey from a*

Machine Learning Perspective, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE).

Stuart, M. (2011). Infrared safari, *disponível em* : <http://reliabilityweb.com>

Sumathi, S. & Surekha, P. (2007). *LabVIEW® based Advanced Instrumentation Systems*, Springer, ISBN 10 3-540-48500-7, Berlim, Alemanha

Temflex (2008). Logic controllers. *disponível em* : <http://temflexcontrols.com>

Tommaso T. & Nazario R. (1993). “Metanetwork” n°2.
Revista “Byte”. USA.

Travis, J. (2002). *LabVIEW® for Everyone* .2ª edição, Prentice Hall PTR, ISBN : 0-13-065096-X, Saddle River, EUA

Underwood, C.P. (1999). HVAC Control Systems. *Modeling, Analysis and Design*.1ª Edição, Taylor & Francis , ISBN : 0-419-20980-8, Londres, Inglaterra.

University of Southampton (2010). Agents architecture. *dísponivel em*:
<http://eprints.ecs.soton.ac.uk>

Wang S.K. (2000). *Handbook of air conditioning and refrigeration*, 2ª edição. Mcgraw – Hill, ISBN 0-07-068167-8, New York, EUA

Weber A & Thomas R. (2005). *Key performance indicators, mesasuring and maintenance function*. Ivara Corporation, Ontario, Canada

Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, The MIT Press, ISBN 0-262-23203-0, Massachussets, EUA

Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multiagent Systems* .2ª edição John Wiley & Sons, ISBN: 0-471-49691-X, Londres, Inglaterra

Xiang, Y. (2002). *Probabilistic Reasoning in Multiagent Systems. A graphical models approach*, Cambridge University Press, ISBN 0 521 81308 5, Cambridge, Inglaterra

Zilouchian A. & Jamshidi M. (2001). *Intelligent control Systems using soft computing methodologies*, CRC press. ISBN : 0-8493-1875-0. Boca Ratón - Florida, EUA.

Anexo I

Regras básicas de deliberação otimizadas e diagnósticos para funcionamento de Verão/Inverno

Regras otimizadas para UTA em funcionamento de Inverno

- R (0) : IF x1 is *NI* AND x2i is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C0
- R (1) : IF x1 is *H1* AND x2i is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C1
- R (2) : IF x1 is *NI* AND x2i is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C2
- R (3) : IF x1 is *NI* AND x2i is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C3
- R (4) : IF x1 is *L1* AND x2i is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C4
- R (5) : IF x1 is *NI* AND x2i is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C5
- R (6) : IF x1 is *NI* AND x2i is *N2* AND x3 is *L3* THEN y is C6
- R (7) : IF x1 is *L1* AND x2i is *L2* AND x3 is *L3* THEN y is C7
- R (8) : IF x1 is *L1* AND x2i is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C8
- R (9) : IF x1 is *L1* AND x2i is *L2* AND x3 is *H3* THEN y is C9
- R (10) : IF x1 is *L1* AND x2i is *N2* AND x3 is *L3* THEN y is C10
- R (11) : IF x1 is *L1* AND x2i is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C11
- R (12) : IF x1 is *L1* AND x2i is *H2* AND x3 is *L3* THEN y is C12
- R (13) : IF x1 is *L1* AND x2i is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C13
- R (14) : IF x1 is *L1* AND x2i is *H2* AND x3 is *H3* THEN y is C14
- R (15) : IF x1 is *NI* AND x2i is *L2* AND x3 is *L3* THEN y is C15
- R (16) : IF x1 is *NI* AND x2i is *L2* AND x3 is *H3* THEN y is C16
- R (17) : IF x1 is *NI* AND x2i is *H2* AND x3 is *L3* THEN y is C17
- R (18) : IF x1 is *NI* AND x2i is *H2* AND x3 is *H3* THEN y is C18
- R (19) : IF x1 is *H1* AND x2i is *L2* AND x3 is *L3* THEN y is C19
- R (20) : IF x1 is *H1* AND x2i is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C20
- R (21) : IF x1 is *H1* AND x2i is *L2* AND x3 is *H3* THEN y is C21
- R (22) : IF x1 is *H1* AND x2i is *N2* AND x3 is *L3* THEN y is C22
- R (23) : IF x1 is *H1* AND x2i is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C23
- R (24) : IF x1 is *H1* AND x2i is *H2* AND x3 is *L3* THEN y is C24

R (25) : IF x1 is *H1* AND x2i is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C25

R (26) : IF x1 is *H1* AND x2i is *H2* AND x3 is *H3* THEN y is C26

Conjunto de regras para UTA em funcionamento de Verão

R (0) : IF x1 is *N1* AND x2v is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C0

R (1) : IF x1 is *H1* AND x2v is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C1

R (2) : IF x1 is *N1* AND x2v is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C2

R (3) : IF x1 is *N1* AND x2v is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C3

R (4) : IF x1 is *L1* AND x2v is *N2* AND x3 is *N3* THEN y is C4

R (5) : IF x1 is *N1* AND x2v is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C5

R (6) : IF x1 is *N1* AND x2i is *N2* AND x3 is *L3* THEN y is C6

R (7) : IF x1 is *L1* AND x2i is *L2* AND x3 is *L3* THEN y is C7

R (8) : IF x1 is *L1* AND x2i is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C8

R (9) : IF x1 is *L1* AND x2i is *L2* AND x3 is *H3* THEN y is C9

R (10) : IF x1 is *L1* AND x2i is *N2* AND x3 is *L3* THEN y is C10

R (11) : IF x1 is *L1* AND x2i is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C11

R (12) : IF x1 is *L1* AND x2i is *H2* AND x3 is *L3* THEN y is C12

R (13) : IF x1 is *L1* AND x2i is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C13

R (14) : IF x1 is *L1* AND x2i is *H2* AND x3 is *H3* THEN y is C14

R (15) : IF x1 is *N1* AND x2i is *L2* AND x3 is *L3* THEN y is C15

R (16) : IF x1 is *N1* AND x2i is *L2* AND x3 is *H3* THEN y is C16

R (17) : IF x1 is *N1* AND x2i is *H2* AND x3 is *L3* THEN y is C17

R (18) : IF x1 is *N1* AND x2i is *H2* AND x3 is *H3* THEN y is C18

R (19) : IF x1 is *H1* AND x2i is *L2* AND x3 is *L3* THEN y is C19

R (20) : IF x1 is *H1* AND x2i is *L2* AND x3 is *N3* THEN y is C20

R (21) : IF x1 is *H1* AND x2i is *L2* AND x3 is *H3* THEN y is C21

R (22) : IF x1 is *H1* AND x2i is *N2* AND x3 is *L3* THEN y is C22

R (23) : IF x1 is *H1* AND x2i is *N2* AND x3 is *H3* THEN y is C23

R (24) : IF x1 is *H1* AND x2i is *H2* AND x3 is *L3* THEN y is C24

R (25) : IF x1 is *H1* AND x2i is *H2* AND x3 is *N3* THEN y is C25

R (26) : IF x1 is *H1* AND x2i is *H2* AND x3 is *H3* THEN y is C26

Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de Inverno

C0 - UTA em funcionamento normal. anomalias não detectadas:

C1 - Temperatura anormal elevada na caixa mistura. Causas prováveis:

- Bateria ou valvularia com anomalia.
- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Sensor com anomalia

C2 - Temperatura de ar novo elevada. Causas prováveis:

- T^a exterior anormalmente elevada.
- Presença de fonte de calor nas proximidades.
- Sobreaquecimento do motor do registo de ar novo, ou quadro eléctrico.

C3 - Temperatura de retorno anormal elevada. Causas prováveis:

- Registos fechados nas grelhas dos espaços interiores.
- Registos fechados no Layout de condutas.
- Actividade que desenvolva calor elevado num qualquer espaço interior

C4 - Temperatura anormal baixa na caixa de mistura. Causas prováveis:

- Anomalia na bateria de aquecimento.
- Sensor caixa de mistura c/ anomalia.
- Anomalia na bateria de aquecimento ou valvularia.

C5 - Temperatura de ar novo baixa. Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremamente baixas.
- Registo motorizado demasiado aberto, anomalia no motor ou controlador.
- Sensor de temperatura de ar novo com anomalia.

C6 – Temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Zonas com infiltrações de ar frio suficientemente significativas para induzir uma temperatura de retorno anormal baixa.
- Anomalias no sensor da temperatura de retorno.

C7 - Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Anomalia na bateria de aquecimento.
- Caudal de alimentação de água quente insuficiente .
- Fuga de fluido quente, ou frigorigéneo algures no ciclo frigorífico exterior.
- Formação de gelo em zonas críticas.

C8 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo anormal baixa.

Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremas, e anormais.
- Registo de ar novo com anomalia.
- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Sensor da secção de mistura a registar anomalia.

C9 - Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Registo de exaustão com anomalia.
- Anomalia na bateria de aquecimento ou valvularia.

C10 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de retorno anormal baixa.

Causas prováveis:

- Anomalia na bateria de aquecimento ou valvularia.
- Controlador com anomalia.
- Infiltrações algures no espaço climatizado.

C11 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de retorno anormal alta.

Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Registo de exaustão com anomalia.
- Registos fechados em grelhas ou difusores.
- Sensores com anomalias.

C12 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo alta, temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Anomalias na bateria de aquecimento, caudal insuficiente de fluido quente.
- Actividades que desenvolvem calor elevado nas proximidades do registo de ar novo.
- Infiltrações de ar exterior elevadas dentro do edifício.
- Condições climatológicas anormais para a época.

C13 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo alta. Causas prováveis:

- Actividades que desenvolvem calor elevado nas proximidades do registo de ar novo.
- Condições climatológicas anormalmente altas para a época.
- Anomalias na bateria de aquecimento ou valvularia.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C14 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo alta, e temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Actividades que desenvolvem calor elevado nas proximidades do registo de ar novo.
- Fonte de calor não expectável que se desenvolve algures dentro do edifício.
- Condições climatéricas anormais para a época.

C15 – Temperatura de ar novo anormal baixa, temperatura de retorno anormal baixa.

Causas prováveis:

- Registo de ar novo com anomalia.
- Infiltrações de ar á temperatura ambiente exterior muito elevadas no edifício
- Bateria de aquecimento ou valvularia com anomalia.

C16 – Temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal elevada. Causas prováveis:

- Registo de ar novo com anomalia.

- Fonte de calor não expectável que se desenvolve algures dentro do edifício.
- Ventilador de retorno com funcionamento anómalo.

C17 – Temperatura de ar novo alta, e temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Infiltrações de ar à temperatura ambiente exterior muito elevadas no edifício
- Ventilador de retorno com funcionamento anómalo.
- Fonte de calor não expectável a desenvolver-se nas proximidades da UTA.

C18 – Temperatura de ar novo alta, e temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas anormais.
- Incêndio ou fonte de calor nas proximidades (interior/exterior).
- Grelhas ou registos da UTA com anomalia.

C19 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa e temperatura de retorno anormal baixa, Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Bateria de aquecimento com funcionamento anómalo.
- Caudal de fluido frigorigéneo insuficiente.
- Válvula expansora na bateria com defeito.

C20 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Bateria de aquecimento ou valvularia com funcionamento anómalo.

C21 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas não expectáveis.
- Registo de extracção com funcionamento anómalo.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C22 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas não expectáveis.
- Registo de exaustão com funcionamento anómalo.
- Grelhas e difusores com registos fechados.

C23 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de retorno anormal alta.

Causas prováveis:

- Registo de extracção com funcionamento anómalo.
- Fonte de calor não expectável que se desenvolve algures dentro do edifício.
- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.

C24 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo alta temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Registo de exaustão com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas não expectáveis.
- Infiltrações de ar à temperatura ambiente exterior muito elevadas no edifício.
- Fonte de calor não expectável a desenvolver-se nas proximidades da UTA.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C25 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo alta. Causas prováveis:

- Registo de exaustão com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas não expectáveis.
- Fonte de calor exterior não expectável a desenvolver-se próximo da UTA.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C26 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo alta, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Registo de exaustão com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas não expectáveis.
- Anomalia na bateria de aquecimento.
- Fonte de calor não expectável que se desenvolve algures dentro/fora do edifício.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

*Nota : Temperatura anormal alta ou baixa refere-se aos desvios para o expectável podendo estes ser considerado reduzidos ou elevados.

Diagnóstico de possível anomalia em funcionamento de Verão

C0 - UTA em funcionamento normal , anomalias não detectáveis

C1 - Temperatura anormal elevada na caixa mistura. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Bateria de arrefecimento com funcionamento anómalo.
- Funcionamento anómalo do registo de extracção.
- Funcionamento anómalo do registo de ar novo.

C2 - Temperatura de ar novo elevada. Causas prováveis:

- T^a exterior anormalmente elevada.
- Actividade que desenvolva calor a desenvolver-se nas proximidades.
- Sensor de temperatura de ar novo com anomalia.

C3 - Temperatura de retorno anormal elevada. Causas prováveis:

- Provável avaria no sensor.
- Ventilador retorno com avaria.

- Actividade que desenvolva calor elevado num qualquer espaço interior,
- Bateria de arrefecimento ou valvularia com anomalia.

C4 - Temperatura anormal baixa na caixa de mistura. Causas prováveis:

- Avaria na bateria de frio, sensor ou controlador com defeito.
- Registo de extracção ou retorno com anomalia.
- Sensor ou controlador com anomalia.

C5 - Temperatura de ar novo baixa. Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremamente baixas, para a época.
- Sensor com defeito ou anomalia.

C6 – Temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Registos manuais ou motorizados fechados indevidamente no traçado de condutas.
- Anomalias no sensor da temperatura de retorno.

C7 - Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Anomalias na bateria de frio, sondas ou controlador com defeito.
- Temperaturas exteriores anormalmente baixas.
- Registos manuais ou motorizados fechados indevidamente no traçado de condutas.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C8 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo baixa. Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremas.
- Controlador com defeito.
- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.

C9 - Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Condições climatológicas extremas.
- Controlador com funcionamento anómalo.
- Bateria de frio, ou valvularia com anomalia.
- Grelhas ou difusores com registos fechados.

C10 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de retorno anormal baixa.

Causas prováveis:

- Anomalia na bateria de frio ou valvularia.
- Controlador com funcionamento anómalo.
- Registos de grelhas ou difusores fechados.
- Sensores com anomalia.

C11 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de retorno anormal alta.

Causas prováveis:

- Registos manuais ou motorizados fechados indevidamente no traçado de condutas.
- Ventilador de insuflação com anomalia.
- Controlador com anomalia.
- Bateria de frio ou valvularia com anomalia.

C12 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo alta, temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Registos manuais ou motorizados fechados indevidamente no traçado de condutas.
- Bateria de frio com funcionamento anómalo, controlador ou sondas com funcionamento anormal.
- Condições climatéricas anormais.

C13 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo alta. Causas prováveis:

- Incêndio ou outras actividades que desenvolvem calor elevado nas proximidades do registo de ar novo.
- Condições climatológicas anormalmente altas para a época.

- Anomalias na bateria de frio, válvulas ou sensores.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C14 – Temperatura de mistura anormal baixa, temperatura de ar novo alta, e temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com anomalia.
- Ventilador de retorno com anomalia.
- Bateria de frio ou valvularia com anomalia.
- Sensores com anomalia.
- Controlador com possível anomalia.
- Actividade que desenvolve calor nas proximidades da UTA.

C15 – Temperatura de ar novo anormal baixa, temperatura de retorno anormal baixa.

Causas prováveis:

- Registos de grelhas ou difusores fechados.
- Condições climatéricas anormais para a época.
- Ventilador de retorno com funcionamento anómalo.

C16 – Temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal elevada. Causas prováveis:

- Condições climatéricas anormais para a época.
- Registos manuais ou motorizados fechados indevidamente no traçado de condutas.
- Anomalia na bateria de frio ou valvularia.

C17 – Temperatura de ar novo anormal alta, e temperatura de retorno anormal baixa.

Causas prováveis:

- Condições climatéricas anormais para a época.
- Registos de grelhas ou difusores fechados.
- Controlador com funcionamento anómalo.

C18 – Temperatura de ar novo alta, e temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Carga térmica não expectável no interior do edifício.
- Ventilador de retorno com funcionamento anómalo.

C19 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa e temperatura de retorno anormal baixa . Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Anomalias na bateria de frio ou válvularia.
- Registo de exaustão com funcionamento anómalo.
- Sensores com anomalia.
- Temperatura exterior anormal.

C20 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa. Causas prováveis:

- Recuperador de fluxos cruzados com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Anomalias na bateria de frio ou valvularia.
- Sensores com anomalia.

C21 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Anomalias na bateria de frio ou válvularia.
- Ventilador de retorno com anomalia.
- Condições climatéricas não expectáveis.
- Carga térmica elevada não expectável no interior do edifício.
- Sensores com funcionamento anómalo.

C22 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo baixa, temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Bateria de frio ou valvularia com funcionamento anómalo.
- Condições climatéricas anormais para a época.
- Sensores com defeito.

- Carga térmica não expectável algures no interior do edifício.

C23 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de retorno anormal alta.

Causas prováveis:

- Bateria de frio, válvulas, sensores ou placa controladora, com anomalia.
- Registo de exaustão ou ar novo com funcionamento anómalo.
- Fonte de calor não expectável que se desenvolve algures dentro do edifício.

C24 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo alta, temperatura de retorno anormal baixa. Causas prováveis:

- Ventilador insuflação com anomalia.
- Bateria de frio ou valvularia com defeito.
- Controlador com funcionameto anómalo.
- Registos de grelhas ou difusores fechados.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C25 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo alta. Causas prováveis:

- Bateria de frio ou valvularia com comportamento anómalo.
- Controlador com anomalia.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Sensores com anomalia.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

C26 – Temperatura de mistura anormal alta, temperatura de ar novo alta , temperatura de retorno anormal alta. Causas prováveis:

- Registo de extracção com funcionamento anómalo.
- Registo de ar novo com funcionamento anómalo.
- Anomalia na bateria de frio, sondas ou controlador.
- Fonte de calor não expectável que se desenvolve algures dentro do edifício.

(Conjugação de temperaturas pouco frequente – sugere-se a paragem do equipamento)

Anexo II

Manutenção – Terminologia e KPI's com interesse em contexto proactivo

Terminologia

Bem de substituição:

(Sobressalente) Bem destinado à substituição de um bem equivalente, tendo em vista o restabelecimento da sua função original.

Disponibilidade: Capacidade de um ítem para cumprir determinada função solicitada num intervalo de tempo pré-definido, desde que se assegurem condições aceitáveis de operacionalidade.

Manutibilidade: Aptidão de um bem em desempenhar uma dada função num intervalo temporal bem definido, em condições de operacionalidade bem definidas.

Manutenção: Universo de acções a empreender durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a repô-lo ou mantê-lo num estado satisfatório de operacionalidade.

Fiabilidade: Aptidão de um bem para cumprir determinada tarefa, em condições operacionais pré definidas, considerando um intervalo temporal desejado.

Disponibilidade: Aptidão de um bem para levar a cabo uma função requerida em determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo, durante o qual são asseguradas as condições e recursos externos indispensáveis.

Durabilidade: Aptidão para um bem desempenhar determinada função requerida, em condições de utilização e manutenção adequadas, até atingir um estado limite (por ex: o fim da sua vida útil).

Redundância activa: Redundância que prevê que todos os meios necessários ao cumprimento de uma função requerida estejam simultaneamente em funcionamento.

Redundância passiva: Redundância que prevê que só uma parte dos meios necessários ao cumprimento de uma função requerida estão simultaneamente em funcionamento, enquanto a outra parte se encontra em *stand-by*.

Vida útil: O intervalo temporal em que o sistema, órgão ou máquina, opera de acordo com uma taxa de avarias aceitável, terminando quando a taxa de avarias se torna inaceitável.

Avaria por desgaste: Avaria que aumenta a sua probabilidade de ocorrência com a utilização do bem, ou com as solicitações aplicadas.

Avaria por envelhecimento: Avaria onde a probabilidade de ocorrência aumenta com o passar do tempo, independentemente do tempo de funcionamento do bem.

Degradação: Dá-se devido a uma irreversibilidade de uma ou várias características, relacionadas com o passar do tempo, duração de utilização ou causa externa.

Avaria devido a uma causa comum: Avaria de vários bens com origem na mesma causa ou raiz comum. As avarias causadas são independentes.

Avaria primária: Avaria de um bem não causada por uma avaria ou estado de falha de outro bem, quer de uma forma directa quer de uma forma indirecta.

Avaria secundária: Avaria com causas directas ou indirectas numa avaria ou estado de falha de outro bem.

Avaria súbita: Avaria imprevisível, quer por recurso a monitorização quer por exame prévio.

Em falha: Bem inapto para cumprir com função pré definida. Exclui-se: inaptidão por negligência de manutenção preventiva ou falta de recursos externos.

Em falha latente: Estado de falha existente, que ainda não foi possível detectar.

Modo de falha: Forma de verificar a incapacidade de um bem para cumprir determinada tarefa.

Estado de disponibilidade: Estado de um bem caracterizado pelo facto de poder cumprir uma função requerida, assumindo que o fornecimento de recursos externos eventualmente necessários está assegurado.

Estado degradado: Estado de um bem que continua a cumprir uma função requerida com desempenho aceitável, mas inferior aos valores especificados da referida função.

Estado de indisponibilidade: Estado de um bem caracterizado por um estado de falha ou por uma eventual incapacidade para desempenhar uma função requerida durante a manutenção preventiva.

Estado de incapacidade: Estado de um bem caracterizado pela sua inaptidão para cumprir uma função requerida, seja qual for a razão.

Estado de incapacidade externa: Estado de incapacidade de um bem disponível por falta de recursos externos necessários ou que não está disponível devido a acções programadas que não sejam de manutenção.

Estado de funcionamento: Estado de um bem que cumpre uma função requerida.

Estado de repouso: Estado de um bem disponível quando não está em funcionamento durante um tempo em que não é requerido.

Estado de espera: Estado de um bem disponível quando não está em funcionamento durante um período de tempo em que é requerido.

Estado de risco: Estado de um bem em que se prevê poder provocar danos corporais a pessoas, perdas materiais significativas ou outras consequências inaceitáveis.

Paragem programada: Interrupção programada do funcionamento para realizar operações de manutenção ou outros fins.

Tempo de disponibilidade: Intervalo de tempo durante o qual um bem está em estado de disponibilidade.

Tempo de indisponibilidade: Intervalo de tempo durante o qual um bem não cumpre a função requerida.

Tempo de funcionamento: Intervalo de tempo durante o qual um bem cumpre a função requerida.

Tempo requerido: Intervalo de tempo durante o qual o utilizador exige que o bem esteja em condições de cumprir uma função requerida.

Tempo de espera: Intervalo de tempo durante o qual o bem está num estado de espera.

Tempo de repouso: Intervalo de tempo durante o qual o bem está num estado de repouso.

Tempo de manutenção: Intervalo de tempo durante o qual é realizada, manual ou automaticamente, uma acção de manutenção sobre um bem, incluindo atrasos técnicos e logísticos.

Tempo de manutenção preventiva: Parte do tempo de manutenção durante o qual é efectuada a manutenção preventiva num bem, incluindo atrasos técnicos e logísticos inerentes à manutenção preventiva.

Tempo de manutenção correctiva: Parte do tempo de manutenção durante o qual a manutenção correctiva é efectuada num bem, incluindo atrasos técnicos e logísticos inerentes à manutenção correctiva.

Tempo de manutenção activa: Parte do tempo de manutenção durante o qual a manutenção activa é efectuada num bem, quer manual ou automaticamente, excluindo os atrasos logísticos.

Tempo de reparação: Parte do tempo da manutenção correctiva activa, durante a qual uma reparação é realizada sobre um bem.

Atraso logístico: Tempo acumulado durante o qual a manutenção não pode ser efectuada, devido à necessidade de adquirir recursos de manutenção, excluindo qualquer atraso administrativo.

Tempo acumulado de funcionamento até à avaria: Duração acumulada dos tempos de funcionamento de um bem, desde a primeira colocação em estado de disponibilidade até ao aparecimento de uma avaria, ou desde a sua reconstrução até à avaria seguinte.

Tempo entre avarias: Intervalo de tempo de calendário entre duas avarias consecutivas de um bem.

Tempo de funcionamento entre avarias: Duração acumulada dos tempos de funcionamento entre duas avarias consecutivas de um bem.

Período de avarias por degradação: Período final da vida de um bem, durante o qual a taxa de avarias deste bem é consideravelmente superior à taxa de avarias do período precedente.

Período de taxa de avarias constante: Período na vida de um bem durante o qual a taxa de avarias é aproximadamente constante.

Ciclo de vida: Intervalo de tempo que se inicia com a sua concepção e termina com a sua eliminação.

Tempo de incapacidade externa: Intervalo de tempo durante o qual um bem está em estado de incapacidade externa.

Logística de manutenção: Recursos, serviços e meios de gestão necessários para executar a manutenção.

Escalão de manutenção: Posição no seio de uma organização, onde os diversos níveis especificados de manutenção são executados sobre um bem.

Análise de avaria: Exame lógico e sistemático de um bem que teve uma avaria, a fim de identificar e analisar o mecanismo da avaria, a sua causa e consequências.

Análise de falha: Exame lógico e sistemático de um bem a fim de identificar e analisar a probabilidade, as causas e as consequências de potenciais estados de falha.

Documentação de manutenção: Informação, em suporte escrito ou electrónico, necessária para a execução da manutenção.

Cadastro de bens: Registo com a identificação individual dos bens e a sua localização.

Caderno de manutenção: Parte da documentação de manutenção que regista todas as avarias, estados de falha e informações relativas à manutenção de um bem. Este caderno poderá também incluir custos de manutenção, a disponibilidade do bem assim como outros dados relevantes.

Indicadores e KPI's

Custo do ciclo de vida: Todos os custos gerados durante o ciclo de vida do bem.

Eficácia da manutenção: Relação entre o objectivo da manutenção e os resultados desta.

Rendimento da manutenção: Razão entre os recursos planeados ou estimados como necessários para realizar a tarefa da manutenção requerida e os recursos realmente utilizados.

Tempo médio de funcionamento entre avarias: Previsão matemática do tempo de funcionamento entre avarias.

Tempo médio entre avarias: Previsão matemática do tempo de calendário entre avarias:

MTBF – Tempo médio entre a ocorrência de falhas

$$MTBF = \sum T_{fi} / N^{\circ} A_v \quad (30)$$

T_{fi} – Tempo de funcionamento nesse período

$N^{\circ} A_v$ – n° de avarias nesse período

Tempo médio de reparação: Previsão matemática do tempo de reparação:

MTTR – Tempo médio que dura a reparação

$$MTTR = \sum T_{ri} / N^{\circ} A_v \quad (31)$$

T_{ri} – Tempo de reparação utilizado no período

Podemos ainda definir:

MWT – Tempo médio de espera para reparação da avaria

$$MWT = \sum Tei / N^{\circ} Av \quad (32)$$

Tei – Tempo de espera no período

N° Av – n° de avarias nesse período

$$\text{Disponibilidade} - \sum (Tfi) / \sum (Tfi + Tri + Tei) \quad (33)$$

$$\text{Disponibilidade prática} - \sum (Tfi) / \sum (Tfi + TiAi) \quad (34)$$

TiAi – tempo de reparação de avarias que em que o equipamento esteve fora de operacionalidade.

Podem observar-se na tabela seguinte alguns indicadores de performance com interesse relativo para uma perspectiva proactiva.

Factor de perturbação	Grandeza a medir	KPI	Objectivos médios Aceites internacionalmente
Resultado de atrasos	Custo	Custo da manutenção	Contextos específicos
Resultado de atrasos	Custo	Rácio do custo da manutenção pela troca de activos e instalações	2 – 3%
Resultado de atrasos	Custo	Custo da manutenção sobre custo da produção	< 10 – 15 %
Resultado de atrasos	Custo	Custo da manutenção sobre vendas totais	6 – 8%
Resultado de atrasos	Falhas	Tempo compreendido entre falhas consecutivas (MTBF)	Contextos específicos
Resultado de atrasos	Falhas	Frequência de falha	Contextos específicos
Resultado de atrasos	Tempo de paragem	Tempo de paragem devido a manutenção não planeada	Contextos específicos
Resultado de atrasos	Tempo de paragem	Tempo de paragem devido a manutenção planeada	Contextos específicos
Condução do processo	Identificação de trabalho	Percentagem de ordens de serviço, não atendidas, durante pelo menos 5 dias, depois do período especificado para o seu cumprimento	80% das ordens de serviço, devem ser processadas em 5 dias ou menos
Condução do processo	Planeamento do trabalho	Percentagem de ordens de serviço estimadas em 10% do actual período de	Um nível de eficácia superior a 90% seria um bom nível de desempenho

		tempo utilizado	
Condução do processo	Planeamento do trabalho	Estado das ordens de serviço em trabalhos que têm de ser repetidos em relação ao mês anterior	Este nível não deve exceder os 2 ou 3 %
Condução do processo	Programação de trabalho	Percentagem de horas de trabalho x homem planeadas sobre o total de horas x homem disponíveis	Objectivo de 80% de horas de trabalho planeadas e utilizadas
Condução do processo	Programação de trabalho	Percentagem de ordens de trabalho associadas a atrasos devido a indisponibilidade de homens, equipamento, espaço ou serviços dado um específico intervalo de tempo	Objectivo: não deve exceder os 3 - 5%
Condução do processo	Cumprimento de tarefas	Percentagem de ordens de trabalho completas antes da data prevista para o efeito	O cumprimento do cronograma deve ser superior a 90%
Condução do processo	Cumprimento de tarefas	Percentagem de trabalhos de manutenção e ordens de serviço a necessitar de planeamento mais eficaz	O trabalho de reparações repetidas deve ser menor que 3%
Condução do processo	Cumprimento de tarefas	Percentagem de ordens de trabalho executadas num dado intervalo de tempo pré definido	Deve alcançar os 95% ou mais Com a expectativa de que as ordens de trabalho são correctamente efectuadas
Condução do processo	Trabalho de acompanhamento	Percentagem de ordens de trabalho cumpridas num espaço de 3 dias, sobre um	Deve alcançar os 95% ou mais, com a expectativa de que as ordens de trabalho são revistas e

		período de tempo pré definido	efectuadas prontamente
Condução do processo	Análises de desempenho	Confiabilidade das acções iniciadas tendo em vista a análise do desempenho num período específico de tempo	Não há um número concreto, mas o nível relativo de actividade é importante
Condução do processo	Análises de desempenho	Número de equipamentos com acções de melhoria de confiabilidade iniciadas e resolvidas, num período de tempo específico	Esta é uma medida do sucesso de um projecto

Tabela A.I.I – KPI's – com interesse em contexto proactivo

Anexo III

Registo de dados

Considerações

Na Figura seguinte pode-se observar o referido VI assim como o "interruptor" booleano que permite parar ou iniciar a gravação em qualquer altura e a *string*, que nos permite definir o ficheiro onde gravar os dados. As propriedades deste VI permitem várias opções para registo de dados.

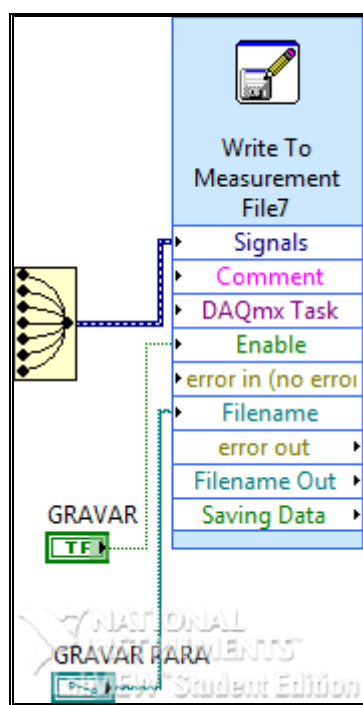


Figura A.III.1 VI de registo de dados e conversão para texto ou formato binário

Write to measurement file.VI

A consola de configuração deste VI pode ser ilustrada na Figura seguinte, onde poderemos configurar os registos de dados adquiridos.

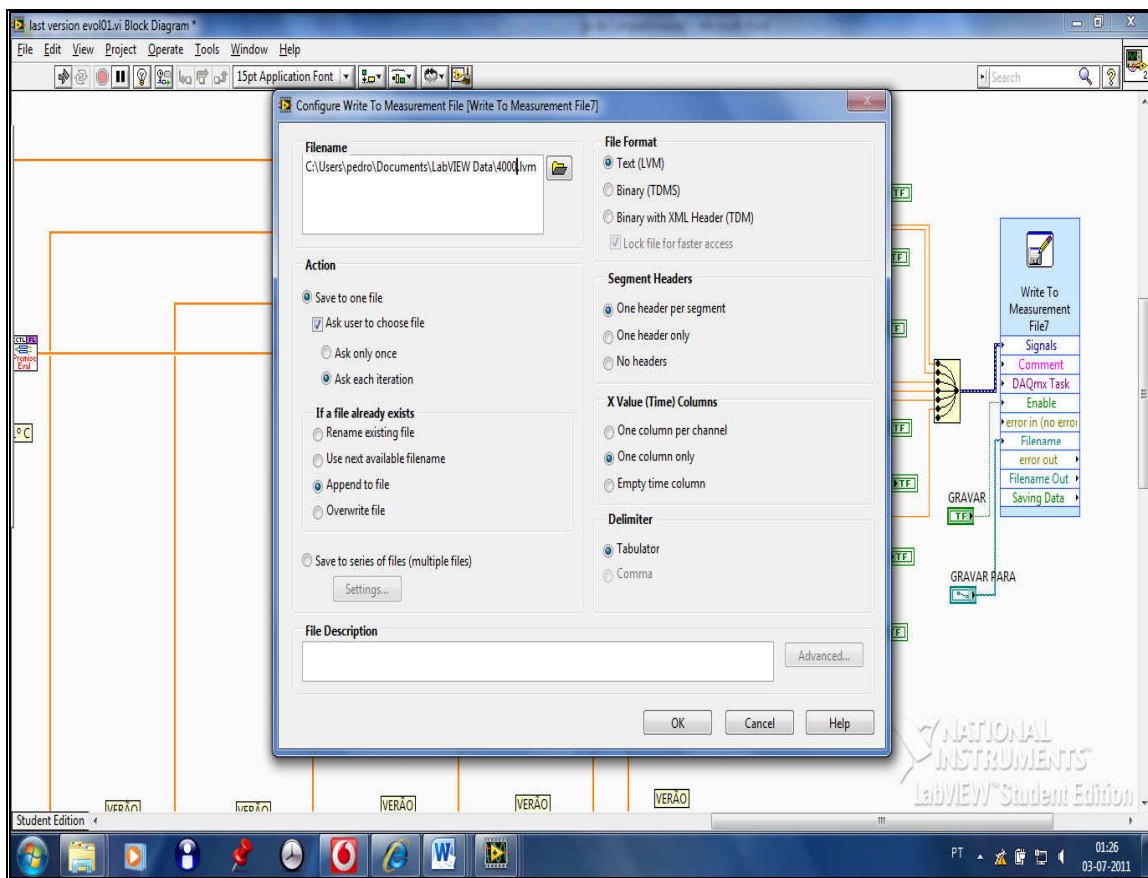


Figura A.III.2 Consola de comandos do VI de registo de dados e conversão para texto, ou formatos binários

Através desta consola é possível configurar o VI. “Write to measurement file”

As medições ou simulações feitas *on-line* são registadas num ficheiro próprio do sistema (Kehtarnavaz & Kim, 2005). As Figuras seguintes ilustram duas possibilidades de gravação de dados, cada uma delas possibilitando o registo com extensões do tipo lvm e tdms.

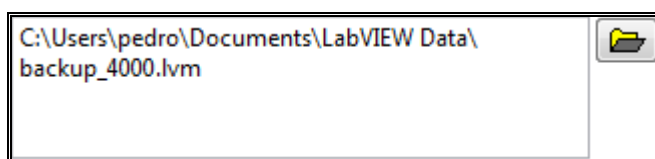


Figura A.III.3 Ficheiro de backup com extensão do tipo lvm

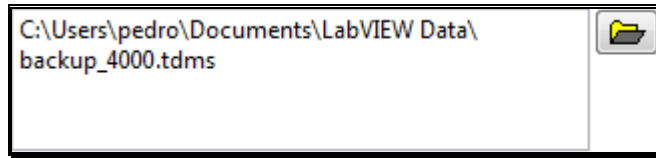


Fig A.III.4 Ficheiro de backup com extensão do tipo *TDMS*, que permite a importação de dados directamente para o *excel*.

Este registo é continuamente actualizado a um ritmo definido no algoritmo, o qual pode variar entre uma taxa de amostragens de alguns milisegundos até uma taxa de amostragens de alguns minutos ou horas. Permite assim flexibilizar o suporte informático, adaptando o algoritmo à dimensão da suporte informático disponível para *backup*. tornando o processo de implementação na prática muito menos oneroso, pois o processo adapta-se às condições informáticas existentes.

Seguidamente podemos observar na Figura seguinte o aspecto de um ficheiro de registo de dados onde se pode observar os sete canais seleccionados, ou *outputs* , onde constam as respectivas datas e horas de registo, assim como o valor inicial antes da medição, definido por “*X dimension time*” .O valor máximo que o canal pode assumir por inerência definido por “ *DELTA X*”, e o valor do output “*X value*”, será o último valor adquirido e utilizado nesta iteração. Estes dados podem facilmente ser exportados para o *excel* sendo o formato destes registos configurável através das propriedades do VI “*write to measurement file*”,(Travis, 2002).

LabVIEW Measurement

```

Writer_Version    2
Reader_Version    2
Decimal_Separator ,
Multi_Headings    Yes
X_Columns         Multi
Time_Pref         Absolute
Operator          pedro
Date              2010/09/03
Time              22:16:52,4213404655456542969
***End_of_Header***
Channels          7

Samples          1      1      1      1      1
                1      1
Date             2010/09/03    2010/09/03    2010/09/03    2010/09/03
                2010/09/03    2010/09/03    2010/09/03

```

```

Time 22:17:16,6727275848388671875      22:17:16,6727275848388671875
      22:17:16,6727275848388671875      22:17:16,6727275848388671875
      22:17:16,6727275848388671875      22:17:16,6727275848388671875
      22:17:16,6727275848388671875
X_Dimension Time      Time      Time      Time      Time
      Time      Time
X0 0,0000000000000000E+0      0,0000000000000000E+0
      0,0000000000000000E+0      0,0000000000000000E+0
      0,0000000000000000E+0      0,0000000000000000E+0
      0,0000000000000000E+0
Delta_X 1,000000      1,000000      1,000000
      1,000000      1,000000      1,000000      1,000000
***End_of_Header***

X_Value  Untitled  X_Value  Untitled 1  X_Value  Untitled 2
      X_Value  Untitled 3  X_Value  Untitled 4  X_Value
      Untitled 5  X_Value  Untitled 6  Comment
0,000000  0,000000  0,000000  1,000000  0,000000  0,000000
      0,000000  2,000000  0,000000  2,000000  0,000000
      3,000000  0,000000  0,000000

Channels 7

Samples 1      1      1      1      1
      1      1
Date 2010/09/03      2010/09/03      2010/09/03      2010/09/03
      2010/09/03      2010/09/03
Time 23:12:14,189334869384765625      23:12:14,189334869384765625
      23:12:14,189334869384765625      23:12:14,189334869384765625
      23:12:14,189334869384765625      23:12:14,189334869384765625
      23:12:14,189334869384765625
X_Dimension Time      Time      Time      Time      Time
      Time      Time
X0 0,0000000000000000E+0      0,0000000000000000E+0
      0,0000000000000000E+0      0,0000000000000000E+0
      0,0000000000000000E+0      0,0000000000000000E+0
      0,0000000000000000E+0
Delta_X 1,000000      1,000000      1,000000
      1,000000      1,000000      1,000000
***End_of_Header***

```

Figura A.III.5 - Aspecto do ficheiro de registo de dados em 2010/09/03 com extensão

lvm

A importação dos dados para uma folha de cálculo de *excel* é o processo mais comum, sendo muito versátil, permitindo um tratamento dos dados adquiridos ou simulados. A Figura seguinte mostra-nos os dados adquiridos importados para uma folha de cálculo.

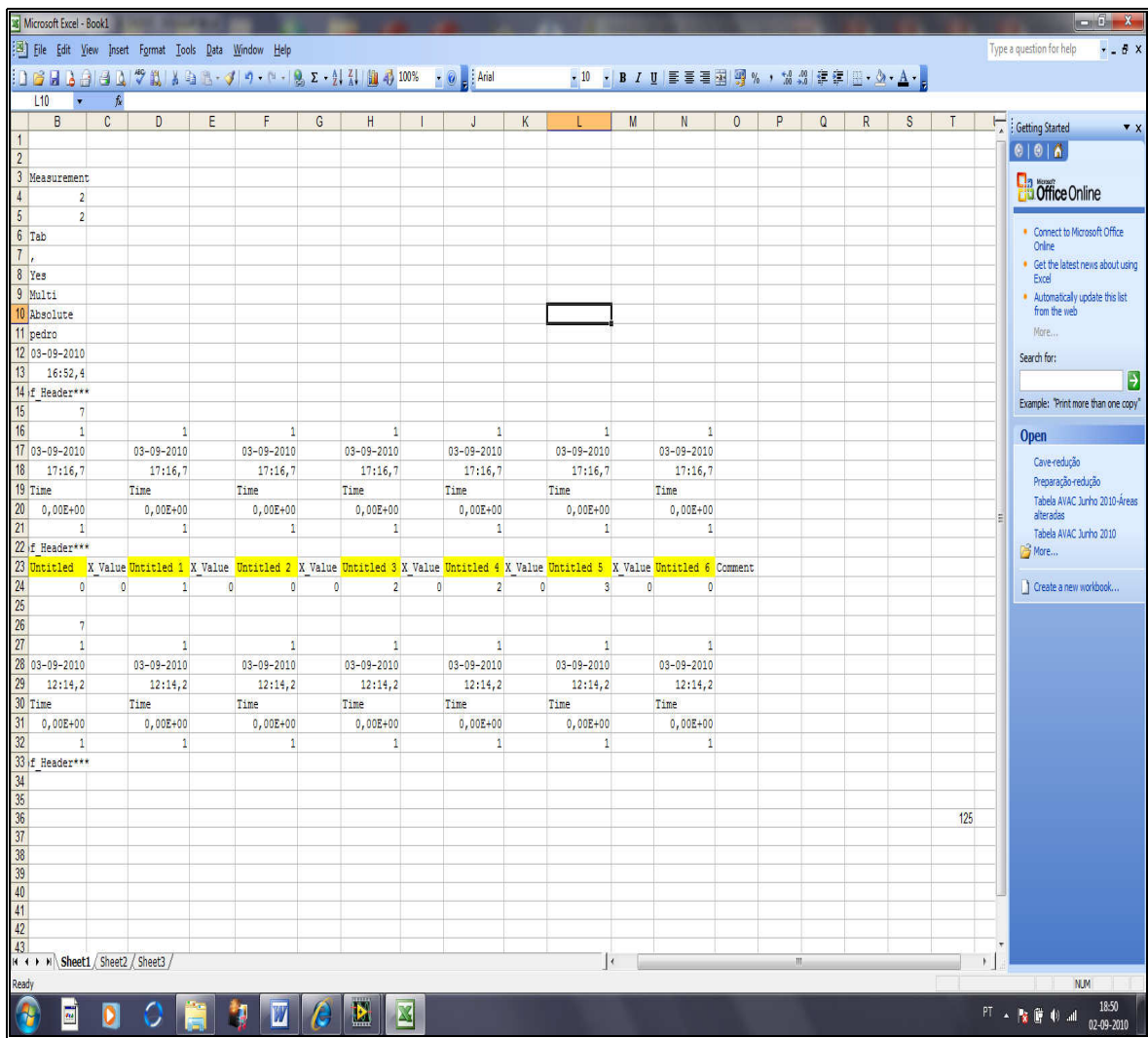


Figura A.III.6 Aspecto do ficheiro de registo de dados em 2009/09/03 com extensão TDMS, transposto para excel

Caso o excel se revele ainda insuficiente devido a elevadas taxas de aquisição que se pretendam levar a cabo, ou quaisquer outros parâmetros ou requisitos pretendidos e que o tornem uma ferramenta menos adequada, então dispomos ainda de uma base de dados mais potente e adequada ao tratamento de sinais em Labview®. Trata-se de uma base de dados da National Instruments e designa-se por DIADEM®. Nas duas Figuras seguinte podemos observar a DIADEM® em funcionamento:

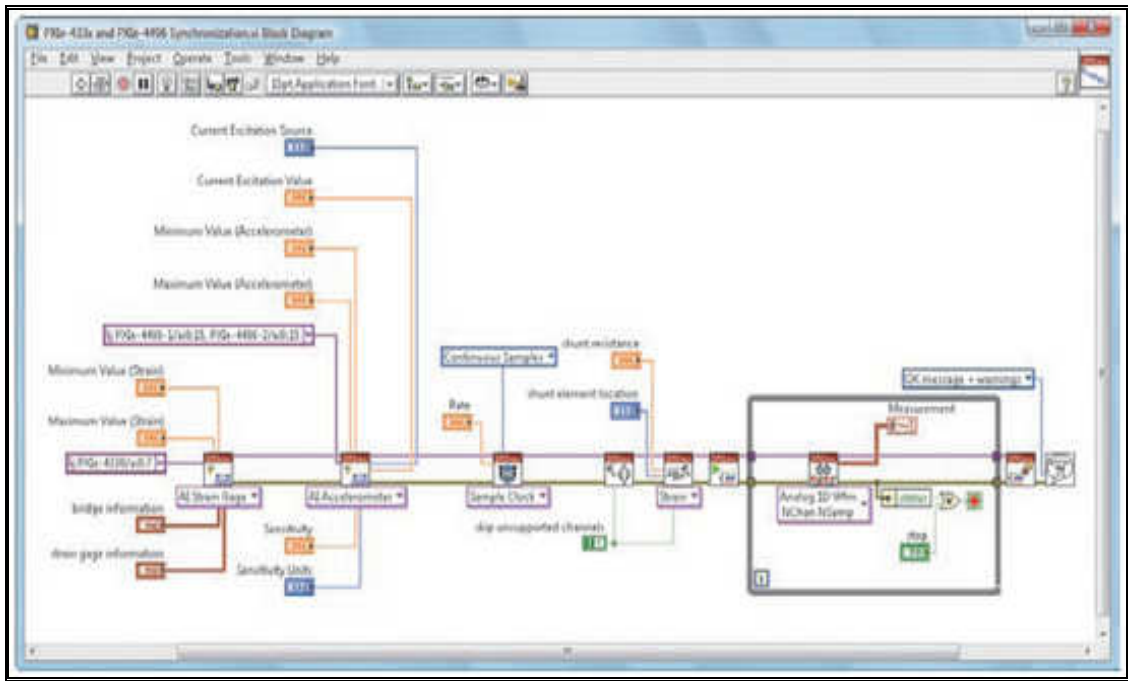


Figura A.III.7 Vista do *block diagram*, do sincronizador do DIADEM®

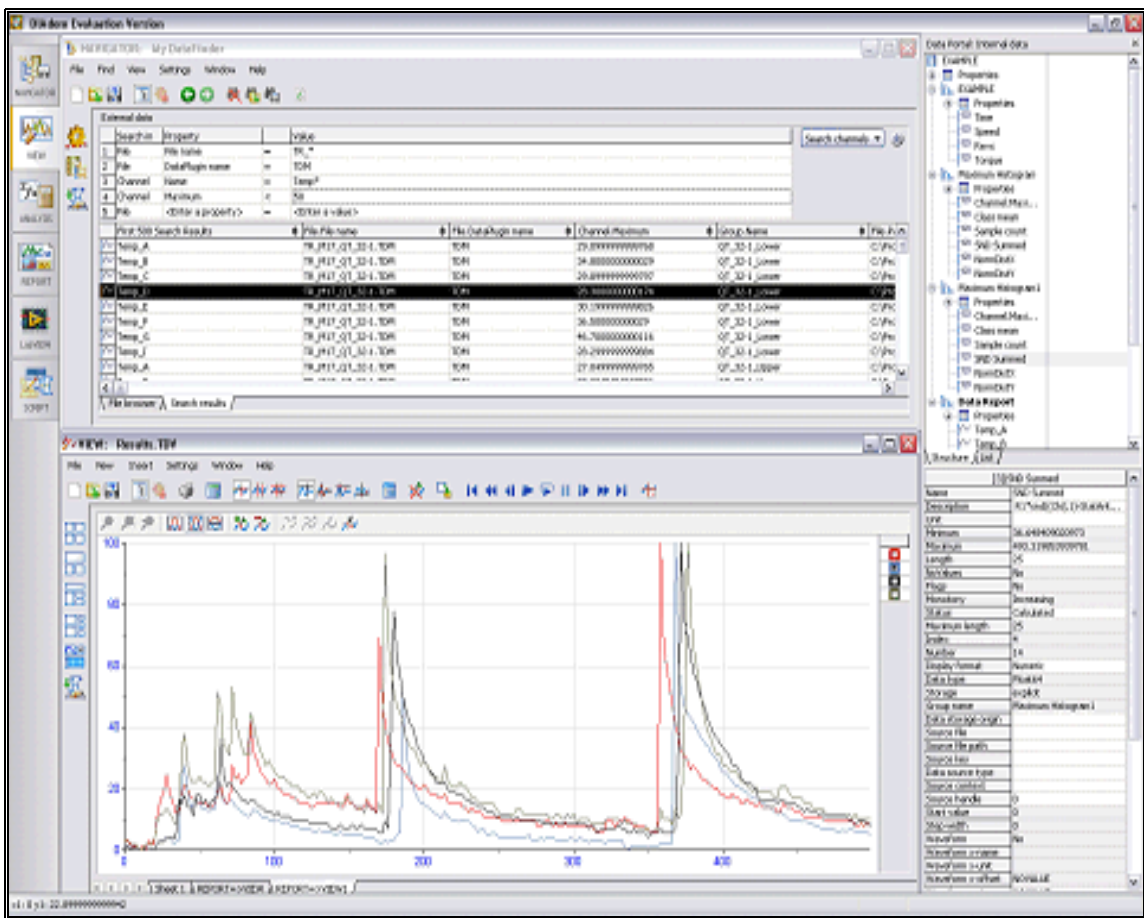


Figura A.III.8 Aspecto de uma consola para tratamento de dados em DIADEM®

Anexo IV

Possibilidade de aplicação de métodos proactivos a um equipamento com plano convencional de manutenção (não proactiva)

Plano convencional de manutenção × preventiva × proactividade

Esta tabela reflecte a possível aplicação de técnicas proactivas a um plano convencional de manutenção, com os objectivos já descritos nesta dissertação.

A proactividade conferida às mais diversas operações e tarefas frequentes em manutenção pode ser uma ajuda de valor inestimável, sobretudo em sistemas onde o risco da não operacionalidade é elevado e se associa a riscos para a segurança de pessoas ou bens. Exemplos: sistemas de climatização de salas brancas (hospitais), unidades informáticas que não podem admitir falhas, ou qualquer outro sistema de climatização associado a um qualquer processo considerado crítico, onde se exige redundância de sistemas.

Consegue-se assim eliminar grande parte do erro humano devido a avaliações imprecisas e decisões muitas vezes pouco fundamentadas.

Prevê-se que um plano proactivo do tipo MAS origine uma enorme redução de custos associados à manutenção destes equipamentos, além de que garantidamente os vão tornar mais fiáveis e mais económicos ao nível da potência absorvida.

A facilidade de integração dum sistema deste tipo, comporta custos não muito elevados. Quase toda a instrumentação necessária se resume a sensores de aplicação comuns, de pressão, temperatura, ou humidade, que facilmente se encontram disponíveis no mercado. O algoritmo inteligente descrito nesta tese é perfeitamente aplicável a qualquer outro tipo de sistema ou equipamento AVAC.

Além de que o próprio equipamento passa a possuir uma ferramenta para se otimizar a si próprio. Significa isto que a próxima geração de equipamentos poderá sofrer melhorias muito significativas, resultantes da análise e tratamento dos dados obtidos.

Este tipo de abordagem à proactividade da manutenção recorrendo à inteligência artificial utilizando o *Labview*[®] e o seu módulo inteligente ICTL, sugere que estes equipamentos se tornem muito mais competitivos e fiáveis num mercado moderno agressivo e altamente diversificado.

ACÇÃO A DESENCADear/ MEDIÇÕES	MEDIDAS A TOMAR CASO SEJA DETECTADA ANOMALIA	PERIODICIDADE	POSSIBILIDADE PROACTIVIDADE	INSTRUMENTAÇÃO PARA O EFEITO	OBSERVAÇÕES	VANTAGENS
Medição temp ^a do fluído : à entrada e saída do evaporador	Detecção de eventuais fugas de fluído, reparação imediata	Mensal	Sim	Sensores de temp ^a à entrada e saída	Interpretação dos dados em ambiente MAS. Utilização de agente especializado para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular taxa de degradação ou fuga
Medição temp ^a do fluído exterior à entrada e saída do condensador	Detecção de eventuais fugas de fluído, reparação imediata	Mensal	Sim	Sensores de temp ^a à entrada e saída do condensador	Interpretação do dados em ambiente MAS. Utilização de agente especializado para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular taxa de degradação ou fuga

Perda de pressão no evaporador	Deteccção de eventuais fugas de fluído, reparação imediata ou não, dependente da decisão do agente	Mensal	Sim	Sensores de pressão na zona de gás do evaporador	Interpretação de dados em ambiente MAS. Utilização de agente especializado para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular taxa de degradação ou fuga
Medir temperatura e pressão de evaporação	Deteccção de eventuais desvios em relação ao expectável	Mensal	Sim	Sensores de pressão e temperatura na zona de gás e líquido do evaporador	Interpretação de dados em ambiente MAS. Utilização de agentes especializados para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular taxa de degradação do fluido ou fuga

Medição da Potência absorvida	Análise de equipamentos individualmente. Intervenção imediata/ ou não dependendo da decisão do agente	Mensal	Sim	Sensores de intensidade de corrente elétrica e tensão	Interpretação de dados em ambiente MAS. Utilização de agentes especializados para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular indicadores eficiência energética <i>on-line</i>
Limpeza dos evaporadores	Avaliar eficiência dos evaporadores	Anual	Sim	Sensores de temperatura e pressão	Interpretação de dados em ambiente MAS. Utilização de agente especializado para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular indicadores de eficiência do evaporador <i>on-line</i>
Limpeza dos condensadores	Avaliar eficiência dos condensadores	Anual	Sim	Sensores de temperatura e pressão	Interpretação de dados em ambiente MAS. Utilização de agentes especializados para o efeito	Monitorização constante, possibilidade de calcular indicadores de eficiência do condensador <i>on-line</i>

Drenagem e limpeza do circuito das torres de refrigeração	Avaliar estado do sistema	2 em 2 anos	Sim	Utilização de um Fluxostato no tubo de drenagem	Interpretação dos dados em ambiente MAS	Monitorização constante do fluxo de água drenada. Permite avaliar condição do circuito
Teste dos níveis do refrigerante e óleo nos equipamentos frigoríficos	Repor níveis imediatamente ou não, dependendo da decisão do agente	Mensal	Sim	Sensores de nível de fluido no cárter e depósito de refrigerante	Interpretação dos dados em ambiente MAS	Monitorização constante. Possibilidade de calcular taxa de fuga ou consumo
Teste de níveis de água nos circuitos	Repor níveis imediatamente ou não, dependendo da decisão do agente	Mensal	Sim	Sensores de nível de fluido	Interpretação dos dados em ambiente MAS	Monitorização constante. Possibilidade de calcular taxa de fuga ou evaporação
Teste de estanquidade dos circuitos de distribuição	Detecção de eventuais fugas de fluído, reparação imediata ou não, dependendo da	Mensal	Sim	Sensores de pressão e nível	Interpretação dos dados em ambiente MAS	Monitorização constante. Possibilidade de calcular

	decisão do agente					estanquidade dos diversos circuitos <i>on-line</i>
Teste do calibre dos elementos de segurança	Substituição imediata dos elementos de segurança em caso de anomalia detectada	Mensal	Sim	Sensores localizados nos equipamentos de segurança	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com acesso ao ambiente da gestão centralizada	Possibilidade de provocar descargas, a temperaturas e pressões anormais por curtos períodos de tempo
Revisão e limpeza dos filtros de água	Se filtros se apresentarem colmatados: Limpeza ou substituição	2 em 2 anos	Sim	Medição da pressão diferencial a entrada e saída do filtro com sensores adequados	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com avaliação do grau de colmatação	Monitorização constante da pressão com possibilidade de planear antecipadamente intervenções
Revisão e limpeza dos filtros de ar	Se filtros colmatados: Limpeza ou substituição	mensal	Sim	Medição da pressão diferencial a entrada e saída do filtro, com sensores adequados	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com avaliação do grau	Monitorização constante da pressão com possibilidade de planear antecipadamente

					de colmatação	intervenções
Revisão dos permutadores de calor	Medição da eficiência Avaliar eficiência, equacionar limpeza ou outras acções	Anual	Sim	Medição das temperaturas De entrada e saída do permutador,. Com sensores adequados	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com avaliação do grau de eficiência do permutador	Monitorização constante das temperaturas. com possibilidade de planear antecipadamente intervenções
Revisão dos aparelhos de humificação e arrefecimento evaporativo	Avaliar eficiência de secção de humificação e arrefecimento	Mensal	Sim	Medição de humidade relativa e temperatura com sensores de humidade e temperatura adequados	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência	Monitorização constante da humidade relativa com possibilidade de planear antecipadamente intervenções e ou outras acções
Revisão e limpeza dos aparelhos de	Avaliação da eficiência dos	2 em 2 anos	Sim	Utilização de sensores de temperatura em zonas	Interpretação dos dados em ambiente	Monitorização constante da

recuperação de calor	recuperadores			críticas dos recuperadores	MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência dos aparelhos	temperatura, com possibilidade de planear antecipadamente intervenções, ou qualquer acção combinada para minorar efeitos negativos subjacentes à condição actual
Revisão das unidades terminais água-ar	Avaliação da eficiência das unidades	2 em 2 anos	Sim	Utilização de sensores de temperatura em zonas críticas dos recuperadores tais como: entrada e saída da bateria	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência das unidades, combinando outros parâmetros em jogo na envolvente	Monitorização constante da temperatura com possibilidade de planear antecipadamente intervenções e ou outras acções para minorar impacto da anomalia
Revisão das unidades terminais de distribuição de ar	Avaliação da eficiência das unidades	2 em 2 anos	Sim	Utilização de sensores de pressão diferencial	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com	Monitorização constante da pressão diferencial

					possibilidade de avaliar grau de eficiência das unidades, combinando outros parâmetros em jogo na envolvente	com possibilidade de planejar antecipadamente intervenções e ou outras acções para minorar impacto da anomalia
Revisão e limpeza das unidades de impulsão de ar	Avaliação de eficiência da unidade	Anual	Sim	Sensores de pressão diferencial	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência das unidades combinando outros parâmetros em jogo na envolvente. criando regras específicas para eficiência pretendida	Monitorização constante de um conjunto de dados de forma a permitir aferir acerca do estado de limpeza e bom funcionamento das unidades

Revisão dos equipamentos autónomos	Avaliação de eficiência dos equipamentos autónomos	2 em 2 anos	Sim	Sensores comuns Temperatura , pressão e humidade	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência dos equipamentos autónomos, criando regras básicas para o efeito	Monitorização constante de dados de forma a permitir aferir acerca da eficiência das unidades, permitido por exemplo antecipar ou prolongar o tempo entre revisões
Revisão de bombas e ventiladores, com a medida de potência absorvida	Avaliação da potência absorvida pelo equipamento	Mensal	Sim	Sensores adequados para avaliação de intensidade de corrente e tensão.	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência dos equipamentos, criando regras básicas para o efeito	Monitorização constante de dados de forma a permitir aferir acerca da eficiência das unidades, permitido por exemplo antecipar ou prolongar o tempo entre revisões
Revisão do estado do isolamento térmico	Inspecção visual	Anual	Não	-	-	-

Revisão do sistema de controlo automático	Avaliação dos parâmetros de <i>set – up</i> de fábrica	2 em 2 anos	Sim	Instrumentação adequada para interface com <i>Labview</i> [®] .	Interpretação dos dados em ambiente MAS, com possibilidade de avaliar grau de eficiência do sistema de controlo automático, com regras definidas	Monitorização Constante do sistema de controlo automático, com benefícios implícitos para o desempenho de todo o sistema, incluindo o de controlo proactivo

Tabela A.IV.1 – Possível aplicação de proactividade aplicando MAS a uma política convencional de manutenção numa UTA

Anexo V

Cálculo aproximado de Temperatura na secção de mistura

Método de cálculo utilizado

Para o caso de estudo, sabemos que o processo de funcionamento se baseia na mistura de ar exterior a determinadas condições de temperatura seca e saturação, com ar de recirculação em condições de temperatura seca e saturação distintas. Será esta a mistura de ar tratado e climatizado que será conduzida aos espaços interiores através de uma rede de condutas, grelhas, difusores, injectores, plenuns etc., enquanto uma percentagem de ar recirculado considerado nocivo e insalubre é rejeitado para o exterior (atmosfera) conseguindo-se assim uma boa qualidade de ar interior. O ar extraído de diferentes locais muitas vezes a temperaturas distintas mistura-se no ramal de retorno.

Pretende-se aqui descrever um processo simplificado para o cálculo da temperatura de mistura de uma UTA utilizando apenas as condições exteriores e interiores, considerando temperaturas de bolbo seco e caudais envolvidos. Com este processo de cálculo obtém-se uma aproximação aceitável para valores de simulação (Wang, 2000). a utilizar no nosso algoritmo *fuzzy*, aproximando a simulação o mais possível da realidade, sem fazer recurso da psicrometria que tornaria o processo de simulação muito mais moroso.

Considerou-se que :

Q1 - caudal de ar recirculado na secção de mistura da UTA (m³/s).

Q2 – caudal de ar novo na secção de mistura da UTA (m³/s).

$$Q3 = Q2 + Q1 \text{ (m}^3\text{/s).}$$

(35)

T1 – Temperatura de retorno (°C).

T2 - Temperatura de ar novo (°C).

T3 - Temperatura de ar na secção de mistura (°C).

Logo:

$$T3 = (Q1/Q3)*T1 + (Q2/Q3)*T2 \quad (36)$$

No algoritmo foi criado um ciclo *WHILE* para o cálculo aproximado da temperatura de mistura. Pode-se observar na Figura seguinte:

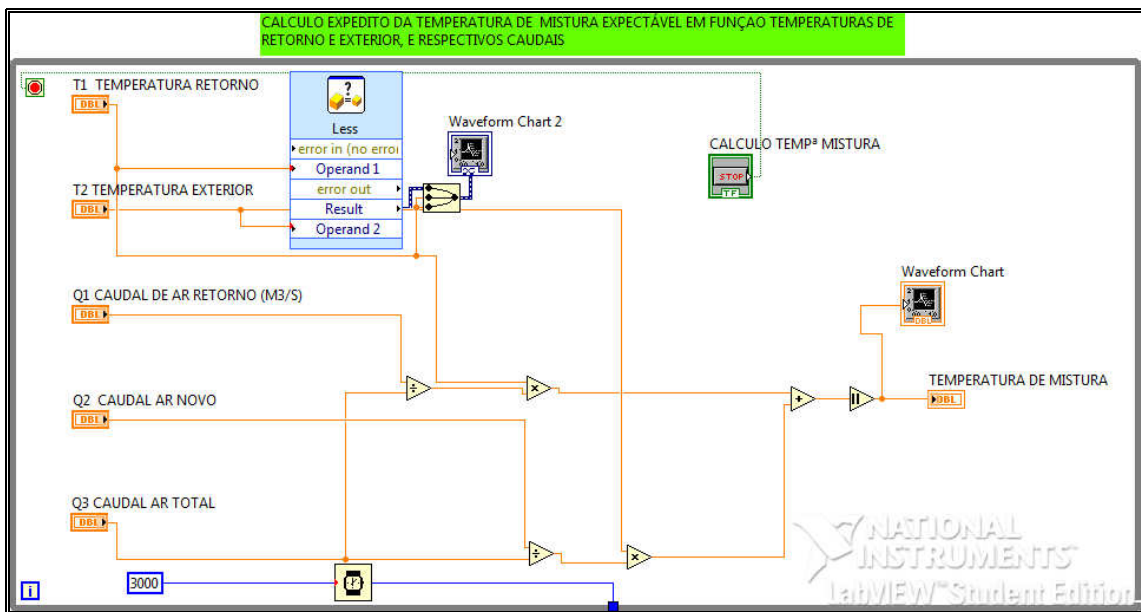


Figura V.1 - Ciclo *WHILE* para obtenção da temperatura de mistura simulada, considerando caudais em jogo e temperaturas de retorno e ar novo.

Anexo VI

Quadros de apoio à decisão humana em contexto proactivo

Os quadros seguintes fornecem algumas orientações sobre as atitudes/acções a empreender de acordo com os diversos *outputs* obtidos pelo agente. Utilizam-se algumas abreviaturas para definir a(s) acção(s) aconselhada(s) para cada condição específica.

- **IVL** Aconselhada inspecção visual no local, verificação de filtros, correias, juntas elásticas, estanquidade, possíveis sinais de avaria em controladores locais caso existam, integridade estrutural de todos os componentes.
- **IOB** Aconselhada inspecção visual no local e medições de alguns parâmetros básicos (Consumos eléctricos, pressões de gás frigorífero, pressões diferenciais em filtros.)
- **VCE** Aconselhada a verificação das condições exteriores à UTA e que interferem directamente com o funcionamento eficiência e eficácia (tensão eléctrica da rede, caudais de água quente e fria e respectivos Delta T. Comandos electromecânicos de selecção de temperaturas, sondas exteriores ligadas à UTA, valvularia, ou controladores exteriores ao sistema.
- **ITQ** Aconselhada intervenção de um técnico qualificado.

CONDIÇÃO	STOP UTA	VENTILADOR. INSUFLAÇÃO	VENTILADOR RETORNO	REGISTO DE AR NOVO	REGISTO DE EXAUSTÃO	ALARME PRORIDADE MÉDIA	ALARME PRORIDADE ALTA”	Output mantém-se : 0 a 10 min	Output mantém-se 10 min a 2h	Output mantém-se : 2h a 12h	Inspector	Técnico
C0	0	0	0	0	0	0	0		-	-		
C1	0	1	1	0	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C2	0	0	0	2	1	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C3	0	2	1	0	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C4	0	1	0	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C5	0	1	0	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C6	0	1	0	2	2	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C7	0	1	1	1	1	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C8	0	1	1	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C9	0	1	1	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C10	0	0	0	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C11	0	1	0	0	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C12	0	0	0	2	1	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C13	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C14	0	0	0	1	0	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C15	0	1	1	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C16	0	0	1	1	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C17	0	1	2	1	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C18	0	1	2	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C29	0	0	2	1	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C20	0	0	1	1	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C21	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C22	0	0	0	0	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C23	0	0	1	1	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C24	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C25	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C26	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		

Tabela A.VI.1 Decisão ponderada proactiva – Intervenção imediata × Inspeção c/ Intervenção não imediata (INVERNO)

CONDIÇÃO	STOP UTA	VENTILADOR. INSUFLAÇÃO	VENTILADOR RETORNO	REGISTO DE AR NOVO	REGISTO DE EXAUSTÃO	ALARME PRORIDADE “MÉDIA”	ALARME PRIORIDADE “ALTA”	Output mantém-se : 0 a 10 min	Output mantém-se 10 min a 2h	Output mantém-se : 2h a 12h	Inspector	Técnico
C0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
C1	0	1	0	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C2	0	1	0	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C3	0	1	2	2	0	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C4	0	0	1	0	0	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C5	0	0	0	2	1	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C6	0	1	1	0	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C7	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C8	0	1	1	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C9	0	1	1	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C10	0	1	1	0	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C11	0	1	1	0	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C12	0	1	1	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C13	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C14	0	1	1	0	1	3	4		IVL/VCE	ITQ		
C15	0	1	1	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C16	0	1	1	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C17	0	1	1	2	0	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C18	0	1	1	2	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C19	0	2	2	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C20	0	1	1	1	1	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C21	0	1	1	2	0	0	4		IVL/VCE	ITQ		
C22	0	1	1	1	1	3	4		IVL/VCE	ITQ		
C23	0	2	2	1	1	3	0		IVL/IOB	ITQ		
C24	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C25	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		
C26	5	0	0	0	0	0	4	ITQ	IVL/VCE	ITQ		

Tabela A.VI.2 Decisão ponderada proactiva – Intervenção imediata × Inspeção c/ Intervenção não imediata (VERÃO)

Anexo VII

Periodicidade de verificações medições e manutenção em equipamentos AVAC

Tabelas

Todos os equipamentos electromecânicos devem ser periodicamente verificados e deverão ser levadas a cabo importantes operações de manutenção de carácter preventivo de forma a conseguir prever qualquer ocorrência que possa diminuir a sua taxa de eficácia, eficiência ou qualquer outro indicador que se revele importante em determinado contexto.

A tabela seguinte *VII.1* refere a periodicidade de operações a levar a cabo considerando a potência dos equipamentos, de acordo com (Koelet, 1997).

Símbolo	Significado
m	Uma vez por mês para potência térmica entre 100 e 1.000 kW Uma vez a cada 15 dias para potência térmica maior que 1.000kW
M	Uma vez por mês
2A	Duas vezes por ano, uma ao início do mesmo
A	Uma vez por ano

Tabela A.VII.1 - Simbologia

Relativamente a consumos deverá ser efectuado o seguinte check-list :

	Operação	Frequência
2.	Consumo de energia eléctrica	M
3.	Consumo de água	M
4.	Temperatura e pressão do fluido portador na entrada e saída da serpentina	m

Tabela A.VII.2 – Consumos *check list*

A tabela seguinte VII.3 indica também a periodicidade de verificações relativas ao condensador e evaporador do sistema.

	Operação	Frequência
1.	Temperatura do fluido exterior na entrada e saída do condensador	m
2.	Perda de pressão no evaporador	m
3.	Perda de pressão no condensador	m
4.	Temperatura e pressão de evaporação	m
5.	Temperatura e pressão de condensação	m
6.	Potência absorvida	m

Tabela A.VII.3 – *Check list* em máquinas frigoríficas

Todas estas operações devem ser encaradas em contexto proactivo, para que o seu planeamento dependa não só das periodicidades aqui indicadas, mas também das indicações/ tendências encontradas pelo agente.

A tabela seguinte refere a periodicidade das operações de manutenção mais frequentes, de acordo com (Koelet,1997)

	Operação	Frequência
1.	Limpeza dos evaporadores	A
2.	Limpeza dos condensadores	A
3.	Drenagem e limpeza do circuito das torres de refrigeração	2A
4.	Inspeção dos níveis de refrigeração e óleo nos equipamentos frigoríficos	m
5.	Verificação do material de refrigeração	2A
6.	Detecção de fugas em rede de combustível	M
7.	Comprovação dos níveis de água em circuitos	M
8.	Verificação do isolamento dos circuitos de distribuição	A
9.	Verificação do isolamento das válvulas de intercepção	2A
10.	Verificação da configuração dos recursos de segurança	M
11.	Revisão e limpeza dos filtros de ar	M
12.	Revisão das baterias de troca de calor	A
13.	Revisão dos aparelhos de humidificação e refrigeração de ar	M
14.	Revisão e limpeza dos aparelhos de recuperação de calor	2A
15.	Revisão das unidades terminais de distribuição de ar	2A
16.	Revisão e limpeza das unidades de insuflação e retorno de ar	A
17.	Revisão dos equipamentos autónomos	2A
18.	Revisão das bombas e ventiladores com medida de potência absorvida	M
19.	Revisão do estado dos isolantes térmico	A
20.	Revisão do sistema de controlo automático	2A

Tabela A.VII.4 – Operações de manutenção/periodicidade

Anexo VIII

Ciclos de vida para equipamentos electromecânicos utilizados em UTA's e outros equipamentos AVAC

Considerações

Por definição, o custo de um ciclo de vida esperado (LCC) representa o somatório dos custos totais relativos à compra, operação e manutenção de um bem durante um determinado intervalo de tempo, enquanto que (LCCA) representa o somatório de custos excluindo a manutenção (NIST, 1995).

Basicamente, o custo do ciclo de vida de um equipamento AVAC pode ser dado pela fórmula:

$$LCC = \Sigma Cic + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Cd + Cenv \quad (37)$$

Cic – Investimento inicial

Cin – Custo de instalação

Cen – Custo energético (custo da energia durante um valor estimado de 20 anos, 0.1 €/kW)

Co – Custo de funcionamento e mão de obra

Cm – Custos de reparação e manutenção

Cs – Encargos com eventuais paragens

Cd – Custo de alienação ou abate

Cenv – Custo ambiental

De acordo com (Oughton & Hodkinson, 2002) cada equipamento possui como é óbvio um ciclo de vida esperado. A tabela fornece preciosos indicadores sobre a vida útil média dos diversos equipamentos. Deverá ser levada em linha de conta o tipo de

utilização e manutenção a que os equipamentos estão sujeitos, qualidade dos materiais aplicados na sua produção, qualidade do projecto, etc. A arquitectura do agente permite obter um histórico de dados através dos quais se pode obter uma previsão muito aproximada do ciclo de vida útil real dos equipamentos constituintes da UTA, o que se traduz por um grau de certeza elevado nos diagnósticos e decisões quer humanas, quer informáticas.

Este indicador, que é basicamente financeiro (LCC), é também muito utilizado para comparar alternativas à solução existente, quando o final da vida útil do equipamento se aproxima. Poder-se-à criar um agente que tenha por objectivo a gestão dos custos em vida útil e programá-lo para deliberar acerca das melhores soluções. Por exemplo, quando temos um equipamento em fim de vida útil a necessitar de uma intervenção dispendiosa o agente pode avaliar se é uma alternativa viável de uma forma automática.

A tabela seguinte apresenta-nos o ciclo de vida útil de diversos equipamentos electromecânicos para AVAC (Chadderton, 2000).

Tipo de equipamento	Item	Vida útil (anos)
Distribuição de fluidos	Tubagens	25-30
	Bombas	20-25
	Bombas in-line	15-20
	Bombas de cárter	8-12
	Bombas de condensados	10-15
	Tanques	10-15
	Válvulas	20-25
	Conectores flexíveis	8-15
Equipamento refrigeração	Compressores alternativos potência elevada	15-20
	Compressores alternativos potência média ou baixa	10-15
	Compressores centrífugos	15-20
	Equipamentos absorção	15-20
	Serpentinas de expansão directa	10-15

	Torres de arrefecimento	10-25
	Condensadores arrefecidos a ar	15-20
	Condensadores evaporativos	15-20
	Unidades compactas (exteriores)	10-15
	Unidades compactas (interiores)	15-20
Bombas de calor	Serpentinas de aquecimento/arrefecimento	15-20
	Humidificadores	10-15
	Ventiladores centrifugos (longa duração)	20-25
	Ventiladores axiais	15-20
	Conduatas	25-30
Distribuição de ar	Registos	15-20
	Ventiladores on-line	10-15
	Ventiladores de cobertura	15-20
	Equipamento de difusão de ar	25-30
	Ventilo convectores	15-20
	Equipamentos de volume de refrigerante variável	10-15
	Pneumáticos	15-20
Controladores	Eléctricos /electrónicos	15-20
	Sensores	3-10
	Actuadores	10-20
Motores eléctricos	Motores e arrancadores	15--20

Tabela A.VIII.1 – Vida útil média dos componentes de sistemas AVAC