

Otimização do Consumo de Vapor na Armazenagem e Expedição de Betumes

João Manuel Modas Pacheco

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Teresa Duarte

Orientador na empresa: Eng^o José Carlos Fernandes



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho 2015

Resumo

Atualmente, a eficiência energética é uma preocupação primária na indústria global. Na indústria petrolífera, tais preocupações são de ainda maior relevo, tendo em conta as temperaturas necessárias de armazenar os produtos. Deste modo, procuram-se adotar medidas para minimizar os gastos energéticos dos equipamentos de armazenagem e expedição de uma refinaria.

O presente estudo teve como principal objetivo elaborar e/ou testar propostas de poupança de energia no âmbito do sistema de tubagens, armazenagem e ilhas de enchimento dos produtos betuminosos, mantendo os níveis de serviço (temperatura) para o mercado.

Para tal, realizou-se o levantamento do comportamento da temperatura do betume dentro dos tanques, consoante várias operações possíveis, bem como do consumo de vapor dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes. Paralelamente, foram estudados os parâmetros que ditam a condutividade térmica dos isolamentos térmicos e materiais alternativos àquele usado atualmente.

Os resultados obtidos sugerem a verificação do estado de determinados equipamentos de aquecimento dos tanques de betume. Relativamente aos isolamentos térmicos, os resultados revelam uma grande possibilidade de se encontrarem danificados devido à humidade presente no material e conseqüente aumento da condutividade térmica leva a perdas energéticas desnecessárias. O estudo revelou que a lã de silicato de terras alcalinas é o isolamento que garante menor consumo de vapor, podendo poupar no máximo 11,66% do valor mensal de vapor consumido, sendo que a implementação de um novo isolamento de lã de rocha poderá poupar até 10,85% deste valor. Por fim, foi desenvolvido um programa para a operação dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes que sugere uma otimização de cerca de 20% do consumo de vapor mensal.

Steam Optimization Consumption on Bituem Storage and Dispatch

Abstract

Nowadays, energy efficiency is a primary global issue in industry. In the oil and gas industry, those issues are even bigger, taking into consideration the necessary product's storage temperatures. Then, ways to minimize energy waste of a refinery's heating equipments are sought.

The present study had the goal of create/test energy saving proposals of tubing systems, storage and dispatch of bitumen products, maintaining the market's service quality.

To do so, the behavior of the bitumen temperature inside their vessels, depending on various operations, and the steam's consumption of the heating equipments of bitumen unit was studied. In parallel, the parameters which influence the insulation material's thermal conductivity and alternative thermal insulation materials were studied.

Results show that certain heating equipments should go under maintenance. Relatively to thermal insulation materials, results show high possibility of humidity of the current materials, therefore a bigger thermal conductivity value, lead to unnecessary energy lost. The study revealed that Alkaline Earth Silicate wool is the thermal insulation material which allows the less steam consumption, optimizing 11,66% of the monthly steam consumption. On the other hand, the implementation of a new rock wool insulation might optimize until 10,85% of this value. Finally, a program was developed for the heating equipments operation of the bitumen unit which suggests about 20% monthly steam consumption optimization.

Agradecimentos

Para a realização da presente dissertação, a colaboração de certas pessoas foi essencial para a sua conclusão.

Agradeço à Professora Teresa Duarte por toda a disponibilidade demonstrada ao longo do semestre para qualquer esclarecimento necessário, bem como todos os comentários e pareceres mais indicados que me guiaram na execução do presente estudo.

Quero agradecer a oportunidade que me foi facultada pelo Engenheiro Carlos Figueira e pelo Engenheiro José Carlos Fernandes para a realização da dissertação em ambiente empresarial nas instalações da Galp Energia, mais concretamente no Parque da Boa Nova da Refinaria de Matosinhos.

O acompanhamento e cooperação de todos os colaboradores do Parque da Boa Nova demonstraram-se exemplares desde o primeiro ao último dia do período em que me desloquei às instalações da Galp Energia. Quero agradecer ao Engenheiro José Carlos Fernandes pela orientação prestada, bem como ao Laurindo Ferreira por todos os esclarecimentos e disponibilidade para qualquer necessidade que senti ao longo de todo o percurso. Não menos importante, gostaria de agradecer a todos os que me ajudaram, consoante a disponibilidade e conhecimento de cada um, em todos os momentos do presente estudo. São eles o Engenheiro Dinis Esteves, Engenheiro Vale, Xavier, Filomena, Nuno, Ribeiro, Gama, Rodrigues, Nadais, Hélder, Pedro, Almeida, Guedes, Daniel, Valter, Silva, Sampaio, Paulo, Alberto, Vítor, Quinteira e Ivo.

Agradeço ao Professor Carlos Pinho por se mostrar sempre disponível para o esclarecimento de dúvidas relacionadas com o tema do estudo em causa.

Quero agradecer ao meu amigo Márcio pelas dúvidas esclarecidas relativamente a certas funções do programa Excel que foi desenvolvido no presente estudo.

O apoio e motivação transmitida pela minha rede de amigos, mais especificamente do Francisco, Tschan, Guedes, Diogo e Rui, foram muito importantes na fase final do presente estudo. A eles agradeço toda a amizade.

Presente desde o meu segundo ano universitário até à conclusão do meu curso, o BEST (“Board of European Students of Technology”) Porto disponibilizou-me a melhor plataforma de desenvolvimento pessoal com pessoas que ficarão na minha memória para sempre. A eles agradeço todos os momentos, mais concretamente os do semestre em causa.

Por último, agradeço à minha família, especialmente à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão por todo o apoio diário durante a realização do presente estudo.

Índice de Conteúdos

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA.....	4
PARTE A. ESTUDO TEÓRICO	
2. BETUME	9
2.1. FABRICO DE BETUME	9
2.2. CONSTITUIÇÃO DO BETUME	10
2.3. APLICAÇÕES DO BETUME.....	10
2.4. AS DIFERENTES CLASSES DE BETUME	11
2.5. ARMAZENAGEM E TEMPERATURA DE EXPEDIÇÃO DE BETUME.....	12
3. VAPOR	15
3.1. O CICLO DO VAPOR.....	15
3.2. VANTAGEM DE VAPOR RELATIVAMENTE À ÁGUA AQUECIDA.....	16
3.3. VAPOR “FLASH”	16
3.4. PERDAS ENERGÉTICAS NA REDE DE VAPOR	17
3.5. REDE DE VAPOR DO PBN.....	18
4. ISOLAMENTO TÉRMICO	21
4.1. DEFINIÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO	21
4.2. TIPOS DE MATERIAIS ISOLANTES E APLICAÇÕES	22
4.3. INFLUÊNCIA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA NOS ISOLAMENTOS.....	24
4.4. FATORES QUE INFLUENCIAM A CONDUTIVIDADE TÉRMICA	24
4.4.1. <i>Temperatura de operação</i>	25
4.4.2. <i>Pressão</i>	25
4.4.3. <i>Densidade</i>	26
4.4.4. <i>Humidade</i>	28
4.4.5. <i>Durabilidade dos isolamentos térmicos</i>	29
5. ANÁLISE DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS DA UNIDADE DE BETUMES	31
5.1. DEFINIÇÃO DOS ISOLAMENTOS	31
5.1.1. <i>Isolamento do sistema de tubagem – coquilha</i>	31
5.1.2. <i>Isolamento de tanques – manta</i>	32
5.2. ESCOLHA DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS A ESTUDAR.....	33
5.2.1. <i>Critério 1: Temperatura máxima de serviço</i>	33
5.2.2. <i>Critério 2: Ausência de componentes cancerígenos</i>	34
5.2.3. <i>Critério 3: Resistência à humidade</i>	35
5.2.4. <i>Critério 4: Resistência ao fogo</i>	36
5.2.5. <i>Critério 5: Condutividade térmica a 200 °C</i>	36
5.3. PREVISÃO DO ESTADO DOS ISOLAMENTOS DO PBN	37
5.3.1. <i>Incerteza da condutividade térmica</i>	37
5.3.2. <i>Temperatura de operação</i>	37
5.3.3. <i>Densidade</i>	38
5.3.4. <i>Pressão</i>	38
5.3.5. <i>Humidade</i>	38
5.3.6. <i>Durabilidade do isolamento</i>	39
6. CÁLCULOS TEÓRICOS DO DECRÉSCIMO DE TEMPERATURA NOS TANQUES E DO CONSUMO DE VAPOR DOS EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO DA UNIDADE DE BETUMES	41
6.1. DECRÉSCIMO DE TEMPERATURA NOS TANQUES.....	41
6.2. CONSUMO DE VAPOR DOS EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO	44
6.2.1. <i>Troço de linha de Vapor</i>	44
6.2.2. <i>Linha de Betume</i>	48
6.2.3. <i>Serpentinas dos Tanques de Betume</i>	50
6.2.4. <i>Permutadores dos Tanques de Betume</i>	52
6.2.5. <i>Resumo dos cálculos efetuados</i>	52

PARTE B. ESTUDO PRÁTICO

7. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO NA TEMPERATURA DE BETUME E DO CONSUMO DE VAPOR.....	55
7.1. TEMPERATURA DO BETUME NA ARMAZENAGEM	56
7.1.1. <i>Objetivo</i>	56
7.1.2. <i>Procedimento</i>	56
7.1.3. <i>Resultados</i>	58
7.1.4. <i>Discussão de resultados</i>	59
7.1.5. <i>Comparação com estudo teórico</i>	60
7.2. INFLUÊNCIA DOS PERMUTADORES.....	61
7.2.1. <i>Objetivo</i>	61
7.2.2. <i>Procedimento</i>	61
7.2.3. <i>Resultados obtidos</i>	62
7.2.4. <i>Discussão de resultados</i>	64
7.3. CONSUMO DOS EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO.....	65
7.3.1. <i>Objetivo</i>	65
7.3.2. <i>Procedimento</i>	65
7.3.3. <i>Resultados obtidos</i>	66
7.3.4. <i>Discussão de resultados</i>	68
7.3.5. <i>Comparação com estudo teórico</i>	69
7.4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS GLOBAL.....	70
8. INFLUÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO NO CONSUMO DE VAPOR	73
8.1. COMPARAÇÃO ENTRE DECRÉSCIMO DE TEMPERATURA NOS TANQUES DE BETUME E CONSUMOS DA LINHA DE VAPOR PARA OS VALORES MEDIDOS NO PBN, OS VALORES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA TEÓRICA E DESTES SOB INFLUÊNCIA DA INCERTEZA E HUMIDADE	73
8.1.1. <i>Tanques</i>	73
8.1.2. <i>Consumo na linha de vapor</i>	74
8.1.3. <i>Verificação do estado da linha de vapor</i>	75
8.1.4. <i>Conclusão</i>	76
8.2. COMPARAÇÃO DE OUTROS ISOLAMENTOS TÉRMICOS COM OS DO PBN.....	76
8.2.1. <i>Cálculo de espessuras económicas dos isolamentos térmicos</i>	76
8.2.2. <i>Tanques</i>	77
8.2.3. <i>Linha de vapor</i>	78
9. PROGRAMA PARA OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO DA UNIDADE DE BETUMES.....	81
9.1. REGRAS DE OPERAÇÃO DA UNIDADE DE BETUMES	81
9.1.1. <i>Operação de serpentinas</i>	81
9.1.2. <i>Operação dos permutadores</i>	82
9.1.3. <i>Outras considerações</i>	82
9.2. OBJETIVO E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	82
9.3. OPERAÇÃO DO PROGRAMA	83
9.3.1. <i>Dia de expedição</i>	83
9.3.2. <i>Temperatura atual</i>	84
9.3.3. <i>Temperatura de expedição</i>	85
9.3.4. <i>Consumo previsto</i>	85
9.4. PLANEAMENTO DAS OPERAÇÕES.....	85
9.4.1. <i>Exemplo 1: TK 5640 – Expede no dia atual</i>	86
9.4.2. <i>Exemplo 2: TK 5641 – Expede 6 dias depois do dia da programação</i>	87
9.5. REGRAS DE OPERAÇÃO COMPLEMENTARES.....	88
9.5.1. <i>Operação da serpentina durante a expedição</i>	88
9.5.2. <i>Tanque vazio</i>	88
9.5.3. <i>Tanque a receber produto</i>	88
9.5.4. <i>Impossibilidade de atingir temperatura de expedição</i>	88
9.5.5. <i>Gama de segurança de temperatura</i>	88
9.5.6. <i>Ligação bombas – tanques</i>	89
9.5.7. <i>Atualização dos dados de entrada das temperaturas e consumos</i>	89
9.5.8. <i>Definição de atualizações à solução encontrada</i>	90
9.5.9. <i>Folha de registo</i>	91

9.6.	TESTE E RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA.....	91
9.7.	OUTRAS CONSIDERAÇÕES E FUTURAS MELHORIAS	93
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
10.1.	CONCLUSÕES.....	95
10.2.	TRABALHOS FUTUROS.....	95
11.	BIBLIOGRAFIA	99
12.	ANEXOS	103
	<i>Anexo A. Certificado de Qualidade – Betume de Pavimentação 50/70</i>	<i>104</i>
	<i>Anexo B. Folha de registo de temperatura do betume na armazenagem</i>	<i>105</i>
	<i>Anexo C. Instruções para o registo de temperaturas de betume na armazenagem</i>	<i>106</i>
	<i>Anexo D. Registo de temperaturas do betume na armazenagem</i>	<i>111</i>
	<i>Anexo E. Folha de registo de temperaturas para o estudo da influência dos permutadores.....</i>	<i>115</i>
	<i>Anexo F. Instruções para o registo de temperaturas para o estudo da influência dos permutadores....</i>	<i>116</i>
	<i>Anexo G. Gráficos de comparação do registo de temperatura dos vários sensores durante o estudo da influência dos permutadores.....</i>	<i>119</i>
	<i>Anexo H. Instruções para o registo do consumo das unidades do PBN</i>	<i>123</i>

Símbolos e Abreviaturas

PBN: Parque da Boa Nova

VMP: Vapor de média pressão (15 bar)

VBP: Vapor de baixa pressão (3 bar)

FS: Fora de serviço

AES: “Alkaline Earth Silicate”

Termos e Definições

“Grade”: Classe de betume, consoante a sua penetração em décimas de milímetro.

Traçagem: Tubos de vapor localizados junto de um tubo de produto a manter a elevada temperatura.

Purgadores: equipamentos que se encontram no estado aberto (a dar passagem) na presença de condensados e no estado fechado na presença de vapor, localizados após um equipamento de aquecimento.

RTDB: Programa de registo das temperaturas e níveis dos tanques do Parque da Boa Nova.

COTAS: Programa de gestão da movimentação de carros-tanque e monitorização dos equipamentos do Parque da Boa Nova.

ENTIS: Programa de monitorização das temperaturas e níveis dos tanques do Parque da Boa Nova.

TIC: Válvulas automáticas possíveis de operar a partir da sala de controlo.

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Vista panorâmica do Parque da Boa Nova (3).</i>	1
<i>Figura 2 - Fotografia aérea do PBN e localização dos tanques e cais de cada conjunto de produtos (3).</i>	2
<i>Figura 3 - Consumo de vapor de média pressão do PBN em toneladas em 2014 (6).</i>	3
<i>Figura 4 - Processo de destilação de petróleo em torre de destilação e seus produtos finais (8).</i>	9
<i>Figura 5 - Aplicação de betume para pavimentação (9).</i>	11
<i>Figura 6 - Viscosidade em função da temperatura de betume para diferentes graus de betume de pavimentação e definição de estágios ideais para bombeamento, mistura e para “spray” (12).</i>	12
<i>Figura 7 - Tanques de betume do Parque da Boa Nova (4).</i>	13
<i>Figura 8 - Exemplo típico de cilco de vapor num sistema térmico (14).</i>	15
<i>Figura 9 - Recuperador de condensados gerados na linha de VMP para geração de VBP.</i>	16
<i>Figura 10 - Rede de distribuição de vapor no PBN. Legenda: VMP – vapor de média pressão; VBP – vapor de baixa pressão; AC – água de caldeira; Spirax – unidade recuperadora de condensados; U5600 – unidade de betumes; U5300 – unidade de parafinas; U5400 – unidade de gasolinas, gasóleos e fuéis.</i>	18
<i>Figura 11 - Classificação dos materiais isolantes (18).</i>	23
<i>Figura 12 - Exemplos de isolamento de: a) lã de vidro b) poliestireno expandido c) cortiça d) silicato de cálcio (19-22).</i>	23
<i>Figura 13 - Variação da condutividade térmica efetiva com a temperatura de operação para diferentes pressões de isolamento fibroso com alto teor em alumina (25).</i>	25
<i>Figura 14 - Variação da condutividade térmica efetiva com a pressão para diferentes temperaturas de operação de isolamento fibroso com alto teor em alumina (25).</i>	26
<i>Figura 15 - Condutividade térmica de materiais isolantes a 10 °C no estado seco (23).</i>	27
<i>Figura 16 - Variação da condutividade térmica da lã de rocha com o aumento da densidade (23).</i>	27
<i>Figura 17 - Condutividade térmica de lãs minerais em função do conteúdo de humidade (26).</i>	28
<i>Figura 18 - Variação da condutividade térmica da lã de rocha com a percentagem em humidade e temperatura, para uma densidade de 99 kg/m³ (24).</i>	29
<i>Figura 19 - Exemplo de isolamento em coquilha de lã de rocha (17).</i>	31
<i>Figura 20 - Exemplo de isolamento em manta de lã de rocha (28).</i>	32
<i>Figura 21 - Exemplo de fibras de amianto (38).</i>	35
<i>Figura 22 - Esquema das camadas das paredes dos tanques de betume (12).</i>	42
<i>Figura 23 - Secção de tubagem de vapor (48).</i>	45
<i>Figura 24 - Camadas formadas na transferência de calor (46).</i>	46
<i>Figura 25 - Exemplo de trocas de calor de um tubo de betume com isolamento e duas traçagens de aquecimento (46).</i>	48
<i>Figura 26 - Representação do esquema de um tanque da unidade de betumes.</i>	55
<i>Figura 27 - Ilustração dos 3 testes diferentes utilizados para caracterizar a temperatura de armazenagem dos tanques de betume; a) Tanque sem aquecimento; b) Aquecimento apenas com válvula da serpentina aberta; c) Aquecimento através da recirculação de betume com válvulas da serpentina e do permutador abertos.</i>	56
<i>Figura 28 - Ilustração dos 2 testes diferentes utilizados para caracterizar a influência dos permutadores dos tanques de betume; a) Expedição com a válvula do permutador fechada; b) Expedição com a válvula do permutador aberta.</i>	61
<i>Figura 29 - Caudalímetro (FI5901) (50).</i>	65
<i>Figura 30 - Troços de linha de vapor em mau estado.</i>	75

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Conversão do consumo de VMP de m^3 em toneladas de VMP, toneladas de FOE e em euros (3).	3
Tabela 2 - Tipo de vapor consumido pelas unidades do PBN.	4
Tabela 3 - Percentagens de toneladas de betume expedido em 2014 por classe (11).	11
Tabela 4 - Temperatura mínima de expedição das classes de betume 35/50, 50/70 e 160/220 do PBN (5).	13
Tabela 5 - Características do isolamento de lã de rocha do PBN em coquilha (27)	32
Tabela 6 - Características do isolamento de lã de rocha do PBN em manta (29).	33
Tabela 7 - Lista de materiais isolantes e respetivas temperaturas máximas de serviço (30).	33
Tabela 8 - Lista de materiais isolantes (critério 1) e presença de componentes perigosos à saúde humana (31-37).	34
Tabela 9 - Lista de materiais isolantes (critério 2) e resistência à humidade (17, 40-42).	36
Tabela 10 - Lista de materiais isolantes (critério 3) e condutividade térmica à temperatura de 200 °C (27, 29, 43, 44).	36
Tabela 11 - Condutividade térmica da lã de rocha para fibras perpendiculares e paralelas ao fluxo de calor, influenciadas pela gama de incerteza ($\rho=70 \text{ kg/m}^3$ e $\rho=100 \text{ kg/m}^3$) (23).	37
Tabela 12 - Dados da regressão linear obtida no estudo da influência da humidade na condutividade térmica da lã de rocha para uma densidade de 99 kg/m^3 (24).	38
Tabela 13 - Condutividade térmica da lã de rocha para fibras perpendiculares e paralelas ao fluxo de calor, influenciadas pelas bandas de incerteza e pela humidade ($\rho=70 \text{ kg/m}^3$ e $\rho=100 \text{ kg/m}^3$).	39
Tabela 14 - Características do betume presente nos tanques de armazenagem (10, 45).	42
Tabela 15 - Características dos tanques de armazenagem de betume (10, 28, 30).	42
Tabela 16 - Características do vapor de média pressão e da atmosfera (46, 47).	43
Tabela 17 - Características do conjunto da tubagem de VMP (10, 27, 46).	45
Tabela 18 - Características do vapor de média pressão e da atmosfera (46, 47).	45
Tabela 19 - Características das camadas de ar, de condensado e de depósito entre o vapor e a superfície do tubo (46).	46
Tabela 20 - Características das serpentinas dos tanques de betume (3).	50
Tabela 21 - Decréscimo de temperatura e consumo das serpentinas do conjunto de tanques 40-42 e 45-45 teóricos.	52
Tabela 22 - Consumos da linha de vapor e de betume teóricos.	52
Tabela 23 - Definição das temperaturas limite para o estudo da evolução da temperatura do betume de cada tanque, dependendo da classe.	57
Tabela 24 - Agrupamento de tanques consoante as suas dimensões e classe de betume.	57
Tabela 25 - Evolução da temperatura por dia para os casos a) Sistemas de aquecimento fechados; b) Serpentina aberta (°C/dia); c) Serpentina e permutador abertos - a recircular.	58
Tabela 26 - Período de tempo do estudo da evolução da temperatura dos tanques de betume.	59
Tabela 27 - Comparação dos valores teóricos e práticos do decréscimo de temperatura dos tanques de betume dos conjuntos 40-42 e 45-50.	60
Tabela 28 - Influência dos permutadores dos tanques de betume na temperatura de expedição.	63
Tabela 29 - Diferenças de temperatura registadas entre a sonda digital (medida dentro das cisternas dos clientes) e a serpentina e permutador dos tanques de betume.	63
Tabela 30 - Diferenças de temperatura registadas entre a sonda digital (medida dentro das cisternas dos clientes) e aquelas registadas pelo programa COTAS e braço de enchimento.	64
Tabela 31 - Consumo dos tanques e permutadores dos tanques de betume e média e desvio padrão dos tanques com dimensões semelhantes.	67
Tabela 32 - Válvulas do "bypass" dos tanques de betume que permitem a passagem de vapor no estado fechado.	67
Tabela 33 - Consumos das unidades do PBN. Tanques TK 5407 e TK 5421 (UN 5400) com serpentinas abertas.	68
Tabela 34 - Comparação dos valores teóricos e práticos do consumo das serpentinas dos conjuntos de tanques 40-42 e 45-50, da linha de vapor e de betume.	69
Tabela 35 - Rácio ente consumo de vapor e aumento de temperatura das serpentinas dos tanques de betume.	70
Tabela 36 - Rácio ente consumo de vapor e aumento de temperatura dos permutadores dos tanques de betume.	71
Tabela 37 - Comparação dos decréscimos de temperatura nos conjuntos de tanques de betume 40-42 e 45-50 através dos dados teóricos da condutividade térmica do isolamento dos tanques e dados sob a influência da gama de incerteza e humidade.	73

<i>Tabela 38 - Comparação dos consumos de vapor nos conjuntos da linha de vapor através dos dados teóricos da condutividade térmica do isolamento das linhas e dados sob a influência da gama de incerteza e humidade.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 39 - Espessura dos materiais isolantes em estudo, tendo em conta a sua condutividade térmica (52).77</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 40 - Decréscimo de temperatura dos conjuntos de tanques 40-42 e 45-50 usando lã de rocha, espuma de vidro celular e AES como isolamentos térmicos e sua comparação com dados medidos no PBN, com os cálculos teóricos para lã de rocha com espessura de 60mm e com os dados</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 41 - Consumo da linha de vapor usando lã de rocha, espuma de vidro celular e AES como isolamentos térmicos e sua comparação com dados medidos no PBN, com os cálculos teóricos para lã de rocha com espessura de 50mm e com os dados da lã de rocha (teórica) de espessura.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 42 - Poupança mensal de VMP sugerida pelo novo isolamento de lã de rocha.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 43 - Poupança mensal de VMP sugerida pelo novo isolamento de AES.</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 44 - Dados de entrada (a cor) do programa de operação da unidade 5600 e consumo de vapor previsto para cada tanque.</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 45 - Exemplo de operação de um tanque que expede no dia da programação, com temperatura superior à de expedição.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 46 - Exemplo de operação de um tanque que expede 6 dias após a programação, com temperatura inferior à de expedição.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 47 - Representação da tabela de ligações das bombas aos tanques de betume.</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 48 - Representação da tabela atual de dados fixos de temperatura e consumo dos tanques de betume.</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 49 - Ordenação de número de soluções com menor consumo ou menor número de ações gerado pelo programa.</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 50 - Tabela correspondente à folha de registo do estado das válvulas da serpentina e do permutador dos tanques de betume.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 51 - Poupança mensal de VMP sugerida pelo programa de operação da unidade de betumes.</i>	<i>92</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A Galp Energia é o único grupo integrado de produtos petrolíferos e gás natural de Portugal, com atividades que se estendem desde a exploração e produção de petróleo e gás natural, à refinação e distribuição de produtos petrolíferos, à distribuição e venda de gás natural e à geração de energia elétrica. Opera em 4 continentes, num total de 13 países, maioritariamente em Portugal e Espanha (1). As duas refinarias da Galp Energia situam-se em Portugal, mais concretamente em Matosinhos e Sines, e garantem 88% das necessidades de produtos petrolíferos do país (2).

Junto da Refinaria de Matosinhos, localiza-se o Parque da Boa Nova (PBN, Figura 1) destinado à armazenagem, enchimento e expedição de produtos aos clientes. Para garantir estas atividades, este parque dispõe de 51 reservatórios e 24 cais de enchimento numa área de 14 hectares, equipados com sistemas meteorológicos e de segurança (1).



Figura 1 - Vista panorâmica do Parque da Boa Nova (3).

O Parque da Boa Nova (PBN) é uma instalação com uma expressão de relevância a nível nacional e ibérico onde a diversidade de produtos que armazena e expede lhe confere um carácter único na distribuição de produtos. Com início da sua operação e expedição em Abril de 1970, em conjunto com todo o complexo da Refinaria de Matosinhos, o PBN armazena e distribui pelo país e Europa diversos produtos derivados do petróleo como aromáticos e solventes, destinados às indústrias químicas e petroquímicas, gasolinas e gasóleos, fueis, parafinas, betumes, gasóleos de bancas e em situação de contingência, jet A1 (combustível de aviação).

No seu conjunto, cerca de 60 000 veículos cisterna transportam anualmente praticamente 1,3 milhões de toneladas de produtos correspondentes a 1/3 das necessidades do mercado nacional.

O PBN tem uma área de 13,7 HA e é alimentado por “pipelines” a partir da Refinaria de Matosinhos dispondo, para efeito, de 51 tanques de armazenamento e 24 Cais de enchimento que se distribuem por 4 unidades. Na Figura 2 apresenta-se uma fotografia aérea das instalações do PBN, bem como a localização dos tanques e cais de cada família de produtos (4).

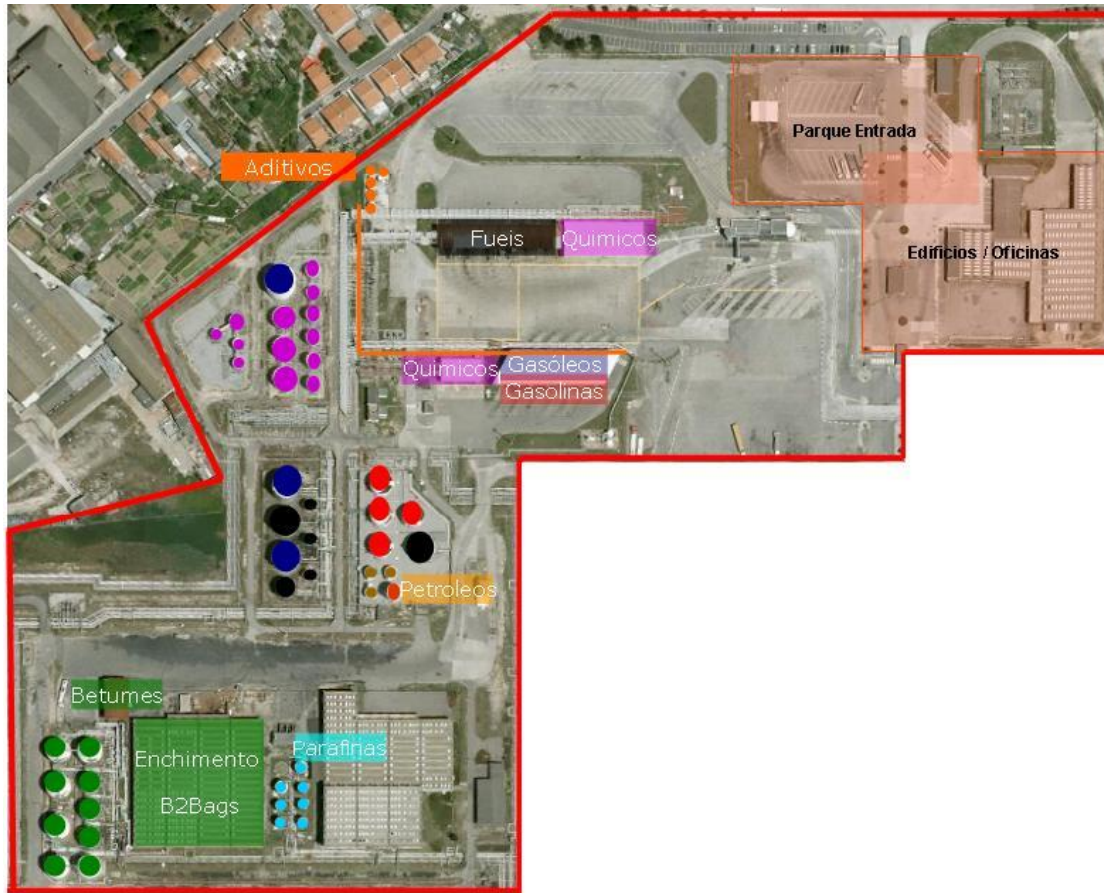


Figura 2 - Fotografia aérea do PBN e localização dos tanques e cais de cada conjunto de produtos (3).

Boa parte dos produtos petroquímicos necessitam de se encontrar armazenados a uma determinada temperatura, dependendo da sua constituição química e das necessidades processuais de cada produto.

Os produtos que necessitam de se encontrar armazenados a temperaturas elevadas, para a realidade do PBN, são os betumes. Tal como foi definido no protocolo de Logística/Supply 2015 da Galp Energia, os produtos devem ser expedidos a uma temperatura adequada ao seu uso e manuseamento. Para tal, a temperatura de expedição dos betumes está estabelecida consoante o “grade” em causa, não podendo ter valores inferiores aos seguintes:

- “Grade” 35/50: 160°C
- “Grade” 50/70: 150°C
- “Grade” 160/220: 145°C (5)

Assim, uma rede de distribuição de energia térmica é estritamente necessária para o efeito. Abrangendo uma gama de temperaturas de armazenagem desde os 60°C até aos 170°C, o PBN tem como fonte de energia térmica o vapor.

Sendo o vapor a fonte de energia mais utilizada dentro do PBN, existe uma grande preocupação relativamente à gestão da utilização do mesmo. Na Figura 3 observa-se o consumo, por mês, de vapor por parte do PBN em 2014.

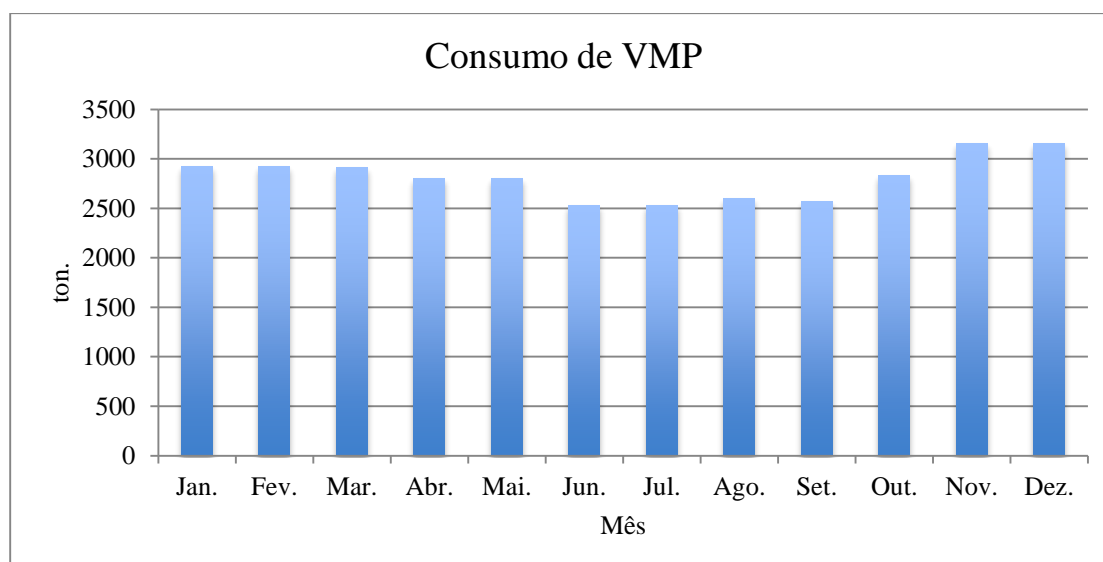


Figura 3 - Consumo de vapor de média pressão do PBN em toneladas em 2014 (6).

A Tabela 1 indica, para cada mês de 2014, o valor correspondente do consumo de vapor de média pressão em toneladas, a sua conversão para fuel-óleo equivalente e conversão deste em euros. Para tal, tiveram-se em conta as seguintes conversões usadas no dia-a-dia da empresa (3):

- Densidade de VMP: 6,0 kg/m³
- 1 tonelada VMP = 0,134 toneladas FOE
- 1 tonelada FOE = 340€

Tabela 1 - Conversão do consumo de VMP de m³ em toneladas de VMP, toneladas de FOE e em euros (3).

Mês 2014	Vapor de Média (m ³)	Ton VMP	Ton FOE	Custo (€)
Janeiro	487.119,60	2.922,72	391,64	133.159 €
Fevereiro	486.520,19	2.919,12	391,16	132.995 €
Março	485.211,80	2.911,27	390,11	132.637 €
Abril	467.392,19	2.804,35	375,78	127.766 €
Mai	466.295,20	2.797,77	374,90	127.466 €
Junho	420.772,69	2.524,64	338,30	115.022 €
Julho	421.374,36	2.528,25	338,78	115.187 €
Agosto	433.734,13	2.602,40	348,72	118.566 €
Setembro	428.633,96	2.571,80	344,62	117.171 €
Outubro	471.832,30	2.830,99	379,35	128.980 €
Novembro	526.062,77	3.156,38	422,95	143.805 €
Dezembro	525.516,91	3.153,10	422,52	143.655 €

No total, em 2014, o Parque da Boa Nova gastou cerca de 1,5 milhões de euros em vapor de média pressão. Tendo em conta o elevado valor monetário investido para suportar toda a energia

consumida com a finalidade de manter as condições de serviço do PBN, torna-se necessário explorar vias de otimização do recurso mais dispendioso do Parque: o vapor.

No PBN, os equipamentos de aquecimento podem consumir vapor a diferentes pressões: a 15 bar – vapor de média pressão (VMP) – e a 3 bar – vapor de baixa pressão (VBP). A distribuição destes pelas unidades do PBN depende das temperaturas de expedição dos produtos armazenados que estão acordadas entre a Galp Energia e o cliente. De maneira a compreender o principal responsável pelo consumo de vapor de média pressão, apresenta-se na Tabela 2 as unidades do PBN e qual o tipo de vapor consumido pelos mesmos.

Tabela 2 - Tipo de vapor consumido pelas unidades do PBN.

Unidade	Tipo de vapor consumido
UN 5300 (Parafinas)	VBP
UN 5400 (Gasóleos e Fueis)	VBP
UN 5500 (Químicos)	VBP
UN 5600 (Betumes)	VMP
UN 5600 (Bombas)	VBP

Graças ao esforço realizado em anos anteriores para diminuir o consumo de vapor do PBN, a maior parte das unidades utiliza VBP para a sua operação. Deste modo, a única unidade que consome VMP é a unidade 5600 – unidade de betumes. Este facto explica-se devido à temperatura necessária de manter o betume dentro dos tanques de armazenagem. Assim, torna-se necessário adotar medidas para diminuir o consumo de vapor da unidade de betumes.

1.2. Objetivos e Metodologia

A dissertação em ambiente empresarial em causa teve como principal objetivo elaborar e/ou testar propostas de poupança de energia no âmbito do sistema de tubagens, armazenagem e ilhas de enchimento dos produtos betuminosos, mantendo os níveis de serviço (temperatura) para o mercado.

Para atingir o objetivo acima definido, foi necessário primeiramente um reconhecimento da área quer em termos de equipamentos, quer em termos de processos da operação no dia-a-dia do PBN.

Na presente dissertação em ambiente empresarial, em tom introdutório, abordam-se conceitos essenciais do produto em que a sua temperatura é necessária de ser gerida – o betume –, bem como da energia essencial para essa mesma gestão – o vapor.

O estudo central focou-se no isolamento térmico do sistema de tubagens e dos tanques de betume, com a finalidade de se encontrar um isolamento mais eficiente e, conseqüentemente, diminuir as perdas energéticas. Para tal, foi feita uma previsão do estado da condutividade térmica efetiva do isolamento térmico atual do PBN.

Seguidamente, seguiram-se vários estudos que foram realizados paralelamente, sendo cada um possível de executar consoante a atividade do PBN. Começou-se por realizar a caracterização da evolução da temperatura dentro dos tanques de betume para três casos diferentes: sem qualquer aquecimento, apenas com serpentina aberta e a recircular com serpentina e permutadores abertos.

De modo a saber operar da maneira mais eficiente possível os equipamentos de aquecimento, foram utilizados métodos para a verificação do consumo de cada um destes em cada tanque de betume. Tais medições foram realizadas através do caudalímetro da área.

Ao ser expedido, o betume presente no tanque passa por um permutador de calor, intitulado permutador de choque, que faz aumentar a temperatura do mesmo imediatamente antes da sua expedição. Como tal, o efeito destes equipamentos foi estudado.

Para saber as necessidades energéticas dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes, foram estudados os consumos de vapor da unidade. Tais medições incluem a serpentina e permutador de todos os 9 tanques de betumes, as traçagens das linhas de produto da armazenagem e do cais e da linha de produto desde a entrada do PBN até à unidade 5600.

Após ambas as abordagens teórica e prática, realiza-se a sua comparação de modo a identificar possíveis problemas e sugestões de melhoria em termos de isolamentos.

Com a finalidade de se otimizar o consumo de vapor nos equipamentos de aquecimento de betumes, mais concretamente na atuação das serpentinas e permutadores, ao mesmo tempo que se certifica as condições mínimas de expedição, foi desenvolvido um programa em Excel que tem em conta o comportamento da evolução da temperatura nos tanques e o consumo dos equipamentos de aquecimento.

Parte A.

ESTUDO TEÓRICO

2. Betume

O petróleo bruto é uma mistura complexa de hidrocarbonetos que diferem entre si no peso molecular e, conseqüentemente, no intervalo de ebulição. Antes de ser usado, o petróleo bruto deve ser separado, purificado, homogêneo e, por vezes, alterado química ou fisicamente (7).

2.1. Fabrico de Betume

Após o primeiro processo de destilação do petróleo bruto, a fração mais pesada que se encontra na base da torre de destilação é conhecida como resíduo longo e encontra-se a cerca de 350°C. Tal processo é ilustrado na Figura 4. Esta é uma mistura complexa de hidrocarbonetos de elevado peso molecular que requer posterior destilação a reduzida pressão numa coluna de destilação em vácuo. Tal procedimento irá formar o chamado resíduo curto com uma viscosidade em função quer da origem do petróleo bruto, como também das condições de temperatura e pressão na coluna de vácuo. Deste modo, dependendo da origem do petróleo bruto, as condições de operação da coluna de vácuo são ajustadas de modo a produzir resíduo curto com uma gama de viscosidades vasta.

As propriedades físicas do resíduo curto ainda podem ser modificadas através de um processo de oxidação – sopragem de ar – que se baseia por fazer passar ar através do resíduo curto a uma temperatura entre 240 e 320°C. Este processo resulta numa redução da penetração, um aumento do ponto de amolecimento e uma menor suscetibilidade à temperatura (7).

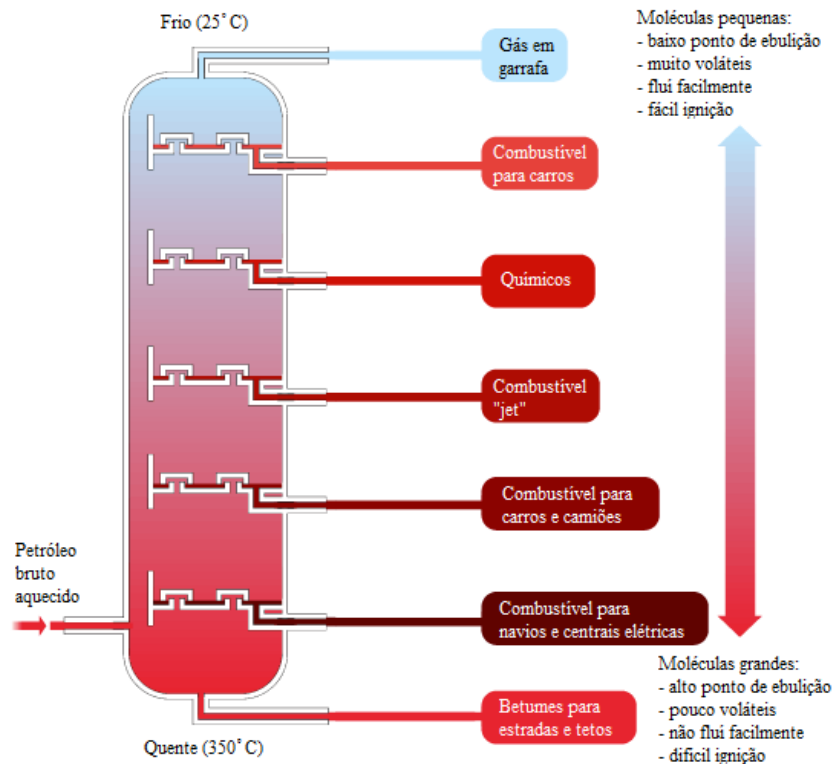


Figura 4 - Processo de destilação de petróleo em torre de destilação e seus produtos finais (8).

2.2. Constituição do Betume

A configuração da estrutura interna de um betume é largamente determinada pela constituição química das espécies moleculares presentes. A análise elementar de betumes fabricados por uma variedade de petróleo bruto mostra que os betumes contêm:

- Carbono 82-88%
- Hidrogénio 8-11%
- Enxofre 0-6%
- Oxigénio 0-1,5%
- Azoto 0-1%

A composição precisa varia consoante a origem do petróleo bruto e das modificações induzidas no procedimento até a obtenção de betume (7).

2.3. Aplicações do Betume

Seguidamente, apresenta-se uma lista de exemplos das inúmeras aplicações de betume:

- Agricultura:
 - Desinfetantes;
 - Coberturas de água e humidade;
 - Pintura de árvores.
- Edifícios:
 - Impermeabilização de pisos;
 - Isolamento de tetos de fábricas;
 - Paredes com blocos acústicos.
- Hidráulica:
 - Forros de barragens;
 - Piscinas;
 - Barreiras de água.
- Industrial:
 - Composições de papel de alumínio que usam betume;
 - Forros do sistema de travagem da indústria automóvel;
 - Caixas de bateria na indústria eletrónica.
- Pavimentação:
 - Pistas de aviação;
 - Estradas, autoestradas, ruas e passeios (exemplificado na Figura 5);
 - Valas de drenagem.
- Linhas ferroviárias:
 - Tratamento de lastro;
 - Lubrificante das curvas;
 - Plataformas das estações.
- Recreativo:
 - Superfícies pavimentadas de pavilhões de dança, ginásios, recreios e pistas de corrida (7).



Figura 5 - Aplicação de betume para pavimentação (9).

2.4. As diferentes classes de betume

Como existe uma grande variedade de betumes fabricados na indústria, são necessários testes para caracterizar os betumes em diferentes classes. Aquele que define a classe do betume é o teste de penetração.

A penetração é definida como a distância percorrida por uma agulha, durante 5 segundos, dentro do betume. Tal distância é medida em décimos de milímetro segundo a norma EN 12591:2009, a agulha está submetida a uma carga de 100 gf a uma temperatura fixa de 25°C. Quanto menor for a penetração, mais duro será o betume. Por outro lado, para um maior valor da penetração, mais mole será o betume. O teste da penetração é a base da classificação dos betumes em intervalos de classes de penetração (7).

Todos os lotes de betume que são expedidos têm que, previamente, ser analisados não só pelo teste da penetração, como por exemplo da temperatura de amolecimento, viscosidade cinemática a 135°C, ponto de fragilidade de Fraass, entre outros. No Anexo A mostra-se um certificado de qualidade de um lote de betumes fabricado pela Galp Energia, onde estão incluídos todos os testes realizados, resultados e intervalos de resultados esperados para tornar o lote válido para ser expedido (10).

Por norma, o PBN tem armazenado nas suas instalações betumes de classe 35/50, 50/70 e 160/220. Por vezes, consoante a necessidade do mercado, também se fabricam betumes 70/100, sendo que a expedição anual desta classe de betume é muito menor que as anteriores. Para uma maior sensibilidade dos betumes mais comercializados, apresenta-se na Tabela 3 a percentagem em total de toneladas de betume expedido em 2014 de cada classe.

Tabela 3 - Percentagens de toneladas de betume expedido em 2014 por classe (11).

Classe	Percentagem de toneladas expedidas em 2014
Betume de pavimentação 35/50	30,70 %
Betume de pavimentação 50/70	62,10 %
Betume de pavimentação 160/220	4,45 %
Betume asfáltico 160/220	1,89 %
Betume de pavimentação 70/100	0,86 %

2.5. Armazenagem e temperatura de expedição de betume

O betume deve sempre ser armazenado à mais baixa temperatura possível, tendo em conta o uso eficiente de energia (7). No entanto, um dos parâmetros mais importantes na armazenagem de betume é a sua temperatura, que por si só influencia as propriedades físicas, químicas, reológicas e mecânicas da mistura asfáltica resultante. Quando o asfalto é produzido com betume a baixas temperaturas e, conseqüentemente, com uma viscosidade elevada, dificilmente será possível de obter uma camada fina capaz de revestir as partículas minerais com camadas sólidas de betume de espessura apropriada. Por outro lado, quando demasiado quente, o betume pode queimar, no que resulta na degradação química e reológica, podendo ocorrer volatilização do betume. Deste modo, torna-se visível que uma das características mais relevantes no uso do betume na engenharia é que as suas principais propriedades são enormemente dependentes da temperatura (12).

A viscosidade cinemática do betume é uma propriedade física que está intimamente relacionada com a temperatura do produto. Esta propriedade é altamente relevante no que toca ao bombeamento de betume das cisternas para os tanques do cliente. Tal como se observa na Figura 6, quando maior a temperatura, menor a viscosidade e, conseqüentemente, maior a eficiência do bombeamento (12). Para viscosidades muito altas, pode não só tornar o processo de bombeamento muito lento ou mesmo em condições indesejáveis, devido a limites mecânicos das bombas, como também fazer com que seja impossível de realizar a mistura asfáltica.

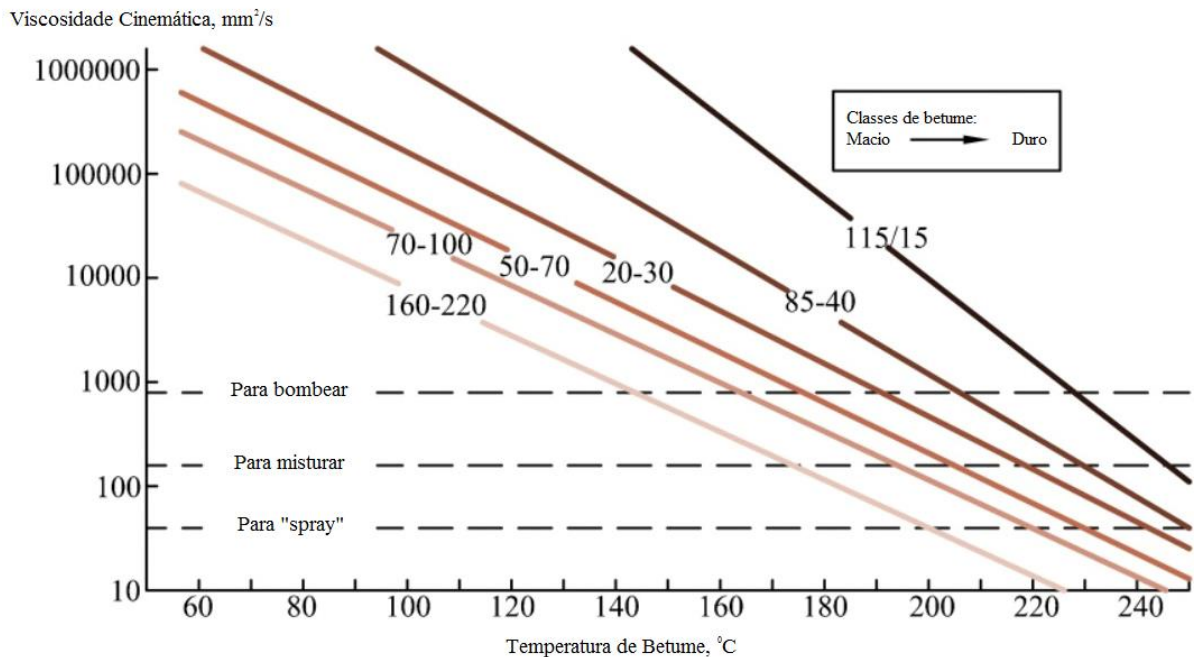


Figura 6 - Viscosidade em função da temperatura de betume para diferentes graus de betume de pavimentação e definição de estágios ideais para bombeamento, mistura e para "spray" (12).

Apesar das informações contidas no gráfico anterior, tal como já foi referido anteriormente, as temperaturas de expedição mínimas definidas pela Galp Energia dos "grades" de betume encontram-se representadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Temperatura mínima de expedição das classes de betume 35/50, 50/70 e 160/220 do PBN (5).

Classe de Betume	Temperatura mínima de expedição (°C)
35/50	160
50/70	150
160/220	145

Na Figura 7, encontra-se uma fotografia dos tanques de betume do PBN.

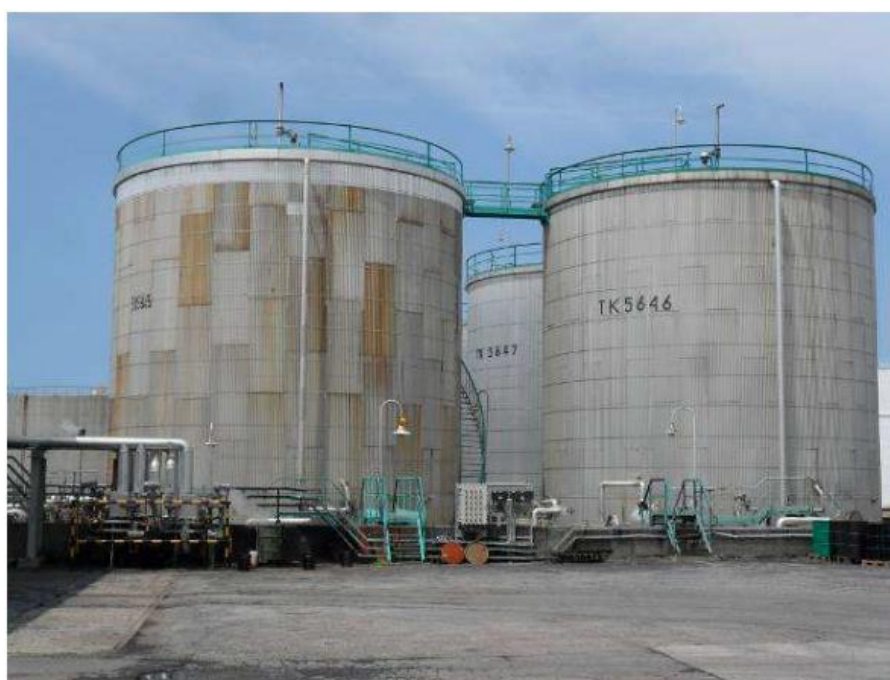


Figura 7 - Tanques de betume do Parque da Boa Nova (4).

Para que seja possível atingir as temperaturas indicadas na Tabela 4, é necessária uma rede de energia térmica nas tubagens de receção de betume da fábrica, na armazenagem e nas ilhas de enchimento. A energia térmica mais adequada para a gama de temperaturas em causa é o vapor, sendo este o tópico abordado posteriormente.

3. Vapor

3.1. O ciclo do vapor

A instalação típica de vapor, normalmente, consiste num ou mais tanques contendo água quente de fornecimento que é posteriormente bombeada para uma ou mais caldeiras. Tais caldeiras produzem vapor à temperatura desejada e distribuem-no através de uma rede de tubagens (possivelmente, para determinadas áreas, passando por estações com redutores de pressão) até aos vários sistemas de aquecimento das instalações. Após passagem nestes sistemas, o vapor condensa de novo para água, libertando o seu calor latente, e o condensado passa por purgadores, cuja função é impedir que o vapor passe e, ao mesmo tempo, permitir que a água quente prossiga para o circuito de condensados, ou seja, para os tanques de água quente. Idealmente, o sistema de vapor é um ciclo fechado, embora este nem sempre seja o caso. Por exemplo, em algumas instalações o vapor pode ser injetado diretamente nos sistemas de aquecimento, enquanto noutra o condensado pode ser desviado para a atmosfera por causa do risco de conter contaminantes que possam posteriormente comprometer a qualidade do produto. Em alguns casos, especialmente naqueles onde existem fugas de vapor e em que o condensado é perdido no seu percurso até às caldeiras, deve ser usada água de reposição para manter os níveis de fornecimento de vapor no sistema. Tal água de reposição deve ser submetida a um tratamento químico dispendioso (13). Na Figura 8 encontra-se representado um ciclo de vapor típico em aplicações térmicas.

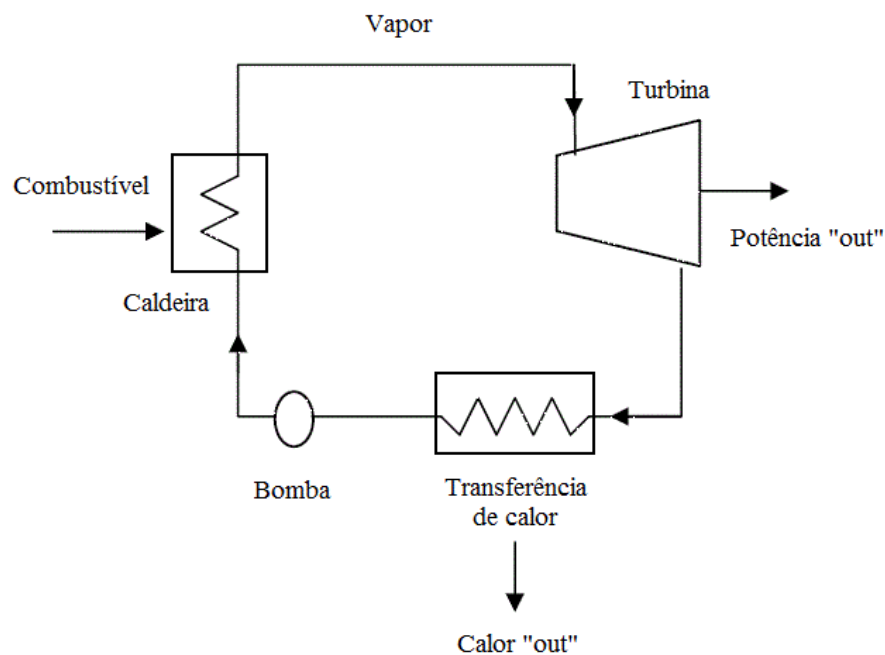


Figura 8 - Exemplo típico de ciclo de vapor num sistema térmico (14).

3.2. Vantagem de vapor relativamente à água aquecida

Em processos industriais que necessitam de operar até 200°C, o uso de vapor torna-se num meio conveniente para o transporte de energia sob a forma de calor. Água pressurizada poderia ser usada, mas a quantidade de energia transportada por quilograma é substancialmente menor quando comparado com o vapor. Isto deve-se ao relativo elevado calor latente de evaporação. A condensação de uma dada massa de vapor num permutador de calor à pressão atmosférica tem um rendimento semelhante a 50 vezes do calor libertado por água líquida a entrar com 100°C e a sair com 90°C. Vapor a diferentes pressões condensa a temperaturas diferentes e o controlo eficaz do fornecimento de vapor a uma determinada pressão, controla por si só a temperatura da operação. Este fenómeno é o contraste com o que acontece com o uso da água quente, pois a sua temperatura desce à medida que liberta calor. Para além disso, a transferência de calor superficial da água é menor daquela conseguida através da condensação de vapor (13).

3.3. Vapor “flash”

O vapor não é apenas perdido em fugas. Parte do condensado gerado apresenta uma temperatura bem superior à de ebulição. Inevitavelmente, parte deste deve ferver e libertar água quente a 100°C. O que é fervido denomina-se de vapor “flash”, que pode ser potencialmente utilizado para sistemas de aquecimento a uma temperatura menor àquela que o gerou. Em algumas instalações, o vapor “flash” é recuperado com fins de poupança energética (13).

Neste sentido, o PBN adquiriu em 2012 um recuperador de condensados, que tem como principal objetivo recuperar o vapor “flash” resultante do aquecimento das unidades de betume, tornando possível abastecer a unidade 5400 (combustíveis brancos e fúeis).



Figura 9 - Recuperador de condensados gerados na linha de VMP para geração de VBP.

3.4. Perdas energéticas na rede de vapor

As fugas de vapor são dispendiosas não só devido à perda de energia contida no vapor libertado escusadamente para a atmosfera, mas também devido ao custo adicional do tratamento da água de reposição para substituir aquilo que foi perdido. Purgadores em mau estado de funcionamento podem causar perdas ao possibilitar a passagem de vapor para a linha de retorno de condensado. A outra forma em que os purgadores podem falhar é através do impedimento da passagem de condensado. Este fenómeno consome energia desnecessária pois o condensado que fica retido irá formar uma camada isolante nos sistemas de aquecimento, reduzindo a eficiência da transferência de calor, sendo o calor latente do vapor desperdiçado no contacto com o condensado. A manutenção tem um fator preponderante no uso consciente de energia, sendo a verificação periódica dos purgadores através de indicadores de nível ou instrumentos de especialistas exemplos de rotinas a implementar. Caso os purgadores possuam um “bypass” a si associados, deve-se garantir que estes não se encontram acidentalmente abertos durante a operação.

A rede de distribuição de vapor deve ser revista periodicamente, com o intuito de verificar se mantém as condições apropriadas para a operação, sendo que as cargas de vapor podem ter sido reduzidas significativamente ao longo dos anos e o sistema pode ter sido conservadoramente projetado. Tubos projetados acima do necessário que percorrem circuitos longos perdem mais calor desnecessariamente. Os piores casos, e aqueles que podem ser mais facilmente resolvidos, são de tubagens “sem saída” ou de tubagens de longos comprimentos com poucos sistemas de aquecimento associados, que poderiam ser alimentados com calor através de outros meios. Mesmo que não seja possível alterar o sistema de tubagens, devem ser analisadas as possibilidades de colocação de reservatórios de vapor nas válvulas, flanges ou noutros componentes. Deste modo, considera-se que a projeção da rede de distribuição de vapor é algo relativamente complexo. Por exemplo, como algum vapor irá condensar nas tubagens, estes devem ser recolhidos pelos purgadores, estando este instrumento localizado na direção do fluxo de vapor.

Uma alternativa económica de poupar vapor, embora requeira uma fase de testes e investigação, é a redução de tempos de aquecimento até a um mínimo admissível. Muitas vezes, uma política conservadora herdada dentro da própria empresa poderá levar às instalações em situações de “standby” por mais tempo do que o suposto. Preocupações relativas aos tempos de iniciação podem também inibir os operadores a deixar as instalações sem qualquer aquecimento durante períodos de inatividade prolongados.

É evidente que a tecnologia do vapor é um tema altamente especializado que requiere perícia por parte das pessoas mesmo para operações de rotina, de modo a melhorar continuamente a “performance” da operação (13).

3.5. Rede de vapor do PBN

Consoante as necessidades de temperatura de expedição dos produtos do PBN, a unidade de cada um destes é alimentada a vapor com uma temperatura adequada. Na Figura 10, ilustra-se a rede de vapor do PBN.

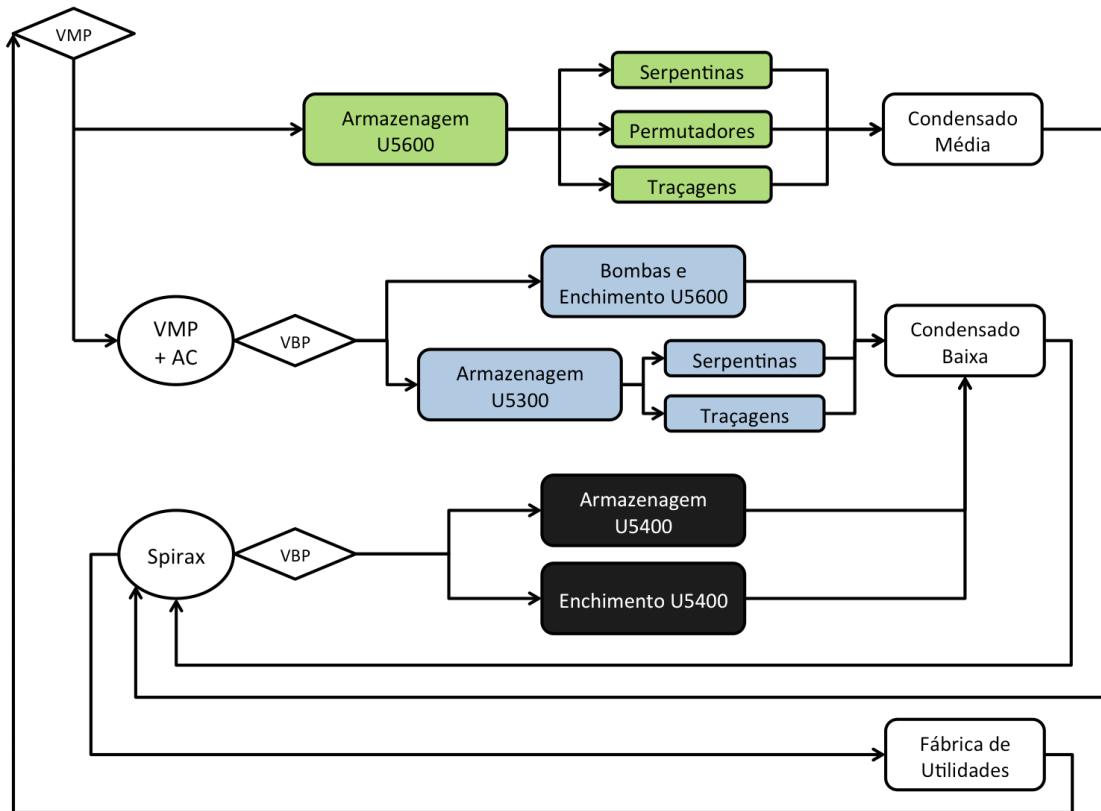


Figura 10 - Rede de distribuição de vapor no PBN. Legenda: VMP – vapor de média pressão; VBP – vapor de baixa pressão; AC – água de caldeira; Spirax – unidade recuperadora de condensados; U5600 – unidade de betumes; U5300 – unidade de parafinas; U5400 – unidade de gasóleos e fuéis.

A Fábrica de Utilidades (FUT) produz vapor de média pressão (cerca de 15 bar) que é transportado até ao PBN através de um “pipeline”. A unidade de betumes UN 5600, a verde na Figura 10) é alimentada diretamente a partir desta fonte de energia, pois é o produto no PBN que necessita de se encontrar armazenado a temperaturas superiores. Para as bombas e enchimento da unidade de betumes e para a unidade de parafinas UN 5300 (a azul na Figura 10), é necessária uma temperatura relativamente mais baixa. Como tal, procede-se a uma mistura de vapor de média pressão com água de caldeira (água quente), obtendo assim vapor de baixa pressão a cerca de 3 bar. Para a unidade de combustíveis brancos e fuéis UN 5400 (a preto na Figura 10), é usado um recuperador de condensados das unidades anteriormente abordadas, sendo o vapor “flash” suficiente para alimentar os tanques e ilhas de enchimento de fuéis. A pressão deste vapor de baixa pressão ronda os 3 bar.

De todos os produtos do PBN, os betumes são aqueles que necessitam de ser expedidos a temperaturas entre 145°C e 160°C. Todos os outros produtos rondam as temperaturas 60°C. Enquanto a unidade de betumes é alimentada a vapor de média pressão, nas outras unidades do PBN utiliza-se vapor de baixa pressão. Este facto justifica a razão pela qual a unidade de betumes seja a mais dispendiosa em termos energéticos.

Caso o contacto entre o tubo que contém vapor fosse direto com a atmosfera, haveria não só uma maior perda energética, como também tornaria o processo de aquecimento do produto ineficiente. Isto justifica-se pela formação de maior quantidade de condensado dentro do tubo. Tal como foi referido anteriormente, em geral, a água quente tem um coeficiente de transferência térmica muito menor do que o do vapor sobreaquecido, sendo a diferença entre ambos dependente do fluido com que trocam calor, bem como das condições de pressão e temperatura. Deste modo, a transferência térmica para o aquecimento de betume seria mais ineficiente. Relativamente aos tubos que contêm betume, o contacto direto entre o tubo e a atmosfera faria com que o betume solidificasse nas paredes do tubo e que o fluxo de produto se tornasse mais viscoso devido à diminuição da sua temperatura ao longo do tubo. Assim, torna-se essencial a utilização de certos equipamentos quer no sistema de tubagem de vapor e de betume, quer nos tanques de armazenagem de betume, que irão ser abordados posteriormente.

4. Isolamento térmico

A transferência térmica indesejável é não só um desperdício monetário, como também pode prejudicar a correta operação do sistema em causa. Dependendo da aplicação, existe um leque de soluções e, por vezes, poderá compensar investir em isolamentos que ultrapassam o mínimo requerido para uma correta operação ou mesmo alterar o material isolante por outro com características superiores (13).

4.1. Definição de isolamento térmico

O isolamento térmico tem como objetivo limitar a perda/ganho de calor a partir/para superfícies sob certas condições de operação a temperaturas acima ou abaixo da temperatura ambiente. Por outras palavras, proporciona uma contribuição para conservação de energia. A conservação energética é uma das principais preocupações em boa parte das aplicações industriais. As razões para a conservação de energia cingem-se em maximizar o retorno sobre o investimento e maximizar o custo de ciclo de vida e as emissões atmosféricas associadas com o consumo energético (15).

O isolamento térmico pode ser aplicado a um sistema para um dos seguintes propósitos, ou uma combinação dos mesmos:

- Poupança de energia ao reduzir a taxa de transferência de calor com o exterior;
- Manutenção da temperatura de operação do processo;
- Prevenção de congelação, condensação, vaporização ou formação de componentes indesejáveis;
- Segurança das pessoas de lesões através de contacto direto com o equipamento;
- Prevenção de condensação na superfície de equipamentos de transporte de fluídos a baixas temperaturas;
- Prevenção de aumento da temperatura de equipamentos;
- Conservação de refrigeração (16).

A instalação de isolamento térmico não só torna o processo mais económico e melhora as condições a que os equipamentos são submetidos, como também reduz o possível desconforto causado por excesso de calor libertado em certas zonas onde operadores possam circular. Genericamente, quanto mais isolamento melhor. No entanto, deve-se ter em conta que cada percentagem adicional de poupança energética custa mais a alcançar, existem “trade-offs” entre o desempenho térmico dos diferentes materiais e o custo de instalação do isolamento e, deste modo, o cálculo da espessura ótima mais económica não é um processo direto.

O isolamento em instalações industriais pode ser realizado quer num formato rígido ou flexível, numa ampla variedade de materiais de espuma ou de fibra apropriados para diferentes aplicações. Válvulas, flanges, filtros, placas de orifício e outros componentes necessitam de isolamento. Os peritos de boa qualidade poderão recomendar métodos para estimar a redução de perdas de calor expectáveis. Nas especificações da instalação, deve-se prestar especial atenção ao revestimento do isolamento, de maneira a proteger o conjunto da tubagem e isolamento de danos mecânicos e para prevenir a entrada de água (chuva, especialmente) no isolamento. Deve-se também ter em conta o isolamento nos acopolamentos, pois o acesso a

estes pontos durante a manutenção pode vir a ser necessário. Caso o isolamento não seja de fácil remoção e de reposição correta, é provável que o mesmo isolamento não seja recomendado a ser novamente colocado.

A eficácia de um isolamento novo ou adicional à rede de tubagens de vapor deve ser de fácil verificação, pois na maior parte dos casos é provável que resulte numa redução semanal constante no consumo de fuel-óleo equivalente, independentemente da taxa de produção ou de outras variáveis. Para fins de comparação de consumos energéticos, não se deve ter em conta as condições meteorológicas. Caso seja impossível por de parte esta variável, deve-se esperar que os valores durante o dia sejam maiores do que aqueles consumidos à noite. Uma monitorização contínua revela deteriorações substanciais no desempenho do isolamento (13).

4.2. Tipos de materiais isolantes e aplicações

O isolamento pode ser classificado em três grupos diferentes, dependendo da gama de temperatura para que é usado. Estes são:

- Isolamento de baixas temperaturas (até 90°C):
Esta gama cobre materiais isolantes para refrigeradores, sistemas de água fria ou quente, tanques de armazenagem, etc. Os materiais mais comuns de serem utilizados são a cortiça, madeira, fibras minerais, poliuretano e poliestireno expandido, entre outros.
- Isolamento de médias temperaturas (90 – 325°C):
Os isolamentos desta gama são usados no aquecimento a baixas temperaturas, linhas de vapor, etc. Os materiais mais comuns para este tipo de aplicações são o amianto (amianto), o silicato de cálcio e as fibras minerais.
- Isolamento de altas temperaturas (acima de 325°C):
A utilização mais típica destes materiais é para sistemas de vapor superaquecidos. Os materiais mais vastamente utilizados são o abesto, silicato de cálcio, fibras minerais, fibras de cerâmica, isolamentos à base de mica, de vermiculita, de argila refratária ou de sílica. Para cima de 600°C, utilizam-se as lãs de AES (“alkaline earth silicate”), policristalina e de silicato de alumina (17).

No esquema representado na Figura 11, observa-se a classificação dos materiais isolantes de acordo com a sua composição química.

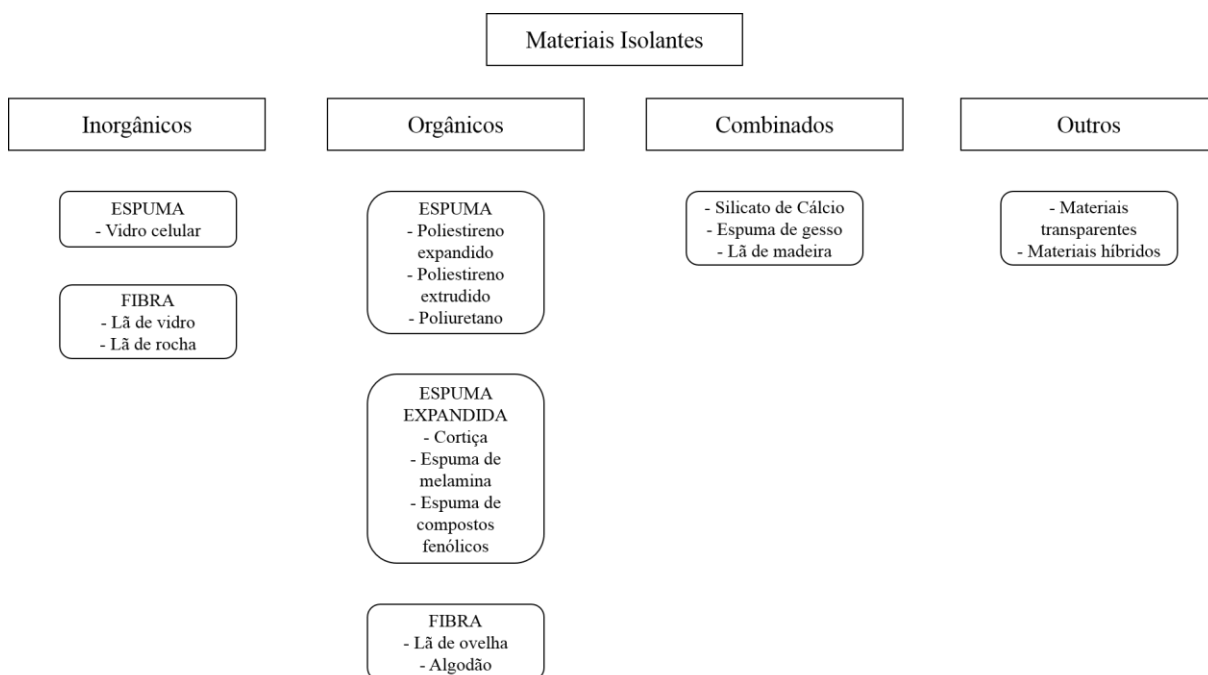
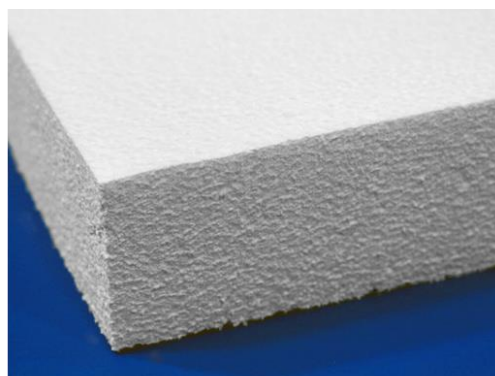


Figura 11 - Classificação dos materiais isolantes (18).

Na Figura 12 em a), b), c) e d) podemos ver exemplos de isolamentos de lã de vidro, poliestireno expandido, cortiça e de silicato de cálcio, respetivamente.



a)



b)



c)



d)

Figura 12 - Exemplos de isolamento de: a) lã de vidro b) poliestireno expandido c) cortiça d) silicato de cálcio (19-22).

Em 2008, o mercado europeu de materiais isolantes foi caracterizado pelo domínio de dois grupos de produtos: materiais fibrosos inorgânicos (lã de rocha e lã de vidro) com 60% do mercado e materiais espumosos orgânicos (poliestireno expandido e extrudido e, a uma menor escala, poliuretano) com 27% do mercado. No primeiro grupo, ar atmosférico é “encurralado” por entre as fibras, enquanto no outro grupo o ar é incorporado em forma de bolha na massa do material (18).

Os materiais isolantes para baixas temperaturas são maioritariamente orgânicos, ao passo que os restantes são inorgânicos. Podem-se definir isolamentos orgânicos como materiais à base de polímeros de hidrocarbonetos, que podem ser expandidos para obter estruturas com um maior número de vazios na sua matriz. Poliestireno expandido (também conhecidos como “thermocol”) e espuma de poliuretano (PUF) são exemplos destes isolamentos orgânicos. Já os isolamentos inorgânicos são materiais à base de silício/alumínio/cálcio em espumas de fibra, granulares ou pulverizadas. Exemplos de materiais inorgânicos incluem lã mineral e silicato de cálcio (17).

4.3. Influência da condutividade térmica nos isolamentos

A condutividade térmica é a propriedade primária de um material isolante (23). Este valor pretende-se que seja baixo, de modo a atingir uma máxima resistência à transferência de calor. Por isso, para qualquer perda de calor, um material de baixa condutividade térmica necessitará de uma menor espessura quando comparado com outro material de maior condutividade. A grande vantagem desta particularidade para as tubagens advém do facto de isolamentos mais finos possuírem uma menor área de contacto com a atmosfera, que tem como consequência uma menor troca de calor com a atmosfera. Outra consequência é a menor necessidade de material que servirá de revestimento externo do isolamento. Sublinhe-se que o principal objetivo do isolamento é limitar a transferência energética de dentro para fora de um sistema (17).

A maioria dos materiais isolantes são altamente porosos e consistem numa matriz sólida repleta de pequenos vazios que contemplam cerca de 90% do volume total. Tais vazios contêm ar ou outros gases nocivos, como o CO₂. A condutividade térmica aparente do material é o resultado macroscópico de vários trajetos de fluxo de energia que se encontram na sua estrutura porosa complexa: condução através da matriz sólida, condução nos vazios e radiação entre as superfícies. A contribuição da convecção natural mostra ser desprezável em condições normais de operação.

A nível microscópico, a condutividade térmica aparente depende de inúmeros fatores: tamanho de célula, diâmetro e orientação das fibras ou partículas, transparência à radiação térmica, tipo e pressão do gás, materiais de ligação, etc. Uma combinação específica destes fatores produz a mínima condutividade térmica aparente. A nível macroscópico, a condutividade térmica aparente depende maioritariamente de 4 fatores: temperatura de operação, densidade, conteúdo de humidade e tempo de vida, para além do efeito da pressão (23).

4.4. Fatores que influenciam a condutividade térmica

Os valores da condutividade térmica dos materiais pelos fabricantes são normalmente avaliadas dentro de parâmetros e condições laboratoriais de temperatura e humidade, de maneira a permitir uma avaliação comparativa do desempenho térmico. No entanto, quando colocado noutros locais, os materiais isolantes térmicos são expostos a temperaturas e níveis de humidade diferentes dependendo das condições climáticas prevalentes. Por isso, a sua condutividade térmica efetiva pode alterar substancialmente daquela prevista em laboratório (24).

Deste modo, abordam-se seguidamente os fatores que influenciam a condutividade térmica de um isolamento.

4.4.1. Temperatura de operação

Zhao et. al estudaram a influência da temperatura de operação de um isolamento fibroso na condutividade térmica efetiva para temperaturas entre 300 – 973 K através de um aparelho de medição desenvolvido para o efeito. O espécime utilizado neste estudo foi o isolamento fibroso de alto teor em alumina, sendo os seus componentes primários a própria alumina e a sílica. A sua densidade nominal era de 128 kg/m^3 e o diâmetro das suas fibras variava entre $1 - 9 \mu\text{m}$, aproximadamente. Como resultado, concluíram que a condutividade térmica efetiva aumenta não-linearmente com o aumento da temperatura a que são submetidos. Os resultados podem ser observados graficamente na Figura 13 (25).

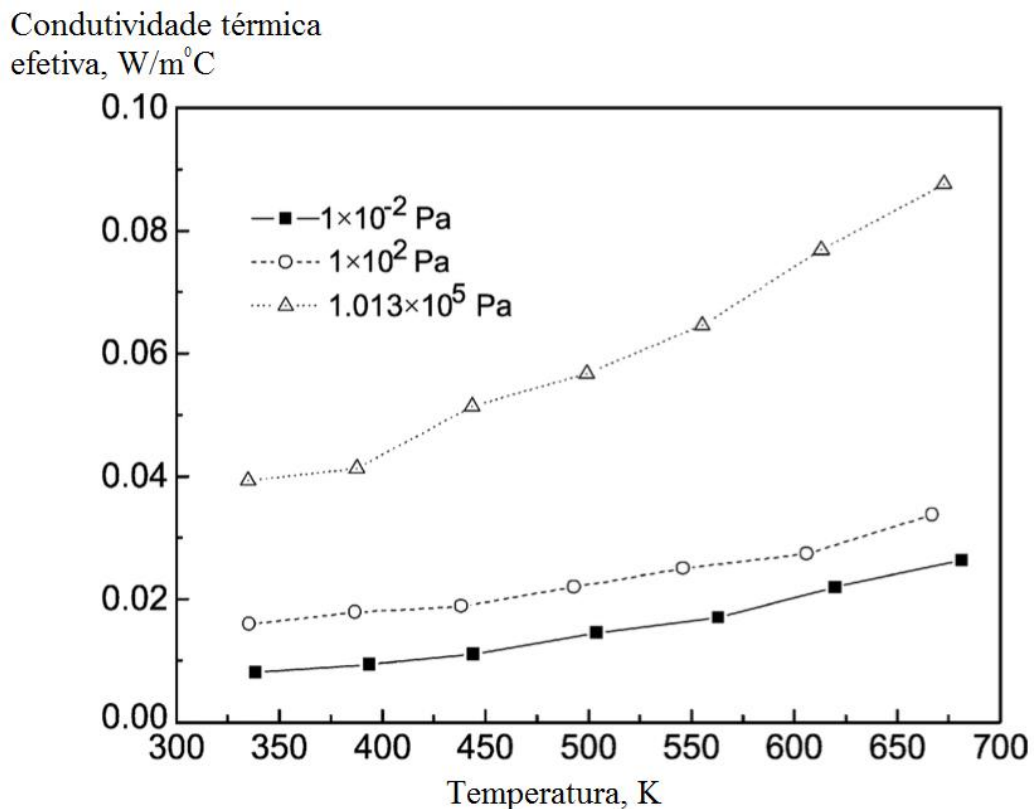


Figura 13 - Variação da condutividade térmica efetiva com a temperatura de operação para diferentes pressões de isolamento fibroso com alto teor em alumina (25).

4.4.2. Pressão

No mesmo estudo de temperatura de operação, foi estudada a influência da pressão a que o isolamento estava submetido na condutividade térmica efetiva, para determinados valores de temperatura. O gráfico da Figura 14 ilustra os resultados obtidos, concluindo que a condutividade térmica efetiva aumenta para valores elevados de pressão, sendo este acréscimo mais notório para elevadas temperaturas de operação (25).

Condutividade térmica efetiva, $W/m^{\circ}C$

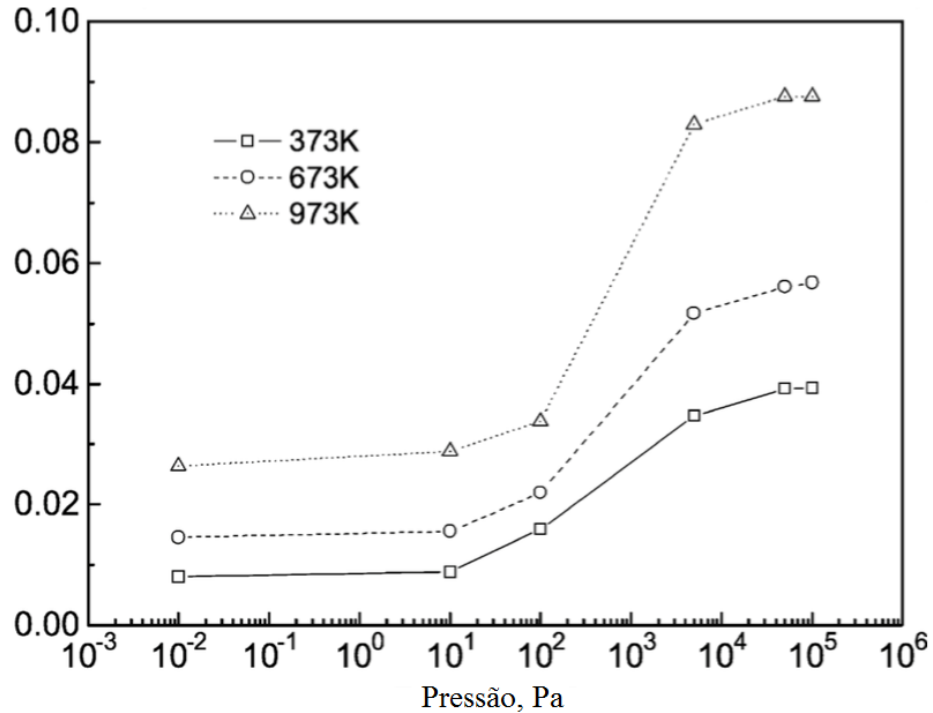


Figura 14 - Variação da condutividade térmica efetiva com a pressão para diferentes temperaturas de operação de isolamento fibroso com alto teor em alumina (25).

4.4.3. Densidade

Para a maioria dos materiais isolantes térmicos, a densidade aparente varia entre 10 a 320 kg/m^3 e a sua eficiência depende essencialmente no número de vazios, compostos por células de ar ou gás, responsáveis por restringir a transferência de calor por convecção ou radiação. Paralelamente, a limitação de áreas de pontes térmicas sólidas forma uma boa barreira na transferência de calor por condução.

Normalmente, uma densidade aparente reduzida está associada a uma baixa condutividade térmica do material isolante para baixas e médias gamas de temperatura, nos casos onde este material não está sujeito a suporte de cargas (17).

No seu estudo sobre o cálculo da incerteza na determinação da condutividade térmica dos materiais isolantes, Domínguez-Muñoz et. al ilustram, através da Figura 15, que a relação entre densidade e condutividade térmica ocorre consoante as seguintes fases: (a) para densidades baixas, a condutividade térmica diminui devido ao efeito de troca de calor por radiação por comprimento de ondas elevadas dentro dos poros, (b) para densidades elevadas, a condutividade térmica aumenta com a densidade, devido à diminuição dos poros, (c) as condutividades térmicas mais baixas ocorrem entre 30 e 60 kg/m^3 (23).

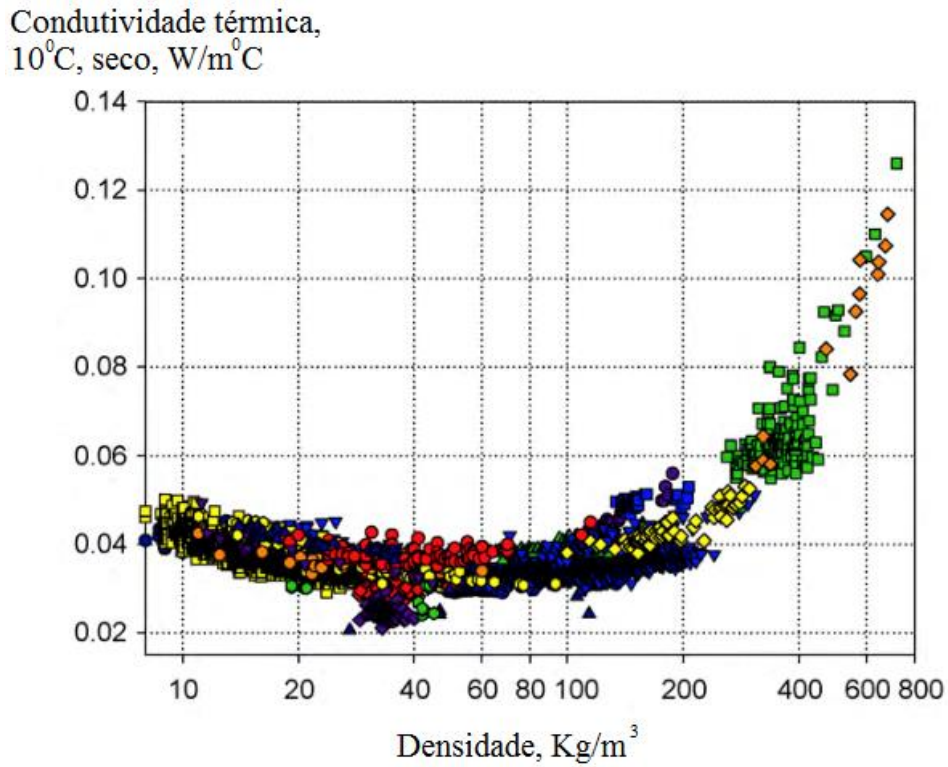


Figura 15 - Condutividade térmica de materiais isolantes a 10°C no estado seco (23).

Para a lã de rocha, mais concretamente, o ponto de viragem situa-se na densidade de 70 kg/m^3 , tal como se pode observar na Figura 16. Ou seja, para densidades inferiores a 70 kg/m^3 , a condutividade térmica diminui com o aumento da densidade, enquanto para valores superiores a este, acontece o inverso.

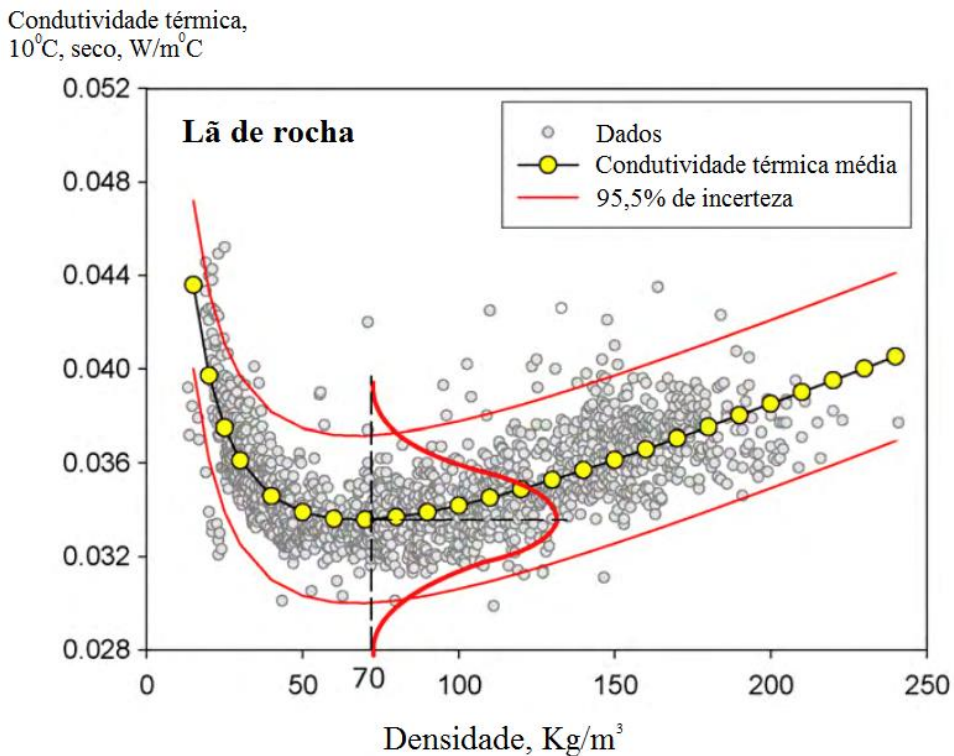


Figura 16 - Variação da condutividade térmica da lã de rocha com o aumento da densidade (23).

4.4.4. Humidade

A condensação de água ocorre nas superfícies que se encontram a temperaturas abaixo do ponto de orvalho atmosférico, devido à atração do vapor de água para a superfície fria. Tal fenómeno resulta da diferença na pressão de vapor parcial entre o ar à temperatura ambiente e a temperatura da superfície fria. A não ser que seja possível fazer com que esta humidade seja re-evaporizada, esta pode ser absorvida por algum material isolante permeável que possa estar instalado na superfície fria, fazendo com que a condutividade térmica do material aumente e, por isso, a sua eficiência seja prejudicada (17).

Estudos revelam que a condutividade térmica de materiais térmicos isolantes aumenta bastante quando os valores medidos no estado seco e no estado saturado são comparados. Mesmo os materiais considerados à prova de água revelam-se sensíveis a este parâmetro (26).

Para além da contribuição para o aumento da condutividade térmica, a deposição de humidade no material isolante pode levar à eventual saturação do isolamento. Isto resulta em possíveis deteriorações mecânicas e físicas, aumentando também o risco de corrosão na superfície metálica que envolve o material isolante (17).

Jerman et. al concluíram que a condutividade térmica da lã de rocha aumentou muito rapidamente com o aumento do conteúdo em humidade (Figura 17). Os valores iniciais da condutividade térmica dos materiais analisados no estado seco eram entre 0,036 e 0,041 W/m°C. No estado saturado, a condutividade térmica variava entre 0,7 e 0,9 W/m°C. O aumento da condutividade térmica já foi significativo para valores relativamente baixos de conteúdo de humidade, mais especificamente entre os 5-20%, observando-se uma condutividade térmica entre 0,10-0,14 W/m°C (26).

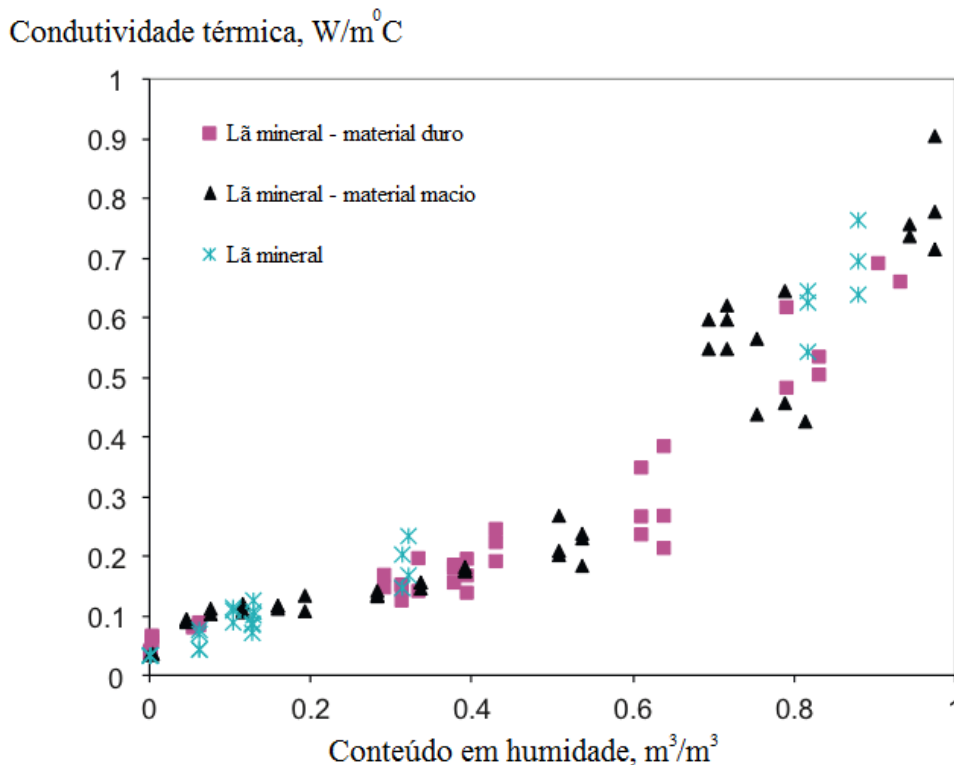


Figura 17 - Condutividade térmica de lãs minerais em função do conteúdo de humidade (26).

Abdou et. al estudaram os valores da condutividade térmica para diferentes percentagens de humidade e temperatura para a lã de rocha. O gráfico da Figura 18 resulta dos testes realizados

no mesmo estudo, concluindo para diferentes temperaturas que quanto maior a percentagem de humidade, maior será a condutividade térmica do material (24).

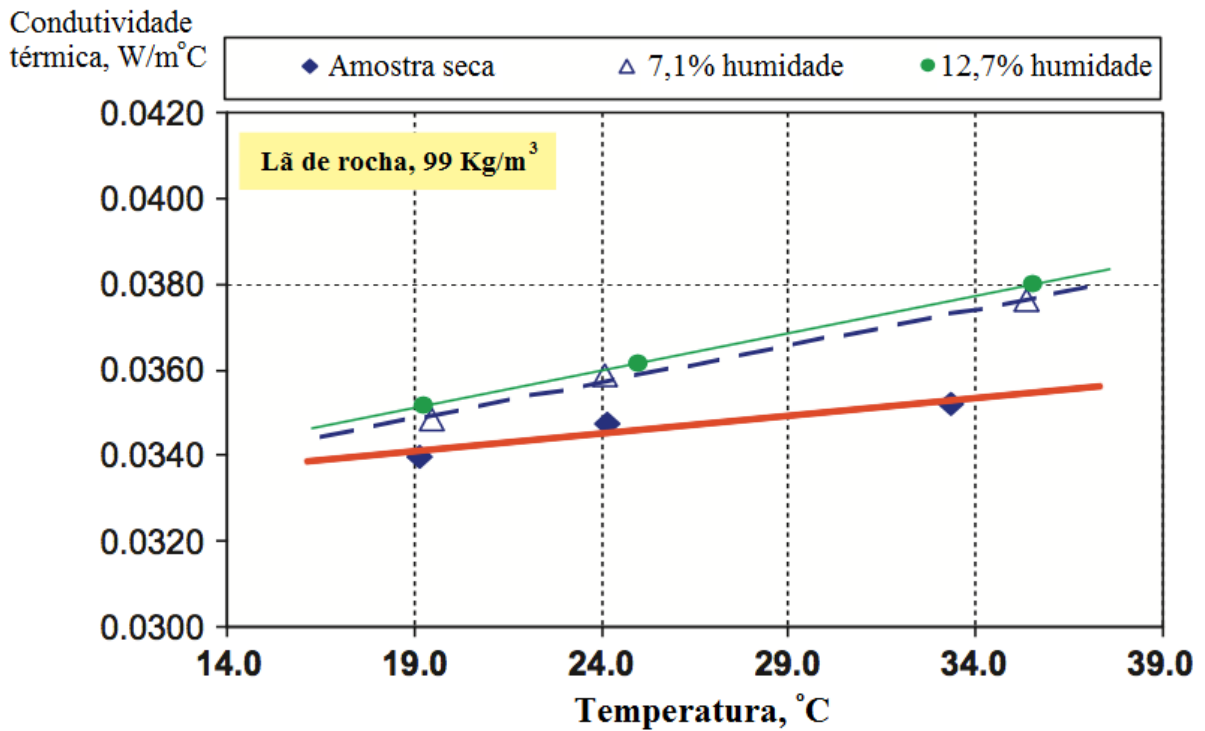


Figura 18 - Variação da condutividade térmica da lã de rocha com a percentagem em humidade e temperatura, para uma densidade de 99 kg/m³ (24).

4.4.5. Durabilidade dos isolamentos térmicos

Na sua revisão sobre espessura de isolamento térmico económica para tubos, Kaynakli menciona que, na sua literatura, o tempo de vida de um isolamento é assumido como de 10 anos, embora outros estudos definam períodos entre os 5 e os 30 anos (15).

Em toda a literatura pesquisada, não foi possível encontrar um método que indicasse a variação da condutividade térmica de um isolamento ao longo do tempo, dentro de determinadas condições de operação.

5. Análise dos Isolamentos Térmicos da unidade de betumes

Após a abordagem dos vários tipos de isolamentos térmicos disponíveis no mercado, consoante as condições a que estes seriam submetidos na unidade de betumes do PBN, irão ser escolhidos os materiais que respeitarem certos critérios definidos posteriormente. Também será realizada uma previsão do estado do isolamento atual do PBN, tendo em conta os fatores que fazem variar sua a condutividade térmica. Para tal, inicialmente, são definidos os isolamentos atualmente em utilização na unidade de betumes.

5.1. Definição dos isolamentos

Na unidade de betumes existem dois tipos de equipamentos que devem ser termicamente isolados: os tubos de vapor e de betume e os tanques de armanzenagem de produto. Embora sejam ambos isolamento térmico de lã de rocha, são utilizadas formas diferentes de isolamento, que serão aboradadas posteriormente.

5.1.1. *Isolamento do sistema de tubagem - coquilha*

Os sistemas de tubagem são termicamente isolados por coquilhas de espessura uniforme recortadas de blocos constituídos de fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termo-endurecida (Figura 19). Todos os isolamentos são revestidos com chapa de alumínio, de modo a prevenir a penetração de água na matriz, que posteriormente iria resultar numa maior perda térmica, bem como para a segurança dos operadores, ao impedir o contacto destes com superfícies a elevadas temperaturas.



Figura 19 - Exemplo de isolamento em coquilha de lã de rocha (17).

As características da lã de rocha em formato de coquilha, conforme a respetiva ficha técnica, estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do isolamento de lã de rocha do PBN em coquilha (27)

Temperatura máxima	600°C
Densidade nominal	70 kg/m ³
Calor específico	0.84 kJ/kg.K a 20°C
Condutividade térmica (para T=200°C)	0,066 W/m°C (EN12667 EN12939)
Estabilidade dimensional	23°C/90% HR: as variações relativas não excedem 0.0% (NP EN1604)
Absorção de água	<= 1,00 kg/m ² (NP EN12087)
Fator de difusão ao vapor de água	μ : 1,3 (BS 2972)
Permeabilidade ao vapor de água	0.4 g/m ³ .24h (ASTM C-795 C-871)

5.1.2. Isolamento de tanques - manta

Os tanques são cobertos por lã de rocha costurada por uma malha de aço galvanizada e adequam-se até temperaturas de 750°C, tal como é possível de observar na Figura 20. Tal como os isolamentos do sistema de tubagem, também são revestidos por chapa de alumínio para os mesmos fins.



Figura 20 - Exemplo de isolamento em manta de lã de rocha (28).

Na Tabela 6, encontra-se explícitas as características da manta de lã de rocha de acordo com a ficha técnica.

Tabela 6 - Características do isolamento de lã de rocha do PBN em manta (29).

Temperatura máxima	750°C (ASTM C411)
Densidade nominal	100 kg/m ³
Calor específico	0.84 kJ/kg.K a 20°C
Condutividade térmica	0.058 W/m°C
Absorção de vapor de água	+/- 0,02% (ASTM C1104/C1104 M)
Fator de difusão ao vapor de água	μ : 1,3

5.2. Escolha de isolamentos térmicos a estudar

De maneira a ser possível escolher uma pequena gama de materiais isolantes a analisar, comparar com a lã de rocha e, conseqüentemente, saber qual o isolamento ideal, irão ser usados os seguintes critérios, de acordo com as condições do PBN:

- Critério 1: Temperatura máxima de serviço;
- Critério 2: Ausência de componentes cancerígenos;
- Critério 3: Resistência à humidade (característica hidrofóbica);
- Critério 4: Resistência ao fogo;
- Critério 5: Condutividade térmica a 250°C.

5.2.1. Critério 1: Temperatura máxima de serviço

Apresentam-se na Tabela 7 os materiais atualmente presentes no mercado e a sua temperatura máxima de serviço.

Tabela 7 - Lista de materiais isolantes e respetivas temperaturas máximas de serviço (30).

Material isolante	Temperatura máxima de serviço (°C)
Silicato de cálcio	650
Espuma de vidro celular	480
Espuma de elastómero	120
Fibra de vidro	540
Fibras cerâmicas refratárias	1200
Lã mineral – vidro	250
Lã mineral – rocha	760
Espuma fenólica	150
“Polyisocyanurate”	150
Poliestireno	75
Poliuretano	120
Vermiculite	760

Como o vapor de média pressão do PBN está à temperatura de 200°C, deve-se filtrar os materiais para uma temperatura máxima de serviço de, pelo menos, 250°C, de modo a dar uma boa margem de segurança.

5.2.2. Critério 2: Ausência de componentes cancerígenos

De seguida, analisam-se os materiais relativamente à presença de componentes perigosos à saúde humana. Na Tabela 8 encontram-se os comentários referentes a cada um dos materiais isolantes resultantes da filtragem realizada após o primeiro critério.

Tabela 8 - Lista de materiais isolantes (critério 1) e presença de componentes perigosos à saúde humana (31-37).

Material isolante	Presença de componentes perigosos à saúde humana
Silicato de cálcio	A inalação de pó deste produto pode causar irritação da garganta e ligeira tosse. Pode causar irritação da pele e dos olhos.
Espuma de vidro celular	Níveis elevados de exposição podem causar problemas relacionados com a inalação (dores de cabeça), visão (irritação) e pele (irritação).
Fibra de vidro	Exposição pode reduzir a função pulmonar e inflamação. Pode causar irritação da pele, olhos e garganta. Níveis elevados de exposição podem causar erupções cutâneas e dificuldade em respirar.
Fibras cerâmicas refratárias	Podem conter sílica cristalina em forma de quartzo ou cristobalite em quantidades suficientes para serem considerados como pertencentes à categoria 1 de substâncias cancerígenas. É genericamente classificado pela UE na categoria 2 de materiais cancerígenos na diretiva 67/548/EEC.
Lã mineral – vidro	Contém amianto.
Lã mineral – rocha	Pode causar irritação da pele e dos olhos.
Vermiculita	Contém amianto.

Devem ser feitos esforços para evitar o uso de amianto ou de materiais que possuam na sua constituição amianto no seu sistema de isolamento. Nos casos em que o uso de amianto é inevitável devido à falta de um material substituto ou outras razões, o cliente deve realizar um acordo prévio para que possa utilizar este material. Este cuidado deve-se ao facto deste material ser extremamente perigoso para a saúde humana, por isso, existem regras de segurança para o uso e aplicação de amianto muito mais rígidas do que qualquer outro material isolante (17). Representa-se uma amostra de amianto na Figura 21.



Figura 21 - Exemplo de fibras de amianto (38).

Um dos materiais que possui amianto na sua constituição é a vermiculita, um mineral que tem a propriedade de se expandir em formato de acordeão quando aquecido. O amianto presente na vermiculita, quando inalado, pode causar problemas de saúde nos pulmões, podendo mesmo causar cancro. Esta consequência tem uma probabilidade relativamente elevada de se suceder, dado que o amianto é constituído por fibras muito finas e leves, sendo libertadas para o ar facilmente. Pessoas que estiverem em redor destes materiais, caso não tenham os devidos cuidados, ao respirar o ar podem estar a inalar fibras de amianto e a contínua exposição a estes materiais faz com que estes se acumulem nos pulmões (36).

A utilização/comercialização de amianto e/ou produtos que o contenham foi proibida em Portugal a partir de 1 de Janeiro de 2005 (39). Nos últimos anos, a lã de vidro deixou de fazer parte das unidades do PBN por essa mesma razão. Deste modo, a vermiculite e a lã de vidro deixam de ser opção para análise em causa.

Como a lã mineral de fibras cerâmicas tem a possibilidade de possuir sílica cristalina e, consequentemente, se torna um material tóxico, houve a necessidade de desenvolver um material para o isolamento de elevadas temperaturas de danos desprezáveis. Um dos materiais recentemente desenvolvidos é o AES (“alkaline earth silicate wools”) (37). Deste modo, prosseguir-se-á com a análise dos materiais isolantes com o AES em vez dos materiais fibrosos cerâmicos refratários.

5.2.3. Critério 3: Resistência à humidade

Segue-se o critério de resistência à humidade, onde as características relativas a este parâmetro dos materiais em causa se encontram na Tabela 9.

Tabela 9 - Lista de materiais isolantes (critério 2) e resistência à humidade (17, 40-42).

Material isolante	Presença de componentes perigosos à saúde humana
Silicato de cálcio	Absorve água, podendo ser seco sem deterioração.
Espuma de vidro celular	Resistente à água quer na forma líquida, quer em vapor.
Fibra de vidro	Incapaz de secar autonomamente após a deposição de água. Deve ser removido e substituído após deteção de humidade.
AES	Não é afetado por porções de óleo ou água.
Lã mineral – rocha	Hidrofóbico (repele a água).

Dado que o silicato de cálcio e a fibra de vidro não são autónomos na sua secagem após se encontrarem húmidos, tornam-se inviáveis de serem implementados no PBN.

5.2.4. Critério 4: Resistência ao fogo

A espuma de vidro celular, a lã de rocha e os AES são materiais não combustíveis. Assim, nenhum dos materiais é eliminado das opções a analisar e segue-se para o critério 5.

5.2.5. Critério 5: Condutividade térmica a 200°C

Apesar de se ter limitado a 250°C no primeiro critério, de maneira a incluir uma certa margem de segurança, analisa-se agora a condutividade térmica dos materiais isolantes restantes à temperatura de 200°C na Tabela 10 – temperatura mais provável a que os materiais seriam submetidos na unidade de betumes.

Tabela 10 - Lista de materiais isolantes (critério 3) e condutividade térmica à temperatura de 200°C (27, 29, 43, 44).

Material isolante	Condutividade térmica a T=200°C (W/m°C)
Espuma de vidro celular	0,543
AES	0,04
Lã mineral – rocha	0,058 – 0,066

Após a implementação dos 5 prévios critérios, conclui-se que o material com menor condutividade térmica e, por isso, com maior resistência ao fluxo de calor é o AES. Os valores da condutividade térmica da lã de rocha encontram-se muito próximos deste. Já a espuma de vidro celular apresenta valores com uma discrepância relativamente grande comparativamente aos últimos dois. No entanto, nos capítulos posteriores dever-se-á prosseguir os estudos com estes três materiais, de modo a ser possível fazer a comparação entre as perdas energéticas, consoante a espessura de cada um.

Deste modo, os materiais que deverão ser tidos em consideração para implementação no PBN são a lã de rocha, espuma de vidro celular e AES.

5.3. Previsão do estado dos isolamentos do PBN

Com a finalidade de se perceber possíveis diferenças entre os resultados práticos e os teóricos do consumo de vapor da linha de vapor, bem como daquelas verificadas para o decréscimo da temperatura dos tanques por dia, analisa-se o possível estado da lã de rocha utilizada no PBN. Como tal, abordam-se os fatores que fazer variar a condutividade térmica dos isolamentos térmicos e a sua influência nas condições do PBN.

5.3.1. Incerteza da condutividade térmica

Tem sido dada uma atenção acrescida às aplicações de incerteza nos métodos de validação e de simulação de sistemas térmicos. Deste modo, Domínguez-Muñoz et. al desenvolveram um método para conhecer as bandas de incerteza da condutividade térmica de um certo material, tendo em conta as variáveis conhecidas desse material (23). Deste modo, são calculadas as incertezas para a lã de rocha para duas situações:

- Fibras perpendiculares ao fluxo de calor
- Fibras paralelas ao fluxo de calor

Na Figura 16 é possível observar um dos resultados da referência (23) relativamente à 95,5% de incerteza e sua distribuição normal dos valores da condutividade térmica da lã de rocha com fibras perpendiculares ao fluxo de calor, dependendo da densidade, para uma temperatura de operação de 10°C e no estado seco.

No método em causa, são usados parâmetros específicos de cada material que, sabendo a densidade do deste, calcula a banda de incerteza da condutividade térmica. De maneira a ser possível utilizar este método para aferir relativamente aos possíveis valores da condutividade térmica dos isolamentos do PBN, serão realizados os cálculos para duas densidades diferentes: 70 e 100 kg/m³ (coquilha e manta, respetivamente).

Tendo em conta o método do artigo em causa, para as condições de temperatura de superfície do isolamento de 200°C, apresenta-se na Tabela 11 o valor da condutividade térmica para as diferentes disposições de fibras da lã de rocha.

Tabela 11 - Condutividade térmica da lã de rocha para fibras perpendiculares e paralelas ao fluxo de calor, influenciadas pela gama de incerteza ($\rho=70$ kg/m³ e $\rho=100$ kg/m³) (23).

Disposição das fibras da lã de rocha	Condutividade térmica tendo em conta a gama de incerteza, T=200°C (W/m°C)	
	$\rho=70$ kg/m ³	$\rho=100$ kg/m ³
Perpendiculares ao fluxo de calor	0,084	0,086
Paralelas ao fluxo de calor	0,094	0,098

5.3.2. Temperatura de operação

Tal como demonstrado no capítulo 4, a condutividade térmica varia com a temperatura de operação e, neste caso, foi possível verificar qual o aumento em causa. Assim, a influência da temperatura de operação já foi tida em conta nos cálculos teóricos.

5.3.3. Densidade

Apesar de se saber que quanto maior a densidade, para determinados níveis, maior será a condutividade térmica, as fichas técnicas dos materiais isolantes do PBN indicam a densidade do mesmo. Como a densidade não terá alterações significativas para as condições em causa, supõe-se que este fator não terá influência nas variações verificadas entre os consumos teóricos e práticos.

5.3.4. Pressão

Devido à impossibilidade de se prever a pressão que o revestimento de chapa de alumínio aplica no isolamento térmico, para impedir a penetração de água no mesmo, não é possível prever como é influenciada a condutividade térmica pela pressão.

5.3.5. Humidade

Abdou et. al estudaram a influência do aumento percentual de humidade de um isolamento de lã de rocha com uma densidade muito similar àquela usada no PBN ($\rho=99 \text{ kg/m}^3$) (24).

A partir da regressão linear dos resultados ilustrados na Figura 18, é possível fazer a analogia para a temperatura de opção que se verifica no PBN a 200°C. Na Tabela 12 apresentam-se os dados a que se recorreram para esse mesmo cálculo, bem como o aumento em percentagem comparando com o estado seco.

Tabela 12 - Dados da regressão linear obtida no estudo da influência da humidade na condutividade térmica da lã de rocha para uma densidade de 99 kg/m^3 (24).

Percentagem de humidade	Declive	Intercessão com eixo yy	Coefficiente de correlação (R^2)	Condutividade térmica ($\text{W/m}^2\text{C}$)	Diferença em percentagem para o estado seco
0% (seco)	0,00008	0,03125	0,92	0,04725	--
7,1%	0,00017	0,03161	0,99	0,06561	28%
12,7%	0,00018	0,03178	1,00	0,06778	30%

Como é possível observar pelos resultados apresentados na Tabela 12, o facto de o isolamento passar de seco a húmido, mesmo a uma percentagem relativamente baixa, a condutividade térmica aumenta 28%. Quando esta humidade dobra, verifica-se apenas um aumento de 2% quando comparado com o primeiro caso. Como tal, pode-se concluir que a pequena presença de humidade traz consequências drásticas para o valor da condutividade térmica do isolamento térmico.

Assumindo um aumento de 30% da condutividade térmica devido à presença de humidade no isolamento do PBN e tendo em conta as bandas de incerteza do valor da condutividade térmica, apresenta-se na Tabela 13 os valores da condutividade térmica possíveis, já sob influência da gama de incerteza acima calculada.

Tabela 13 - Condutividade térmica da lã de rocha para fibras perpendiculares e paralelas ao fluxo de calor, influenciadas pelas bandas de incerteza e pela humidade ($\rho=70 \text{ kg/m}^3$ e $\rho=100 \text{ kg/m}^3$).

Disposição das fibras da lã de rocha	Condutividade térmica aumentada em 30% devido à presença de humidade ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	
	$\rho=70 \text{ kg/m}^3$	$\rho=100 \text{ kg/m}^3$
Perpendiculares ao fluxo de calor	0,109	0,111
Paralelas ao fluxo de calor	0,123	0,127

5.3.6. Durabilidade do isolamento

Na literatura revista para o estudo em causa, não foi possível encontrar a influência na condutividade térmica quantificada para as condições em que os isolamentos térmicos usados no PBN se encontram. Assim, não se tem em conta as alterações da condutividade térmica a longo prazo.

6. Cálculos teóricos do decréscimo de temperatura nos tanques e do consumo de vapor dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes

Para que seja possível retirar conclusões dos estudos realizados à evolução da temperatura dos tanques, bem como dos consumos dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes, foram realizados cálculos para estimar qual deveria ser o valor das diferenças de temperatura e caudalímetros esperados, respetivamente.

Os cálculos realizados neste capítulo serão relevantes para em capítulos posteriores poder retirar conclusões ao estado do material isolante, como também à eficiência do consumo de vapor por parte dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes.

6.1. Decréscimo de temperatura nos tanques

Na armazenagem de betume em tanques projetados para o efeito existem vários fatores que contribuem para as perdas de calor do produto para o exterior. Aqueles que mais influenciam a taxa de fluxo de calor num tanque é o conteúdo de betume e a sua temperatura. Contudo, o fluxo é influenciado por outros fatores, como:

- Volume de betume e de ar (gás) no tanque;
- Temperatura de betume desejada;
- Parâmetros geométricos do tanque (altura e diâmetro);
- Espessura de camadas e propriedades dos materiais da parede do tanque;
- Propriedades físicas (térmicas) do betume;
- Temperatura ambiente;
- Velocidade do vento. (12)

Relativamente aos tanques de betume, ilustra-se na Figura 22 uma representação da parede do mesmo.

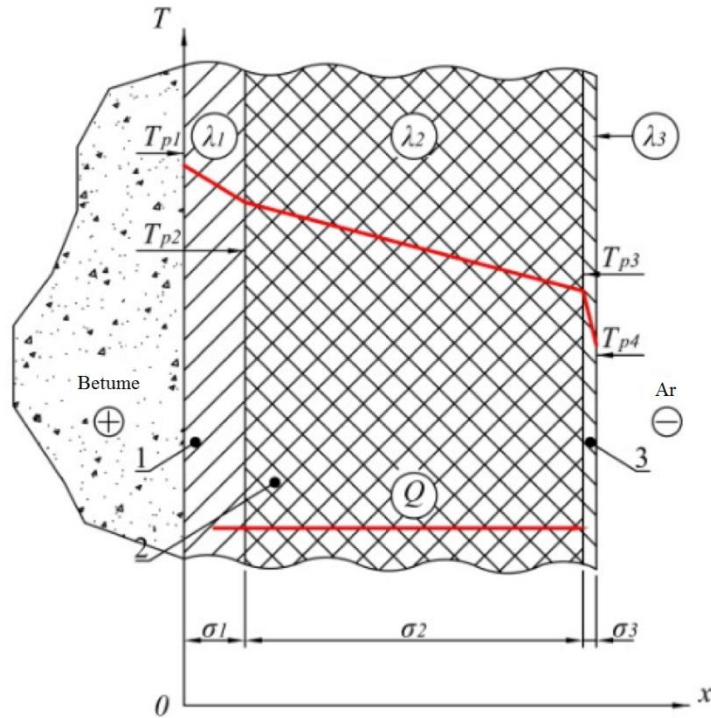


Figura 22 - Esquema das camadas das paredes dos tanques de betume (12).

Neste caso, é conveniente calcular a capacidade de manutenção de temperatura do betume dentro do tanque. Para tal, têm-se em conta as seguintes características não só do betume, como também dos tanques que o armazenam, apresentadas nas Tabela 14 e 15, respetivamente.

Tabela 14 - Características do betume presente nos tanques de armazenagem (10, 45).

Densidade (kg/m^3)	1105,39
Calor específico ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)	2,150
Coefficiente de transferência térmica ($\text{W/m}^2\text{C}$)	100

Tabela 15 - Características dos tanques de armazenagem de betume (10, 28, 30).

Características	TK 5640 a TK 5642	TK 5645 a TK 5650
Diâmetro (m)	9,150	12,006
Nível máximo de betume (m)	9,2	9,7
Material do tanque	Aço	
Espessura do tanque (mm)	50	
Condutividade térmica do tanque ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	50	
Isolamento do tanque	Lã de rocha	
Espessura do isolamento (mm)	60	
Condutividade térmica do isolamento ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	0,058	

Para além dos dados apresentados nas Tabelas 14 e 15, consideram-se as condições atmosféricas representadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Características do vapor de média pressão e da atmosfera (46, 47).

Temperatura ambiente (média anual) (°C)	15
Coeficiente de transferência térmica do ar (W/m°C)	30

Os cálculos apresentados seguidamente, são realizadas para dois conjuntos de tanques com propriedades semelhantes, sendo um representado por 40-42 (tanques TK 5640, TK 5641 e TK 5642) e o outro por 45-50 (tanques TK 5645, TK 5646, TK 5647, TK 5648, TK 5649 e TK 5650).

Segundo a 1ª lei da termodinâmica, em regime uniforme, para um determinado Δt , vem:

$$t_a = \frac{\rho_L V c_L}{UA} \ln \frac{T_i - T_0}{T_f - T_0}$$

Onde t_a representa o tempo de arrefecimento, ρ_L a densidade do betume, V o volume de betume dentro do tanque, c_L o calor específico do betume, U o coeficiente global (médio) de transferência de calor, T_i , T_f e T_0 como temperatura inicial, final e ambiente, respetivamente.

$$40-42: \rho_L V = 668\,706,32 \text{ Kg}$$

$$45-50: \rho_L V = 1\,212\,661,64 \text{ Kg}$$

Para o cálculo da resistência térmica equivalente, sabe-se que:

$$UA = \frac{1}{R_{eq}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\alpha_i A_i} + \frac{\ln(r_{tanque}/r_0)}{2\pi L \lambda_{tanque}} + \frac{\ln(r_{iso}/r_{tanque})}{2\pi L \lambda_{iso}} + \frac{\ln(r_{rev}/r_{iso})}{2\pi L \lambda_{rev}} + \frac{1}{\alpha_e A_e}$$

Onde R_{eq} representa a resistência equivalente à transferência de calor, α_i o coeficiente de transferência térmica interna (do betume), A_i a área interna de contacto entre o betume e o tanque, r_0 o raio interno do tanque, r_{tanque} o raio externo do tanque, r_{iso} o raio do isolamento, r_{rev} o raio do revestimento da chapa do tanque, L o nível de betume dentro do tanque, λ_{tanque} , λ_{iso} e λ_{rev} a respetivamente à condutividade térmica do tanque (aço), do isolamento (lã de rocha) e do revestimento (chapa de alumínio), α_e o coeficiente de transferência térmica externa (do ar) e A_e a área de contacto do ar com o tanque.

$$40-42: R_{eq} = 4,01 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}/W$$

$$45-50: R_{eq} = 2,91 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}/W$$

Considerado para 40-42 $T_i = 160^\circ\text{C}$ e $T_f = 159^\circ\text{C}$ e para 45-50 $T_i = 170^\circ\text{C}$ e $T_f = 169^\circ\text{C}$, devido à temperatura inicial do betume que costumam receber da fábrica e $T_0 = 15^\circ\text{C}$ (temperatura ambiente) vem:

$$40-42: t_a = 11,1 \text{ h}/^\circ\text{C}$$

$$45-50: t_a = 13,7 \text{ h}/^\circ\text{C}$$

De modo a poder comparar com os resultados práticos, vem:

$$40-42: \Delta T_{perdido} = 2,17^\circ\text{C}/dia$$

$$45-50: \Delta T_{perdido} = 1,76^\circ\text{C}/dia$$

Ou seja, teoricamente, os tanques TK 5640, TK 5641 e TK 5642 deveriam perder $2,17^\circ\text{C}/dia$, enquanto, por sua vez, os tanques TK 5645, TK 5646, TK 5647, TK 5648, TK 5649 e TK 5650 deveriam sofrer um decréscimo de $1,76^\circ\text{C}/dia$.

6.2. Consumo de vapor dos equipamentos de aquecimento

Para que seja possível comparar com os valores obtidos através do estudo realizado aos equipamentos do PBN, é calculado o consumo de dois conjuntos de tubagens.

6.2.1. Troço de linha de Vapor

Na Figura 23, ilustra-se uma secção de tubagem de vapor à imagem da realidade do PBN. Tal tubagem é em aço ao carbono, envolta por um isolamento de lã de rocha e, por último, revestido por uma chapa de alumínio. Deve-se, no entanto, acrescentar que para na Figura 23 a chapa metálica não se encontra representada.

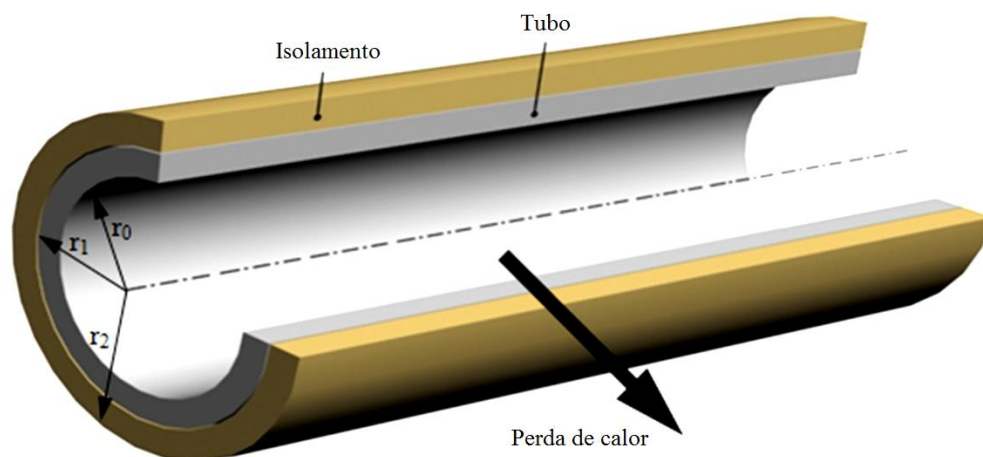


Figura 23 - Secção de tubagem de vapor (48).

As características do tubo de VMP estão representadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Características do conjunto da tubagem de VMP (10, 27, 46).

Comprimento do tubo de VMP (m)	250
Material do tubo de VMP	Aço ao carbono
Diâmetro do tubo de VMP	6' ($\approx 150\text{mm}$)
Espessura do tubo de VMP (mm)	5
Condutividade térmica do tubo de VMP ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	50
Material do isolamento	Lã de rocha
Espessura do isolamento (mm)	50
Condutividade térmica do isolamento ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	0,066
Material do revestimento	Chapa de alumínio
Espessura do revestimento (mm)	0,8
Condutividade térmica do revestimento ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	270

É também necessário definir as condições que o tubo em causa está sujeito. Tais condições estão ilustradas na Tabela 18.

Tabela 18 - Características do vapor de média pressão e da atmosfera (46, 47).

Coefficiente de transferência térmica do vapor ($\text{W/m}^2\text{K}$)	6000
Temperatura ambiente (média anual) ($^\circ\text{C}$)	15
Coefficiente de transferência térmica do ar ($\text{W/m}^2\text{K}$)	30

Para além destes fatores, existem certas camadas que se formam durante o processo que também devem ser tidas em conta no cálculo do consumo de vapor. Tais camadas são apresentadas na Figura 24.

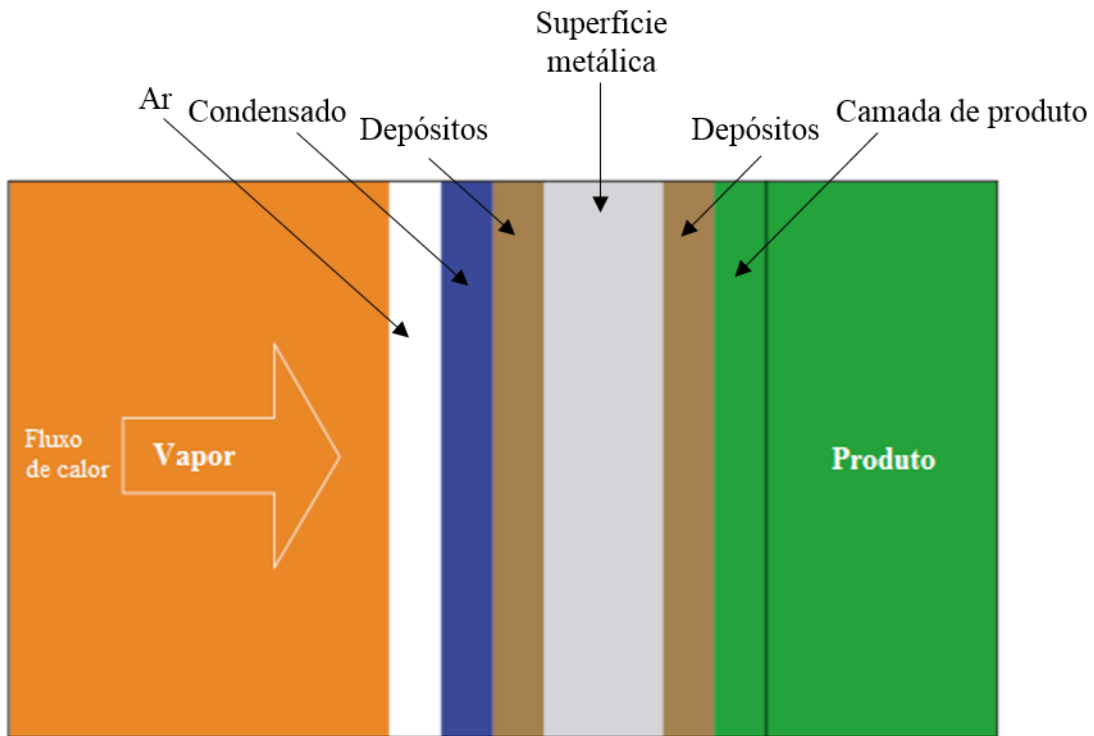


Figura 24 - Camadas formadas na transferência de calor (46).

Neste caso, consideram-se apenas as camadas entre o vapor (a laranja) e a superfície metálica do tubo (a cinzenta). Deste modo, apresentam-se as características das camadas de ar, de condensado e de depósitos na Tabela 19.

Tabela 19 - Características das camadas de ar, de condensado e de depósito entre o vapor e a superfície do tubo (46).

Espessura da camada de ar (mm)	0,2
Condutividade térmica da camada de ar (W/m°C)	0,025
Espessura da camada de condensado (mm)	0,2
Condutividade térmica da camada de ar (W/m°C)	0,4
Espessura da camada de depósito (mm)	0,2
Condutividade térmica da camada de depósito (W/m°C)	0,5

Apresentam-se, de seguida, os cálculos teóricos do consumo de vapor deste desta linha (tubagem de vapor).

Primeiramente, define-se a equação para o fluxo de calor:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{eq}}$$

$$\begin{aligned}
 R_{eq} &= \frac{1}{\alpha_i A_i} + \frac{\ln(r_{C.cond}/r_{C.ar})}{2\pi L \lambda_{ar}} + \frac{\ln(r_{C.suj}/r_{C.cond})}{2\pi L \lambda_{cond}} + \frac{\ln(r_0/r_{C.suj})}{2\pi L \lambda_{suj}} + \frac{\ln(r_{aço}/r_0)}{2\pi L \lambda_{aço}} + \frac{\ln(r_{iso}/r_{aço})}{2\pi L \lambda_{iso}} \\
 &+ \frac{\ln(r_{rev}/r_{iso})}{2\pi L \lambda_{Al}} + \frac{1}{\alpha_e A_e}
 \end{aligned}$$

Onde R_{eq} é a resistência equivalente à transferência térmica, α_i o coeficiente de transferência térmica do vapor, A_i a área de contacto entre o vapor e o tubo, $r_{C.ar}$ o raio da camada de ar, $r_{C.cond}$ o raio da camada de condensado, r_{suj} o raio da camada de depósitos, r_0 o raio interno do tubo, $r_{aço}$ o raio do tubo de aço, r_{iso} o raio da camada de isolamento, r_{rev} o raio do revestimento, λ_{ar} , λ_{cond} , λ_{suj} , $\lambda_{aço}$, λ_{iso} , λ_{Al} como condutividade térmica do ar, condensado, depósitos, aço, isolamento e alumínio, respetivamente, L o comprimento do tubo de vapor de média pressão, α_e o coeficiente de transferência térmica do ar e A_e a área de contacto do revestimento do tubo com a atmosfera.

$$R_{eq} = 4,9 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\Delta T = T_{vapor} - T_{ambiente}$$

$$\Delta T = 182,32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 35\,743,2 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \Delta T}$$

Dado que $C_p \text{ } \acute{a}\text{gua}(T = 200^\circ\text{C}) = 2819,7 \text{ J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$ (30), vem:

$$\dot{m} = 246,67 \text{ Kg}/\text{h}$$

Para $p = 15 \text{ bar}$ e $T = 198,32^\circ\text{C}$, então a densidade do vapor é $\rho = 7,596 \text{ Kg}/\text{m}^3$ (30). Assim, representa-se o caudal mássico (\dot{m}) como:

$$\dot{m} = \dot{v} \rho$$

Onde \dot{v} representa o caudal volúmico de vapor consumido, ou seja, desperdiçado para atmosfera.

$$\dot{v} = 32,47 \text{ m}^3/\text{h}$$

Assim, afirma-se que o consumo teórico da linha de vapor é de 32,47 m³/h.

6.2.2. Linha de Betume

A tubagem de betume é bastante semelhante à de vapor. No transporte de betume, um dos grandes objetivos é fazer com que a sua temperatura não baixe, de modo a que seja possível este tornar-se fluído suficiente para ser transportado e armazenado no tanque. Para além disso, quanto maior a temperatura do betume dentro do tanque, menor terá que ser o consumo de vapor para o aquecer e, conseqüentemente, maior será a eficiência energética do processo.

O isolamento faz reduzir a taxa de perdas caloríficas do betume, mas infelizmente, nenhum isolamento é 100% eficiente. Deste modo, torna-se necessário recorrer ao vapor para manter a temperatura do betume até ao tanque. Para tal, tubos de pequeno diâmetro acompanham a linha de betume ao longo do seu comprimento, estando ligadas à mesma. Tais tubos são intitulados de traçagens de aquecimento. Estes equipamentos permitem que o calor seja transmitido por condução para a linha de betume (49).

Na Figura 25, é possível observar como, normalmente, são instaladas as traçagens de aquecimento nos tubos onde circulam produto que necessita de ser mantido a temperaturas elevadas.

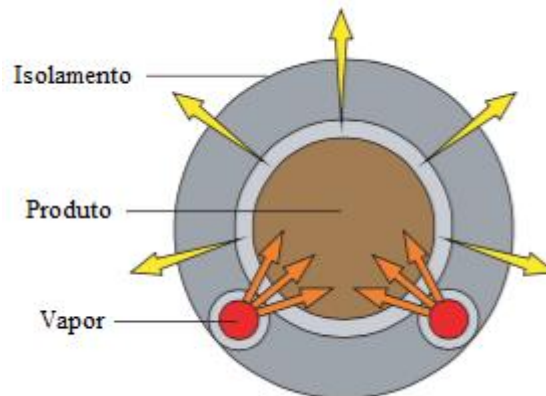


Figura 25 - Exemplo de trocas de calor de um tubo de betume com isolamento e duas traçagens de aquecimento (46).

Com a finalidade de obter resultados o mais próximo possível da realidade, recorrem-se a catálogos de empresas de renome na indústria do vapor. Deste modo, seguem-se os passos sugeridos no catálogo da empresa “Spirax Sarco” (49). De acordo com as indicações do mesmo, o diâmetro do tubo, espessura do isolamento e a diferença entre temperatura do produto com a temperatura ambiente definem a perda calorífica do tubo de betume isolado por metro de linha. Deste modo, a perda calorífica do tubo de betume isolado ($\dot{Q}_{t.bet}$) vem:

$$\dot{Q}_{t.bet} = 116 \text{ W/m}$$

Seguidamente, estima-se a taxa de transferência de vapor das traçagens de aquecimento para o tubo de betume. Para tal, devido à inexistência de valores no catálogo para uma pressão de 15 bar, realiza-se uma aproximação tendo em conta o padrão observado no mesmo para a temperatura de betume em causa para saber o valor do calor transferido através das traçagens de aquecimento (\dot{Q}_{tra}).

Assim, vem:

$$\dot{Q}_{tra} = 50 \text{ W/m}$$

Para o cálculo do caudal mássico consumido (\dot{m}), vem (49):

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{tra} \times L \times 3,6}{h_{fg}}$$

Onde L representa o comprimento do tubo e h_{fg} a entalpia para a pressão em causa (15 bar).

$$\dot{m} = \frac{116 \times 150 \times 3,6}{1947,3}$$

$$\dot{m} = 32,17 \text{ Kg/h}$$

Deste modo, segundo o catálogo em causa, seriam necessárias apenas 3 traçagens de aquecimento, onde cada uma debitará 2,68 kg/h por cada troço de 50 m.

Para que seja possível comparar com os valores registados no caudalímetro da FI5901, converte-se o valor do caudal mássico calculado para caudal volúmico.

$$\dot{m} = \dot{v}\rho$$

$$\dot{v} = 4,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Deve-se, no entanto, apontar que este consumo será ligeiramente maior, dado que a condutividade térmica do isolamento usado no método anterior é de 0,05 W/m°C e a condutividade térmica teórica do isolamento utilizado no PBN é 0,066 W/m°C. Deste modo, assume-se um valor sobredimensionado do caudal volúmico de vapor consumido pelas traçagens de betume de 8,00 m³/h.

6.2.3. Serpentinhas dos Tanques de Betume

Na base do seu interior, os tanques de betume possuem serpentinhas de aquecimento a vapor. Na Tabela 20, apresentam-se as características dos comprimentos e espessuras das serpentinhas.

Tabela 20 - Características das serpentinhas dos tanques de betume (3).

Características	TK 5640 a TK 5642	TK 5645 a TK 5650
Material		Aço
Comprimento (m)	178	110
Espessura (mm)		1

Posto isto, calcula-se o consumo teórico de cada conjunto de serpentinhas dos tanques de betume.

A potência calorífica (\dot{Q}) é definida pela seguinte equação:

$$\dot{Q} = UA\Delta T$$

Onde U representa a coeficiente global de transferência de calor, A a área de contacto do exterior das serpentinhas com o betume e ΔT a diferença de temperatura do vapor no interior das serpentinhas e o betume armazenado dentro do tanque.

A resistência equivalente (R_{eq}) pode ser expressada através da seguinte equação:

$$R_{eq} = \frac{1}{UA}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\alpha_i A_i} + \frac{\ln(r_{C.cond}/r_{C.ar})}{2\pi L \lambda_{ar}} + \frac{\ln(r_{dep}/r_{C.cond})}{2\pi L \lambda_{C.cond}} + \frac{\ln(r_0/r_{dep})}{2\pi L \lambda_{depV}} + \frac{\ln(r_{aço}/r_0)}{2\pi L \lambda_{aço}} + \frac{\ln(r_{depB}/r_{aço})}{2\pi L \lambda_{depB}} + \frac{\ln(r_{C.bet}/r_{dep})}{2\pi L \lambda_{C.bet}} + \frac{1}{\alpha_{bet} A_{bet}}$$

Onde α_i é o coeficiente de transferência térmica do vapor, A_i a área de contacto entre o vapor e a serpentina, $r_{C.ar}$ o raio da camada de ar, $r_{C.cond}$ o raio da camada de condensado, r_{depV} o raio da camada de depósitos do lado do vapor, r_0 o raio interno da serpentina, $r_{aço}$ o raio externo da serpentina, r_{depB} o raio da camada de depósitos do lado de betume, $r_{C.bet}$ o raio da camada do produto (betume), λ_{ar} , $\lambda_{C.cond}$, λ_{depV} , $\lambda_{aço}$, λ_{depB} , $\lambda_{C.bet}$ como condutividade térmica do ar, condensado, depósitos no lado de vapor, aço, depósitos no lado de betume e da camada de betume, respetivamente, L o comprimento da serpentina, α_{bet} o coeficiente de transferência térmica do betume e A_{bet} a área de contacto do betume com a serpentina.

$$40-42: R_{eq} = 15,2 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}/W$$

$$45-50: R_{eq} = 9,4 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}/W$$

Considerando o pior cenário, onde as temperaturas dos tanques são respetivamente $T = 140^\circ\text{C}$ e $T = 150^\circ\text{C}$ para os conjuntos 40-42 e 45-50 e que a temperatura do vapor é $T = 198,32^\circ\text{C}$, vem:

$$40-42: \dot{Q} = 38\,283,67 \text{ W}$$

$$45-50: \dot{Q} = 51\,319,66 \text{ W}$$

De modo a saber o caudal mássico consumido, vem:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_e - h_s)$$

Onde h_e e h_s representam a entalpia do vapor à entrada e do condensado à saída do tanque de betume.

Tendo em conta que $p = 15 \text{ bar}$ e $T = 198,32^\circ\text{C}$, então:

$$\rho = 7,596 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$h_e = 2\,792,2 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$h_s = 844,89 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$40-42: \dot{m} = 70,76 \text{ Kg}/h$$

$$45-50: \dot{m} = 94,87 \text{ Kg}/h$$

Para ser possível comparar com os resultados práticos, converte-se para caudal volúmico (\dot{v}):

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Onde \dot{m} é o caudal mássico e ρ a densidade do vapor.

$$40-42: \dot{v} = 9,32 \text{ m}^3/h$$

$$45-50: \dot{v} = 12,49 \text{ m}^3/h$$

Tal como esperado, os tanques com maiores dimensões (tanques 45-50) e, por isso, com serpentinas de maior comprimento, teoricamente, consomem mais vapor do que aqueles de menores dimensões (tanques 40-42).

6.2.4. Permutadores dos Tanques de Betume

Infelizmente, não foi possível encontrar as características dos permutadores de calor suficientes para a realização dos cálculos teóricos do seu consumo de vapor no departamento de arquivos dos equipamentos da Refinaria de Matosinhos. Deste modo, não será possível comparar os resultados práticos obtidos dos permutadores de calor dos tanques de betume.

6.2.5. Resumo dos cálculos efetuados

Em jeito de conclusão deste capítulo, apresentam-se todos os resultados dos cálculos efetuados relativos aos tanques de betume e às linhas nas Tabelas 21 e 22, respetivamente.

Tabela 21 - Decréscimo de temperatura e consumo das serpentinas do conjunto de tanques 40-42 e 45-45 teóricos.

Conjunto de tanques	Decréscimo de temperatura nos tanques (°C/dia)	Consumo das serpentinas dos tanques (m ³ /h)
40-42	2,17	9,32
45-50	1,76	12,49

Tabela 22 - Consumos da linha de vapor e de betume teóricos.

Equipamento	Consumo (m ³ /h)
Linha de vapor	32,47
Linha de betume	8,00

Parte B.

ESTUDO PRÁTICO

7. Estudo da influência dos equipamentos de aquecimento na temperatura de betume e do consumo de vapor

No presente capítulo irão ser abordados os três diferentes estudos realizados:

- Temperatura do betume na armazenagem;
- Influência dos permutadores;
- Consumo dos equipamentos de aquecimento.

Para cada estudo, apresenta-se o seu objetivo, procedimento, resultados obtidos e discussão dos mesmos. Os resultados obtidos neste capítulo irão permitir efetuar comparações com o estudo teórico previamente abordado e, deste modo, retirar conclusões sobre os equipamentos da unidade de betumes.

De maneira a facilitar a interpretação da informação apresentada por parte do leitor, os tanques e equipamentos de aquecimento irão ser representados consoante o exemplo da Figura 26.

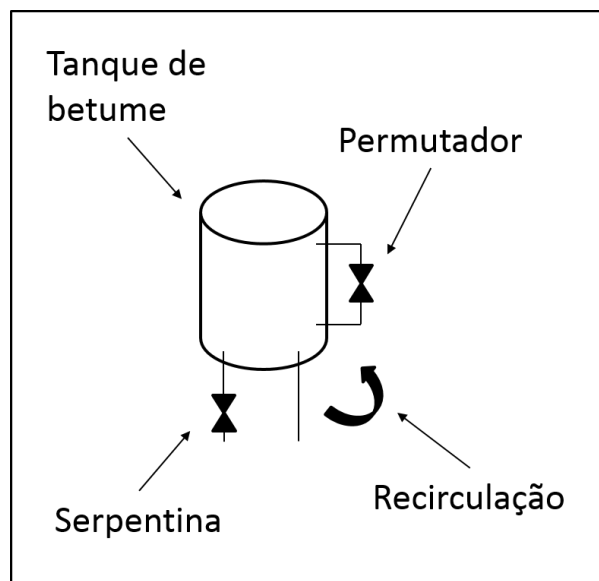


Figura 26 - Representação do esquema de um tanque da unidade de betumes.

As cores dos símbolos da serpentina, permutador e recirculação representam o seu estado no estudo em causa. Para a serpentina e permutador, caso estejam a vermelho, representa que as suas válvulas se encontravam fechadas. No caso de serem verdes, representam o oposto. Para a recirculação, o vermelho indica que o betume se encontrava em repouso dentro do tanque. A verde, representa que o betume se encontrava a recircular, ou seja, a sair do tanque, a passar na bomba e a voltar a entrar por cima do tanque.

7.1. Temperatura do betume na armazenagem

7.1.1. Objetivo

Com a finalidade de caracterizar a evolução da temperatura dentro dos tanques de betume, os tanques foram sujeitos a vários testes. A Figura 27 representa os 3 testes diferentes. No caso a), o tanque não tem qualquer aquecimento e o betume mantém-se dentro do tanque. Já no caso b), regista-se o comportamento da temperatura do betume com a válvula da serpentina aberta. Por último, no caso c), procede-se à recirculação do produto dentro do tanque com as válvulas da serpentina e do permutador abertas. O caso c) difere dos outros na medida em que o produto se encontra a sair pela linha de expedição, circula pelas linhas de betume e volta a entrar no mesmo tanque.

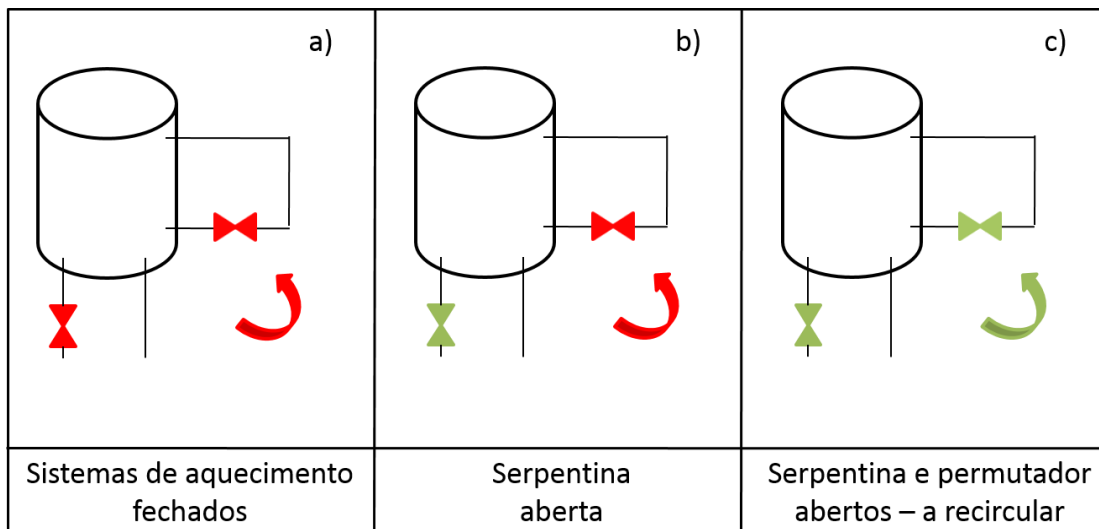


Figura 27 - Ilustração dos 3 testes diferentes utilizados para caracterizar a temperatura de armazenagem dos tanques de betume; a) Tanque sem aquecimento; b) Aquecimento apenas com válvula da serpentina aberta; c) Aquecimento através da recirculação de betume com válvulas da serpentina e do permutador abertos.

7.1.2. Procedimento

Os estudos em causa tiveram as seguintes considerações:

- O nível de betume do tanque em estudo tinha que ser, pelo menos, de 8 metros. Define-se esta condição devido a um limite imposto pela sonda de temperatura instalada nos tanques, pois estes equipamentos efetuam a medição da temperatura total desde o topo até ao fundo do tanque, acabando por medir certa parte do ar/gases contidos no tanque.
- Para o caso a), nunca se permitia a temperatura descer abaixo de certos níveis, dependendo da classe de betume em estudo. Tais temperaturas foram definidas de modo a evitar problemas na operação normal do PBN, pois o betume trata-se de um produto muito viscoso e, por isso, difícil de aquecer num curto espaço de tempo. Deste modo, assumiu-se que 20°C abaixo da temperatura de expedição (definidas na Tabela 4) seria um valor razoável para limite mínimo. Na Tabela 23 estão definidas as temperaturas limite para o estudo da evolução da temperatura do betume.

Tabela 23 - Definição das temperaturas limite para o estudo da evolução da temperatura do betume de cada tanque, dependendo da classe.

Classe de betume	Temperatura mínima (°C)
35/50	140
50/70	130
160/220	125

- Para que a amostra seja significativa, definiu-se no mínimo 72 horas de estudo para os casos a) e b). No caso c), como em alguns casos só seria possível recircular um tanque de betume durante o fim de semana, devido a limites impostos pela operação do PBN, estes estudos poderiam rondar as 48 horas.
- Foram criadas folhas de registo da temperatura dos tanques em estudo para o operador do painel de controlo preencher de duas em duas horas. Deste modo, no início de cada turno, todos os operadores poderiam tomar conhecimento do estudo que decorria no momento. Este método foi também o escolhido para o controlo da temperatura e sua aproximação da temperatura limite. Podem ser consultadas as folhas de registo realizadas para o efeito no Anexo B.
- No início de cada estudo, certificava-se a posição da válvula desejada consoante o pretendido não só no sistema Honeywell (sistema automático de controlo das válvulas do PBN), como também no terreno. Tomou-se esta medida pois no decorrer dos estudos, verificou-se mais do que uma vez que, por vezes, a ordem de fecho ou abertura no sistema localizado no painel de controlo não fazia atuar as válvulas no campo.
- Foram definidos agrupamentos de tanques que se assemelhavam em termos geométricos e que armazenavam a mesma classe de betume. Esta divisão teve como finalidade fazer analogias de resultados para tanques que não foram estudados de maneira a não comprometer a operação normal do PBN. Os agrupamentos encontram-se definidos na Tabela 24. O TK 5642 é o único tanque que não possui agrupamento, apesar de ter as mesmas dimensões que os tanques TK 5640 e TK 5641, armazena a classe de betume 50/70, sendo, por isso, diferente em todos os sentidos dos outros tanques.

Tabela 24 - Agrupamento de tanques consoante as suas dimensões e classe de betume.

Agrupamento de tanques	Tanques	Classe de betume
Agrupamento A	TK 5640	160/220
	TK 5641	160/220
Sem agrupamento	TK 5642	50/70
Agrupamento B	TK 5645	50/70
	TK 5646	50/70
	TK 5647	50/70
Agrupamento C	TK 5648	35/50
	TK 5649	35/50
	TK 5650	35/50

- De maneira a que fosse possível os operadores compreenderem a sua função durante o registo das temperaturas e, acima de tudo, compreenderem o quê e porque razão o estavam a fazer, foram realizadas instruções com os procedimentos a seguir (Anexo C). Para além disso, foi sempre realizado um esforço para explicar pessoalmente aos operadores a finalidade do estudo e o que deveria ser feito para o seu sucesso
- O sistema RTDB regista os dados da temperatura e nível de produto de todos os tanques e faz automaticamente gráficos para um espaço de tempo a definir pelo utilizador. Deste modo, torna-se possível saber a evolução exata das temperaturas ao longo do tempo de todos os tanques.

7.1.3. Resultados

Tal como se suspeitava no início do estudo, não foi possível concluir o estudo para os 9 tanques, ou seja, para os 27 estudos diferentes. Deste modo, apresentam-se os resultados obtidos na Tabela 25 dos estudos realizados e das analogias sugeridas pelo agrupamento de tanques previamente definido. Todos os dados apresentados na Tabela 25 representam a evolução da temperatura do betume dentro de um tanque por dia. Tais evoluções de temperatura representam-se no Anexo D. Apresentam-se, também, a média e desvio padrão para o conjunto de tanques 40-42 e 45-50 (tanques com características dimensionais semelhantes).

Tabela 25 - Evolução da temperatura por dia para os casos a) Sistemas de aquecimento fechados; b) Serpentina aberta ($^{\circ}\text{C}/\text{dia}$); c) Serpentina e permutador abertos – a recircular.

Tanque	a) Sistemas de aquecimento fechados ($^{\circ}\text{C}/\text{dia}$)	b) Serpentina aberta ($^{\circ}\text{C}/\text{dia}$)	c) Serpentina e permutador abertos – a recircular ($^{\circ}\text{C}/\text{dia}$)
TK 5640	$\searrow 3,7^*$	$\nearrow 0,36^*$	$\nearrow 2,54^*$
TK 5641	$\searrow 3,7$	$\nearrow 0,36$	$\nearrow 2,54^{***}$
TK 5642	$\searrow 3,7$	≈ 0	--
Média	$\searrow 3,7$	$\nearrow 0,24$	$\nearrow 2,54$
Desvio padrão	0	0,21	0
TK 5645	$\searrow 3,7$	≈ 0	--
TK 5646	$\searrow 2,4^{**}$	$\nearrow 1,2^{**}$	--
TK 5647	$\searrow 3^*$	$\nearrow 0,6^*$	--
TK 5648	$\searrow 2,5$	$\nearrow 1,8$	$\nearrow 3,3$
TK 5649	$\searrow 2,9$	$\nearrow 1,8^*$	$\nearrow 6,2$
TK 5650	$\searrow 2,7$	$\nearrow 1,8^*$	$\nearrow 4,75^*$
Média	$\searrow 2,87$	$\nearrow 1,2$	$\nearrow 4,75$
Desvio padrão	0,47	0,76	1,45

* Obtidos por média do agrupamento de tanques pertencente

** Estudado a partir da anotação manual do operador através do sensor de temperatura da serpentina do TK 5646 (sonda de temperatura deste tanque encontrava-se fora de serviço durante o estudo do mesmo)

*** Momento antes do fim da recirculação, observou-se que o permutador se encontrava fechado no sistema de controlo de válvulas do PBN e válvula encontrava-se aberta no terreno

Não foram realizados estudos para a recirculação do TK 5642 porque, geralmente, o betume contido neste tanque é expedido para “B2bags” – uma empresa que se situa nas instalações do PBN que expede sacos de betume de 1 tonelada ou 100 kg. Para tal, não necessitam que o betume esteja à temperatura de 145°C. Deste modo, torna-se desnecessário saber o aumento de temperatura com recirculação deste tanque, pois este procedimento, em condições normais, não faz parte da operação do PBN. Já o estudo da recirculação dos tanques TK 5645 ao TK 5647 não foram realizados devido à indisponibilidade dos mesmos por parte da operação normal. Tal como mencionado anteriormente, a classe 50/70 é a mais expedida de todas as classes, fazendo com que estes tanques não tivessem as condições necessárias para a realização do estudo da influência da recirculação na temperatura do betume.

Para ter uma noção do espaço temporal para o estudo de cada tanque, apresenta-se na Tabela 26 os dias e horas para cada um dos estudos realizados.

Tabela 26 - Período de tempo do estudo da evolução da temperatura dos tanques de betume.

Tanque	a) Sistemas de aquecimento fechados (°C/dia)	b) Serpentina aberta (°C/dia)	c) Serpentina e permutador abertos – a recircular (°C/dia)
TK 5640			
TK 5641	5 dias, 22 horas	8 dias, 7 horas	2 dias, 4 horas
TK 5642	3 dias, 6 horas	3 dias, 20 horas	--
TK 5645	2 dias, 5 horas	3 dias, 12 horas	--
TK 5646	7 dias, 8 horas	3 dias, 3 horas	--
TK 5647			--
TK 5648	5 dias, 19 horas	2 dias, 2 horas	2 dias
TK 5649	6 dias, 19 horas		3 dias, 23 horas
TK 5650	3 horas, 3 horas		

7.1.4. Discussão de resultados

Primeiramente, deve-se mencionar que não foi possível executar todos os 27 estudos, o que seria o caso ideal para o estudo do comportamento individual de cada tanque. Dentro de cada agrupamento, apesar dos tanques possuírem características semelhantes e armazenarem o mesmo produto, o estado dos equipamentos pode diferir de tanque para tanque. Deste modo, os resultados obtidos por analogia pelo seu agrupamento, acabam por ser estimativas.

Ao analisar o estudo a), da evolução da temperatura dos tanques com os sistemas de aquecimento fechados, observa-se um padrão no grupo de tanques 40-42 mais acentuado do que no grupo 45-50.

No segundo conjunto, o TK 5645 apresenta um decréscimo de temperatura mais acentuado quando comparado com os tanques do mesmo grupo de cerca de 1°C, logo, o seu isolamento poderá estar danificado ou não ter sido implementado devidamente. Os outros dados obtidos não apresentam valores muito distantes uns dos outros.

Relativamente à influência da serpentina de cada tanque na temperatura do betume (estudo b)), observa-se que este equipamento tem uma baixa influência no aumento de temperatura do betume por dia. No conjunto 40-42, pode-se considerar que a serpentina tem praticamente a função de manter a temperatura. Já para os tanques 45-50, pode-se observar um aumento de temperatura de, pelo menos, 1,2°C. O tanque que apresenta valores com uma discrepância considerável é o TK 5645. Tendo em conta o que foi mencionado no parágrafo anterior, considera-se que o suposto aumento que a serpentina deste tanque iria transmitir à temperatura do betume é desperdiçado para a atmosfera, possivelmente devido ao mau isolamento do mesmo.

Finalmente, para o estudo c), observa-se que a recirculação, com a serpentina e permutador dos tanques abertos, tem uma influência de, pelo menos, 2,54°C para os tanques 40-42 e de, pelo menos, 3,3°C para o outro conjunto. Este foi o estudo com menor número de amostras, pois só era possível realizar durante o fim de semana e é necessária uma bomba disponível para executar a recirculação. Devido à normal operação do PBN e ao número limitado de bombas para cada tanque, os tanques que se encontravam a expedir betume para o cliente eram prioritários de recircular ao fim de semana. Outro fator que levou ao baixo número de testes é o facto da necessidade de recirculação de betume cada vez que uma amostra de betume, após análise laboratorial, se encontra fora das especificações acordadas com o cliente.

7.1.5. Comparação com estudo teórico

Apresentam-se, na Tabela 27, os valores calculados na teoria e registados na prática para o estudo prático a) (decréscimo de temperatura temperatura do betume com sistemas de aquecimento fechados).

Tabela 27 - Comparação dos valores teóricos e práticos do decréscimo de temperatura dos tanques de betume dos conjuntos 40-42 e 45-50.

Conjunto de tanques	Decréscimo de temperatura (°C)		Diferença (°C)
	Valores teóricos	Valores práticos	
40-42	2,17	3,7	1,53
45-50	1,76	2,87	1,11

Para o conjunto de tanques 40-42 e 45-50 entre o calculado e medido é de 1,53°C e de 1,11°C, respetivamente. Tal diferença poderá ser explicada por possíveis fugas de calor não contempladas nos cálculos realizados e que não se deveriam suceder.

7.2. Influência dos Permutadores

7.2.1. Objetivo

O permutador de choque tem como principal função aquecer o produto à saída do tanque antes de entrar na cisterna dos clientes. Todos os tanques do betume possuem este equipamento. Como tal, torna-se necessário saber qual o efeito dos permutadores na temperatura de expedição. A Figura 28 representa uma ilustração dos testes realizados. Ambos os testes foram realizados com a serpentina aberta, diferindo apenas no modo de operação do permutador. No caso a), o permutador encontrava-se desligado e no caso b) o oposto.

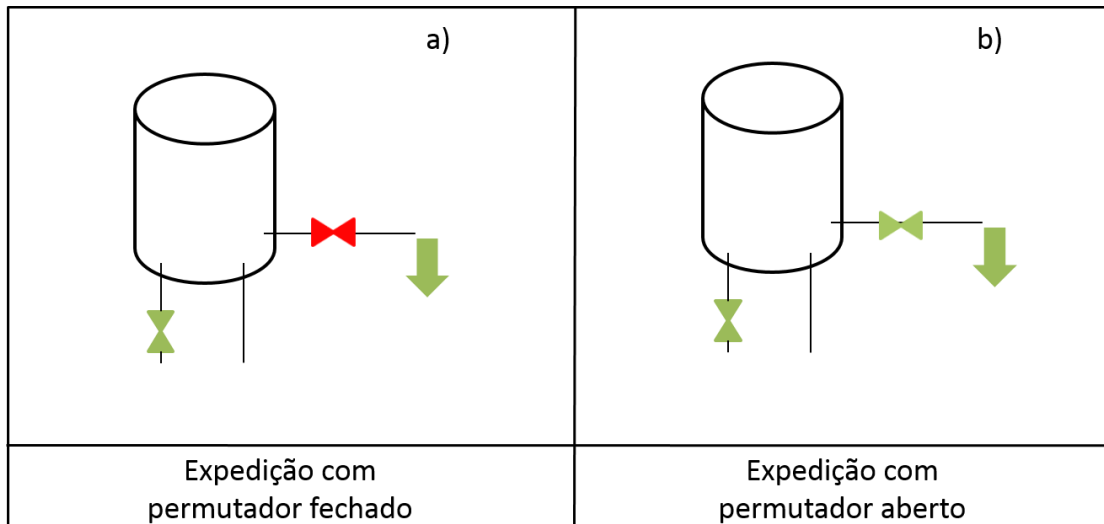


Figura 28 - Ilustração dos 2 testes diferentes utilizados para caracterizar a influência dos permutadores dos tanques de betume; a) Expedição com a válvula do permutador fechada; b) Expedição com a válvula do permutador aberta.

O método adotado para estudar a influência dos permutadores permitiu o estudo de outros sensores de temperatura da unidade de betumes. Tais sensores são importantes não só a nível operacional (sensores da serpentina e permutador), como também a nível de relação com os clientes (temperatura registada no programa COTAS).

7.2.2. Procedimento

Os fatores que foram tidos em conta foram os seguintes:

- Apesar de existirem diversos sensores de temperatura presentes nos tanques e nos cais de expedição, optou-se por utilizar um método comum para a definição da temperatura de expedição. Tal método baseou-se na medição da temperatura do betume dentro da cisterna dos clientes após expedição com uma sonda de temperatura digital (Pt100).
- Para todas as medições, eram registadas naquele momento as temperaturas dos seguintes sensores:
 - Sonda digital
 - Programa ENTIS
 - Programa COTAS
 - Braço de enchimento
 - Serpentina
 - Permutador

As folhas de registo destas medições encontram-se no Anexo E e as instruções para o seu preenchimento no Anexo F.

- Todas as medições eram válidas apenas quando o nível de betume se encontrava acima dos 4 metros. Esta medida foi tomada para que a temperatura registada no programa ENTIS, resultante da medição da sonda de temperatura localizada dentro do tanque, não fosse demasiado influenciada pelo ar/gases que se encontravam dentro do tanque. Note-se que tais sondas de temperatura realizam a média desde o topo até à base dos tanques de betume. Desta forma, para uma hipotética temperatura real de betume dentro do tanque, o programa ENTIS indicará uma temperatura mais acertada quanto maior for o nível de betume dentro do tanque, sendo que o oposto se sucede para níveis de betume baixos.
- A temperatura registada no programa COTAS é de elevada importância para o PBN, pois esta é a temperatura do betume expedido que fica registada no sistema e que é posteriormente disponibilizada aos clientes, caso estes a requeiram. Esta temperatura é resultante da média dos valores lidos pelo sensor no braço de enchimento.
- O valor lido no braço de enchimento varia com o tempo durante o enchimento das cisternas dos carros-tanque. No entanto, tal valor estabiliza assim que o enchimento supera metade da sua carga. Optou-se por registar este valor para mais tarde poder ser comparado com aquele que fica registado no programa COTAS.
- Os sensores das temperaturas das serpentinas e permutadores de cada tanque permitem o controlo automático do fecho e abertura das válvulas dos mesmos. A operação da válvula automática é realizada consoante a temperatura de “set-point” inserida no programa. Caso a temperatura do sensor do equipamento de aquecimento seja inferior, então é dada a ordem de fecho da sua válvula. No caso oposto, a válvula abre, permitindo a passagem de vapor.
- Para o registo das temperaturas, foi impressa uma folha de registo que se encontrava na sala de controlo durante o período de tempo do estudo.

7.2.3. Resultados obtidos

Na Tabela 28, apresenta-se a variação de temperatura dos permutadores de calor de cada tanque na temperatura de expedição.

Tabela 28 - Influência dos permutadores dos tanques de betume na temperatura de expedição.

Tanque	Influência do permutador (°C)
TK 5640	2,88
TK 5641	1,60
TK 5642	--
TK 5645	1,24
TK 5646	1,22
TK 5647	1,55
TK 5648	1,41
TK 5649	1,92
TK 5650	3,79
Média	1,95
Desvio médio	0,92

Pela mesma razão da recirculação do tanque TK 5642 no estudo da temperatura de armazenagem não ter sido realizada, a influência do permutador do mesmo tanque também não foi analisada.

Durante o estudo em causa, através da comparação da temperatura registada pela sonda digital usada para medir a temperatura do betume dentro da cisterna dos clientes, foi possível observar algumas discrepâncias nos valores registados por outros sensores de temperatura. A Tabela 29 indica as diferenças observadas entre os sensores das serpentinas e dos permutadores. Na mesma linha de seguimento, na Tabela 30 apresenta-se a diferença de temperaturas registadas pelo programa COTAS e pelo braço de enchimento nos 4 cais de expedição antes e após a intervenção de ajuste.

Tabela 29 - Diferenças de temperatura registadas entre a sonda digital (medida dentro das cisternas dos clientes) e a serpentina e permutador dos tanques de betume.

Tanque	Diferença entre temperatura registada na sonda e na serpentina (°C)	Diferença entre temperatura registada na sonda e no permutador (°C)
TK 5640	FS	Inconclusivo
TK 5641	41,23	-1,21
TK 5642	--	--
TK 5645	FS	-0,91
TK 5646	-0,12	1; 35,62*
TK 5647	6,23	7,3
TK 5648	1,85	13,93
TK 5649	12,70	6,15
TK 5650	-8,42	11,50

FS – indica que os sensores se encontravam fora de serviço. * Verificou-se uma discrepância de 35,62°C.

Tabela 30 - Diferenças de temperatura registadas entre a sonda digital (medida dentro das cisternas dos clientes) e aquelas registadas pelo programa COTAS e braço de enchimento.

Cais de expedição	Antes da intervenção (°C)		Após a intervenção (°C)	
	Programa COTAS	Braço de enchimento	Programa COTAS	Braço de enchimento
Cais 41	8,49	7,67	?	?
Cais 42	10,57	8,31	-1,44	-2,60
Cais 43	FS	FS	?	?
Cais 44	3,43	2,15	Inconclusivo	Inconclusivo

Nota: como o cais 43 se encontrava fora de serviço, não foi possível saber qual a discrepância que este tinha para os valores registados pela sonda de temperatura. Consequentemente, o sensor de temperatura do cais 43 não teve qualquer intervenção.

Todas as medições encontram-se graficamente representadas por cada tanque estudado no Anexo G.

7.2.4. Discussão de resultados

Após a análise dos incrementos de temperatura dos permutadores de calor na expedição de betumes, é possível verificar que, em média, aumentam cerca de 2°C. Deve-se, no entanto, adiantar que os permutadores dos tanques TK 5640 e TK 5650 incrementam sensivelmente 3°C e 4°C respetivamente.

Relativamente à comparação com as temperaturas dos sensores das serpentinas e permutadores, verifica-se uma enorme discrepância entre os valores por este registado em alguns tanques. Destacam-se os sensores das serpentinas dos tanques TK 5641, TK 5647, TK 5649 e TK 5650 e os sensores dos permutadores dos TK 5646, TK 5647, TK 5649 e TK 5650. Torna-se evidente a inviabilidade de controlar a temperatura do betume através de temperatura de “set-point” realizada nestes equipamentos e uma necessidade de intervir nestes sensores.

Quando o estudo da influência dos permutadores se encontrava sensivelmente a meio, os resultados obtidos foram analisados e concluiu-se que havia uma necessidade de atuar no sensor de temperatura que regista os dados no programa COTAS e no braço de enchimento. Realce-se que tal sensor é o mesmo. Os sensores que sofreram intervenção foram os dos cais 41, 42 e 44. Infelizmente, apenas foi possível realizar medidas suficientes para aferir o estado do sensor do cais 42. As leituras deste cais tornaram-se superiores àquelas que foram medidas pela sonda de temperatura nos carros-tanque. Apesar de estarem mais perto dos valores reais, encontram-se ligeiramente acima. Os valores obtidos no cais 44 não foram suficientes para concluir qual a alteração a ser feita no sensor. Relativamente aos cais 41 e 43, não foram realizadas quaisquer medições, impossibilitando a verificação do estado destes dois cais, principalmente a do cais 41 após a sua intervenção.

Para os permutadores, não foi possível realizar o cálculo teórico da sua influência na temperatura de expedição, devido à falta de informação nos arquivos da Refinaria de Matosinhos sobre estes equipamentos.

7.3. Consumo dos equipamentos de aquecimento

7.3.1. Objetivo

Tal como foi abordado anteriormente, as unidades do PBN necessitam de vapor para manter os seus produtos armazenados a temperaturas elevadas, conforme as condições de serviço acordadas com os clientes. De modo a saber operar devidamente a unidade de betumes, foi necessário estudar o consumo de cada um dos equipamentos de aquecimento desta unidade, ou seja, não só as serpentinas e os permutadores, como também as traçagens de aquecimento. Adicionalmente, foi verificado o consumo das outras unidades do PBN, de modo a saber a necessidade das mesmas.

As unidades analisadas relativamente ao seu consumo foram as seguintes:

- Unidade de betumes
 - Serpentinhas
 - Permutadores
 - Traçagens
 - Linha de produto desde a entrada do PBN até à entrada da unidade de betumes
 - Unidade de betume (armazenagem)
 - Cais (expedição)
- Unidade de parafinas e bombas da unidade de betumes
- Unidade de combustíveis brancos e fúeis

7.3.2. Procedimento

De modo a ser possível saber o consumo de cada um dos equipamentos de aquecimento e unidades do PBN, recorreu-se ao caudalímetro FI5901 (Figura 29) localizado na entrada do PBN e ao registo realizado pelo mesmo do caudal de vapor ao longo do tempo. Para qualquer abertura/fecho de válvula correspondente ao equipamento de aquecimento com objetivo a medir o seu consumo, realiza-se uma subtração entre dois valores: a média de, pelo menos, 10 minutos antes da ação realizada numa válvula e a média de, pelo menos, 10 minutos após essa mesma ação. Durante os espaços de tempo mencionados, os valores registados pelo caudalímetro devem ser minimamente estáveis, de modo a obter um resultado do consumo fiável. Conforme mencionado nas fichas técnicas do fabricante, este equipamento não necessitam de calibração periódica.



Figura 29 - Caudalímetro (FI5901) (50).

Todas as medições do consumo das unidades referidas foram realizadas durante o fim de semana. Esta decisão foi tomada de maneira a que a operação do PBN durante a semana não fosse prejudicada, dado que ao fim de semana, das 12h00 de sábado até às 22h00 de domingo não é possível expedir produtos do PBN.

Para a maioria das medições, um operador de exterior acompanhou o procedimento, devido às precauções que se devem ter no manuseamento de equipamento da indústria petrolífera.

Para todos os estudos foi realizado um manual de procedimento (Anexo H), de modo a poder explicar aos operadores qual o objetivo do estudo e o que deveria ser feito para atingir o mesmo. Todos os procedimentos tiveram o auxílio do coordenador de parque, de maneira a garantir que os passos a seguir eram os corretos.

Durante o estudo dos consumos das serpentinas e dos permutadores da unidade de betumes, tornou-se possível testar o estado das válvulas dos equipamentos de “bypass”, ou seja, se as válvulas deste deixam passar vapor quando, supostamente, estariam 100% fechadas. Para tal, sempre que se iniciava o estudo aos consumos das serpentinas e permutadores, quer as válvulas automáticas (TICs) quer as válvulas manuais eram fechadas. Primeiramente, dava-se ordem de abertura na sala de controlo da TIC do equipamento em estudo. Caso se verificasse algum incremento no consumo, significaria que as válvulas do “bypass” estariam a dar passagem de vapor. No entanto, caso não houvesse qualquer alteração, poder-se-ia concluir que as mesmas se encontravam em boas condições. Seguidamente, a válvula manual era aberta. Neste caso, se não houvesse alteração no consumo de vapor, significaria que a válvula manual estaria em más condições e, conseqüentemente, a permitir a passagem de vapor. Por outro lado, se se verificasse um aumento no consumo, concluiria-se que ambas as válvulas da TIC e manual estavam em boas condições.

7.3.3. Resultados obtidos

Primeiramente, apresentam-se os resultados referentes aos consumos da unidade de betumes, pois trata-se do objetivo primário do estudo em causa. A Tabela 31 indica os consumos das serpentinas e dos permutadores dos tanques de betume. Na Tabela abaixo, opta-se por realizar a média e desvio padrão para os tanques com dimensões semelhantes, pois, no caso da serpentina, apresentam valores diferentes da sua dimensão. Conseqüentemente, os valores do consumo de vapor serão diferentes, à priori. São também apresentadas as temperaturas do betume no tanque no momento da medição do consumo, pois quanto menor a temperatura do betume, maior será o consumo. Por outro lado, para elevadas temperaturas do produto, menor será o consumo.

Tabela 31 - Consumo dos tanques e permutadores dos tanques de betume e média e desvio padrão dos tanques com dimensões semelhantes.

Tanque	Consumo de vapor (m ³ /h)		Temperatura do tanque durante a medição (°C)
	Serpentina	Permutador	
TK 5640	7,19	90,49	148
TK 5641	17,46	3,49	146
TK 5642	25,88	4,9	147,3
Média	16,84	32,96	
Desvio padrão	9,36	49,83	
TK 5645	41,40	19,59	144,2
TK 5646	16,93	3,07	158
TK 5647	7,42	11,27	155,6
TK 5648	20,31	0	162,5
TK 5649	19,08	7,41	169,3
TK 5650	16,99	77,57	150,3
Média	20,36	19,82	
Desvio padrão	11,27	29,11	

Durante este estudo, tornou-se possível analisar o estado das válvulas das serpentinas e dos permutadores. A Tabela 32 indica a passagem de vapor que se deu pelas válvulas durante o estudo.

Tabela 32 - Válvulas do “bypass” dos tanques de betume que permitem a passagem de vapor no estado fechado.

Tanque	Passagem de vapor do “bypass” (m ³ /h)	
	Serpentina	Permutador
TK 5640	FS	0
TK 5641	0	3,49
TK 5642	0	FS
TK 5645	FS	14,67
TK 5646	12,45	3,07
TK 5647	0	0
TK 5648	0	0
TK 5649	0	0
TK 5650	17,7	0

Seguidamente, apresentam-se os consumos das unidades do PBN na Tabela 33.

Tabela 33 - Consumos das unidades do PBN. Tanques TK 5407 e TK 5421 (UN 5400) com serpentinas abertas.

Equipamento térmico		Consumo de vapor (m ³ /h)
Traçagens da Unidade de betumes (UN 5600)	Linha de produto	16,98
	Armazenagem	238,57
	Cais	85,17
Linha de vapor (entrada PBN à UN5600)		87,68
Unidade de combustíveis brancos e fuéis (UN 5400)	Armazenagem	186,1
	Cais	94,43
Unidade de parafinas (UN 5300) e bombas da unidade de betumes		100,00

7.3.4. Discussão de resultados

Numa primeira instância, analisam-se os resultados obtidos dos consumos das serpentinas e permutadores da unidade de betumes.

Antes de qualquer análise individual aos equipamentos de aquecimento, deve-se mencionar que os valores do desvio padrão são, em geral, muito superiores para os tanques de características semelhantes. Tal facto significa que existe uma gama de valores muito dispersa da sua média e que, conseqüentemente, os equipamentos estão a consumir mais ou menos daquilo que é esperado.

Comparando com a média dos consumos dos tanques com características semelhantes, verifica-se que as serpentinas dos tanques TK 5642 e do TK 5645 e os permutadores do TK 5640 e do TK 5650 consomem quantidades de vapor relativamente maiores. Dado que as temperaturas se encontravam em valores normais, ou mais concretamente, não inferiores ao suposto, a única razão em vista para este fenómeno é o mau funcionamento dos purgadores localizados na linha de condensado logo à saída do tanque das respetivas linhas. Nesta situação, os purgadores deveriam apenas abrir na presença de condensado. No entanto, o facto das serpentinas estarem a consumir mais vapor, significa que os purgadores estão a permitir a passagem de mais vapor do que o suposto, tornando-se num fator de ineficiência energética. Deste modo, torna-se necessário rever o estado do funcionamento dos purgadores das serpentinas dos tanques TK 5642 e TK 5645 e dos permutadores dos TK 5640 e TK 5650.

Por outro lado, existem equipamentos de aquecimento que apresentam um consumo bem inferior à média. Tratam-se das serpentinas dos tanques TK 5640 e TK 5647 e de grande parte dos permutadores (TK 5641, TK 5642, TK 5646, TK 5648 e TK 5649). Existem vários fenómenos que podem explicar tais resultados. Em primeiro lugar, o mau funcionamento dos purgadores poderá estar relacionado, uma vez que na presença de condensado, podem não estar a permitir a passagem do mesmo. Conseqüentemente, as linhas ficam cheias de condensado e não permitem a troca de calor entre o vapor e o betume. Assim, sugere-se a revisão do funcionamento dos purgadores dos equipamentos em causa. Em segundo lugar, poderá existir na superfície exterior dos tubos de vapor em contacto com o betume um produto intitulado de coque. Este produto é resultante do processo de fabrico de betume na fábrica e pode solidificar junto de superfícies quentes. Esta camada extra resulta numa diminuição da troca de calor entre o vapor e o betume. Dado que em 2013 foi detetado coque no TK 5646 após abertura e limpeza deste tanque, é provável que este produto esteja a dificultar o processo de transferência térmica.

Tendo isto em conta, sugere-se a análise da existência de coque nos equipamentos com menor consumo. Por último, no caso dos permutadores, deve-se ter em conta que tais medições foram realizadas sem movimento de produto no permutador, ou seja, o mesmo volume de betume encontrava-se dentro do permutador durante a medição do consumo de vapor deste equipamento. Nesta situação, devido às traçagens situadas perto do permutador, este volume de betume poderá aquecer a elevadas temperaturas e, conseqüentemente, não se verificar uma troca de calor substancial entre o vapor e esta porção de betume. Deste modo, sugere-se que tal estudo seja realizado com movimento de betume no permutador durante uma expedição ou mesmo durante uma recirculação.

Relativamente à passagem de vapor pelo “bypass”, observa-se que as válvulas de “bypass” das serpentinas dos tanques TK 5646 e TK 5650, bem como as dos permutadores dos TK 5641, TK 5645 e TK 5646 devem ser reparadas assim que possível.

7.3.5. Comparação com estudo teórico

Apresentam-se, na Tabela 34, os valores calculados na teoria e registados na prática para o estudo do consumo dos equipamentos que foram possíveis de calcular o seu consumo teórico.

Tabela 34 - Comparação dos valores teóricos e práticos do consumo das serpentinas dos conjuntos de tanques 40-42 e 45-50, da linha de vapor e de betume.

Equipamento	Consumo de vapor (m ³ /h)		Diferença (m ³ /h)
	Teórico	Prático	
Serpentinas 40-42	9,32	16,84	7,52
Serpentinas 45-50	12,49	20,36	7,87
Linha de vapor	32,47	87,68	55,21
Linha de betume	8,00	16,98	8,98

Consoante os dados da Tabela 34, verifica-se sensivelmente a mesma diferença dos consumos calculados teoricamente com aqueles verificados na prática das serpentinas dos conjuntos dos tanques 40-42 e 45-50. Como expectável, o consumo prático verifica-se maior do que o teórico. No entanto, deve-se ter em conta o devio padrão associado às medições práticas. Esta diferença deve-se, possivelmente, a fatores que não se tiveram em conta nos cálculos teóricos, como por exemplo o mau funcionamento dos purgadores à saída dos tanques. Como a diferença se mostrou ser pequena e como não se trata do foco central do presente estudo, decidiu-se sugerir a investigação desta situação em futuros trabalhos.

Relativamente ao consumo da linha de vapor que inicia na entrada do PBN e que finda na entrada da unidade de betumes, observa-se um consumo na prática maior do que o dobro calculado teoricamente. Este caso será estudado no capítulo seguinte, onde se abordará com maior pormenor as causas para esta diferença.

As traçagens de vapor na linha de betume registam uma diferença de 8,98 m³/h. Este valor poderá ser explicado pela passagem de vapor pelos purgadores, tal como na situação das serpentinas dos tanques. Outro fator que poderá contribuir para a diferença em causa é na saída e entrada de traçagens da linha de vapor na linha de betume. Nestes troços de linha, que no total são 3 espaçados de 50 metros, as traçagens encontram-se parcialmente sem isolamento, bem

como para da linha de betume. Assim, no contacto direto com a atmosfera, maior será o consumo de vapor por parte destas traçagens.

7.4. Discussão de resultados global

Após a análise individual de cada equipamento de aquecimento de cada tanque relativamente à sua influência na temperatura do betume e ao consumo de vapor, torna-se necessário saber o rácio entre a temperatura e o consumo das serpentinas e dos permutadores. Para tal, apresentam-se na Tabela 35 os ganhos de temperatura nos tanques de betume causados pelas serpentinas de cada tanque, o consumo e o rácio entre ambas, ou seja, a divisão entre consumo e temperatura.

Tabela 35 - Rácio ente consumo de vapor e aumento de temperatura das serpentinas dos tanques de betume.

Tanque	Consumo de vapor da serpentina (m ³ /h)	Aumento de temperatura da serpentina (°C)	Rácio ((m ³ /h)/°C)
TK 5640	7,19	0,36*	19,97
TK 5641	17,46	0,36	48,50
TK 5642	25,88	0	2588,00
TK 5645	41,40	0	4140,00
TK 5646	16,93	1,2	14,11
TK 5647	7,42	0,6*	12,37
TK 5648	20,31	1,8	11,28
TK 5649	19,08	1,8*	10,60
TK 5650	16,99	1,8*	9,44
Média total			761,59
Desvio padrão total			1525,64
Média (desconsiderando TK 5642 e TK 5645)			18,04
Desvio padrão (desconsiderando TK 5642 e TK 5645)			13,87

Nota: no cálculo do rácio dos tanques TK 5642 e TK 5645, considerou-se que o seu aumento de temperatura era de 0,01°C, de maneira a ser possível prever o seu rácio.

* Obtidos por média do agrupamento de tanques pertencente.

Do ponto de vista de eficiência energética, deseja-se um rácio entre consumo e temperatura mais baixo possível, ou seja, consumos baixos e influências na temperatura de betume elevadas. Através da análise do rácio obtido para todos os tanques, conclui-se que as serpentinas dos tanques TK 5642 e TK 5645 são as menos eficientes da unidade de betumes, pois não só são aquelas que mais consomem vapor, como também não têm a capacidade de aumentar a temperatura do betume, apenas mantê-la. Tal facto reverte-se no enorme rácio apresentado por estas serpentinas. Tendo isto em conta, pode-se concluir que o problema destes tanques poderá estar relacionado com a deposição de coque nas serpentinas, pois o coque possui uma condutividade térmica muito baixa (cerca de 0,12 W/m°C (51)). Logo, o consumo destas serpentinas deveria ser muito baixo. Como se verifica um consumo elevado das duas serpentinas, suspeita-se que os purgadores não estejam a funcionar corretamente, estando a permitir a passagem de mais vapor do que o suposto. Deste modo, sugere-se a verificação da

existência de coque nas serpentinas dos tanques TK 5642 e TK 5645, bem como a verificação do estado dos seus purgadores.

Analisando a média e desvio padrão sem considerar os tanques TK 5642 e TK 5645, é possível concluir que o tanque TK 5641 apresenta um rácio relativamente maior comparado com todos os outros. Para este caso, poderá existir coque na serpentina, o que faz impedir o vapor de aquecer o betume, pois o coque assume a função de “isolamento” devido à sua baixa condutividade térmica. Deste modo, como o vapor não seria consumido pelo betume, poderá simplesmente o purgador a dar passagem de vapor devido a mau funcionamento.

De uma forma análoga, realiza-se o mesmo para os permutadores na Tabela 36.

Tabela 36 - Rácio ente consumo de vapor e aumento de temperatura dos permutadores dos tanques de betume.

Tanque	Consumo de vapor do permutador (m ³ /h)	Aumento de temperatura do permutador (°C)	Rácio ((m ³ /h)/°C)
TK 5640	90,49	2,88	31,42
TK 5641	3,49	1,60	2,18
TK 5642	4,9	1*	4,90
TK 5645	19,59	1,24	15,80
TK 5646	3,07	1,22	2,52
TK 5647	11,27	1,55	7,27
TK 5648	0	1,41	0
TK 5649	7,41	1,92	3,86
TK 5650	77,57	3,79	20,47
Média total			9,82
Desvio padrão total			10,55

Nota: Embora não tenham sido realizados testes para se verificar o aumento de temperatura do permutador do TK 5642, considerou-se que este provocaria um incremento de 1°C.

* Valor arbitrado com margem de segurança

Através da análise da Tabela 36, observa-se que o relativamente maior incremento de temperatura dos permutadores dos tanques TK 5640 e TK 5650 acabam por não compensar devido ao seu elevado consumo. Para tal fenómeno suceder, o problema deverá ser uma consequência do mau funcionamento dos purgadores. Assim, sugere-se a verificação do estado do funcionamento destes e proceder à alteração dos mesmos, caso seja necessário.

Deve-se referir também o facto de não se ter verificado qualquer consumo do permutador do TK 5648 e, ao mesmo tempo, ter sido registado um incremento de 1,41°C na temperatura de expedição. Existem duas razões possíveis para tal ter sucedido: o volume de betume que se encontrava no permutador estava quente o suficiente para não ter havido troca de calor entre o vapor e o betume ou as válvulas do “bypass” permitem a passagem de vapor mesmo no seu estado fechado. De modo a saber qual a raiz do problema, respetivamente, dever-se-á estudar o consumo de vapor dos permutadores de calor durante a expedição ou recirculação (com betume a circular no permutador) e despressurizar a linha de condensado do permutador com as válvulas do “bypass” fechadas.

8. Influência do isolamento térmico no consumo de vapor

Seguem-se dois estudos diferentes relacionados com o isolamento térmico e o consumo de vapor. Primeiramente, faz-se o estudo do possível estado atual dos isolamentos dos tanques e da linha de vapor, tendo em conta o aumento da condutividade térmica causado pela incerteza deste valor fornecido pelo fabricante e pela humidade. Depois, realizam-se os cálculos para se aferir qual o material isolante que garante menores perdas energéticas e que, conseqüentemente, permite um menor consumo de vapor por parte dos tanques e linha de vapor.

8.1. Comparação entre decréscimo de temperatura nos tanques de betume e consumos da linha de vapor para os valores medidos no PBN, os valores de condutividade térmica teórica e deste sob influência da incerteza e humidade

8.1.1. Tanques

De modo a ser possível comparar os cenários em causa, utiliza-se a mesma espessura em todos os casos. Para o cálculo da temperatura de arrefecimento, utiliza-se a fórmula mencionada anteriormente no capítulo 6.1., sendo que se obtém o decréscimo de temperatura a partir dessa fórmula. Relembre-se que o decréscimo de temperatura médio dos conjuntos de tanques 40-42 e 45-50 são, respetivamente, 3,7°C/dia e 2,87°C/dia. Na Tabela 37, apresentam-se os dados em causa.

Tabela 37 - Comparação dos decréscimos de temperatura nos conjuntos de tanques de betume 40-42 e 45-50 através dos dados teóricos da condutividade térmica do isolamento dos tanques e dados sob a influência da gama de incerteza e humidade.

Propriedade	Tanques	Lã de rocha teórica	Lã de rocha danificada (perp)	Lã de rocha danificada (par)
Espessura (mm)		60	60	60
Condutividade térmica (W/m°C)	Todos	0,058	0,111	0,127
Decréscimo de temperatura (°C/dia)	40-42	2,17	4,00	4,52
	45-50	1,76	3,25	3,66
Comparação com dados reais (medidos no PBN)	40-42	-41,46%	8,19%	22,05%
	45-50	-39%	13%	28%
Comparação com dados da lã de rocha teórica	40-42	--	85%	108%
	45-50	--	85%	108%

Através da análise dos dados da Tabela 37, é possível verificar que o decréscimo de temperatura da condutividade térmica teórica é cerca de 40% daquela observada na prática. Como o decréscimo com a lã de rocha com fibras perpendiculares ao fluxo de calor, sob a influência da gama de incerteza da sua condutividade térmica, como também da humidade (30%), é cerca de 10% maior do que aquela obtida na prática, pode-se concluir que as seguintes situações poderão ocorrer:

- A condutividade térmica do isolamento usado para a temperatura de 200°C não é aquela indicada pela ficha técnica. Um fator associado a este aumento poderá estar relacionado com uma maior densidade daquela apresentada pela ficha técnica, uma pressão exercida pelos elementos de fixação do isolamento e dos revestimentos elevada ou mesmo deterioração do isolamento ao longo do tempo.
- Poderão haver entradas de água nos isolamentos dos tanques, causando humidade dos mesmos e, conseqüentemente, prejudicando a resistência do isolamento.

8.1.2. Consumo na linha de vapor

De uma forma análoga ao que foi feito para a comparação dos dados práticos, teóricos e possíveis da condutividade térmica dos isolamentos dos tanques de betume, realizam-se as comparações para os consumos das linhas de vapor. Todos os dados para tornar as comparações em causa possíveis encontram-se na Tabela 38. Para uma melhor compreensão das comparações realizadas, não é demais relembrar que o consumo medido no PBN é de 87,68 m³/h.

Tabela 38 - Comparação dos consumos de vapor nos conjuntos da linha de vapor através dos dados teóricos da condutividade térmica do isolamento das linhas e dados sob a influência da gama de incerteza e humidade.

Propriedade	Lã de rocha teórica	Lã de rocha danificada (perp)	Lã de rocha danificada (par)
Espessura (mm)	50	50	50
Condutividade térmica (W/m°C)	0,066	0,109	0,123
Calor Libertado (W)	35743,15	57239,74	63959,96
Caudal volúmico (m ³ /h)	32,47	52,00	58,11
Comparação com dados reais (medidos no PBN)	-62,96%	-40,69%	-33,72%
Comparação com dados da lã de rocha teórica	--	60,14%	78,94%

Ao comparar o valor do consumo medido no PBN com aqueles calculados na Tabela 38, verifica-se que os isolamentos de lã de rocha danificados estão mais próximos do que os valores da lã de rocha teórica, ou seja, com o seu valor da condutividade térmica inalterado devido à humidade.

Apesar do aumento da condutividade térmica da lã de rocha danificada, quer com fibras perpendiculares, quer paralelas, devido à incerteza do próprio valor da condutividade térmica e dos 30% de humidade em consideração, o caudal de vapor por estas consumidas é inferior em cerca de 30% ou mais. Assim, pode-se concluir que este troço de linha está a consumir muito mais daquilo que devia.

Através da comparação da lã de rocha com fibras perpendiculares e paralelas ao fluxo de calor, observa-se, como esperado, um maior consumo por parte do isolamento de fibras paralelas ao fluxo.

8.1.3. Verificação do estado da linha de vapor

Tendo em conta as diferenças verificadas anteriormente, fez-se um levantamento ao estado da linha de vapor em causa. Nas Figuras 30 a), b), c), d), e) e f) representam-se vários troços de linha em mau estado.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 30 - Troços de linha de vapor em mau estado.

Através destas imagens, observam-se vários troços de linha em mau estado, pois o isolamento térmico está exposto e, conseqüentemente, maiores são as probabilidades dos isolamentos destes troços encontrarem-se com humidade, especialmente em dias de precipitação.

8.1.4. Conclusão

Após uma análise aos fatores que fazem aumentar a condutividade térmica dos isolamentos fibrosos, com principal foco à lã de rocha (aquele que é usado no PBN), e, que conseqüentemente, aumentam a ineficiência energética do PBN, juntamente com as fotografias de troços da linha de vapor, pode-se concluir que uma causa poderá ser a humidade presente nos materiais isolantes. Tal é possível de acontecer para condições climáticas quentes e húmidas, onde poderá ocorrer condensação dentro do material isolante, aumentando a sua humidade bem acima dos seus níveis higroscópicos (24).

8.2. Comparação de outros isolamentos térmicos com os do PBN

Para verificar o impacto de cada um dos isolamentos que validaram os critérios definidos em capítulos anteriores, compara-se paralelamente a implementação de cada um no troço de tubagem abordado anteriormente, como também nos tanques de betume. Para tal, irão ser verificados respetivamente a poupança em termos de consumos de vapor e a sua influência nas perdas térmicas de betume dentro dos tanques.

Numa primeira abordagem, são calculadas as espessuras ideais para cada um dos isolamentos. Depois, serão realizados os cálculos para os respetivos consumos de vapor nas tubagens e decréscimo de temperatura. Finalmente, irão ser comparados os resultados obtidos com aqueles obtidos no estudo prático, bem como as conclusões possíveis de traçar.

8.2.1. Cálculo de espessuras económicas dos isolamentos térmicos

Antes de se comparar as perdas caloríficas na linha para cada um dos materiais isolantes, devem-se definir em primeiro lugar as espessuras de cada um. Para tal, utilizou-se o método proposto por Bahadori et. al. Este método baseia-se em correlações através de equações algébricas de aplicação mais simples do que outros modelos que envolvem uma maior quantidade de parâmetros e simulações computacionais mais longas. Para uma gama de temperaturas entre os 100°C e os 700°C e um diâmetro de tubagem ou de equipamento até 0,5m, foi desenvolvido um modelo que define a espessura de isolamento térmico económica. Sendo que o desvio médio percentual desta correlação é de 2%, considera-se que se adapta para o estudo em causa (52). A correlação criada baseou-se em mais de 1000 conjuntos de dados fiáveis, cobrindo uma grande variedade de casos e cenários (16). Na literatura estudada, foi possível encontrar outros métodos para o cálculo da espessura dos materiais isolantes (53). No entanto, no seu modelo, não tinha em consideração os parâmetros a usar para o material AES, sendo, por isso, um método inviável para o estudo em causa.

Os isolamentos térmicos a analisar serão os seguintes:

- Lã de rocha
- Espuma de vidro celular
- AES (Silicato de Terras Alcalinas)

Como resultado da aplicação do método em causa, foram calculadas as espessuras para cada material que se encontram representadas na Tabela 39.

Tabela 39 - Espessura dos materiais isolantes em estudo, tendo em conta a sua condutividade térmica (52).

Propriedade	Lã de rocha	Espuma de vidro celular	AES
Condutividade térmica (W/m°C)	0,058	0,635	0,04
Espessura (mm)	129,03	211,94	106,20

8.2.2. Tanques

Na Tabela 40 apresentam-se os resultados obtidos do decréscimo das temperaturas para os materiais em estudo e respetiva comparação com os dados obtidos no estudo prático (medidos no PBN), com os dados teóricos da lã de rocha para uma espessura de 60mm (usada atualmente nos tanques de betume do PBN) e com os dados da lã de rocha de espessura calculada pelo método anteriormente referido. Para uma melhor compreensão dos dados, relembra-se que os dados do decréscimo da temperatura medidos no PBN para os conjuntos de tanques 40-42 e 45-50 são, respetivamente, 3,7°C/dia e 2,87°C/dia. Relembra-se, também, que a temperatura perdida por dia para os conjuntos em causa calculados para o isolamento lã de rocha e espessura de 60mm é de 2,17°C/dia e 1,76°C/dia, respetivamente.

Tabela 40 - Decréscimo de temperatura dos conjuntos de tanques 40-42 e 45-50 usando lã de rocha, espuma de vidro celular e AES como isolamentos térmicos e sua comparação com dados medidos no PBN, com os cálculos teóricos para lã de rocha com espessura de 60mm e com os dados

Propriedade	Tanques	Lã de rocha	Espuma de vidro celular	AES
Decréscimo de temperatura (°C/dia)	40-42	1,04	6,29	0,87
	45-50	0,84	5,08	0,71
Comparação com dados reais (medidos no PBN)	40-42	-71,96%	69,89%	-76,49%
	45-50	-71%	77%	-75%
Comparação com dados da lã de rocha teórica (espessura 60mm)	40-42	-52%	190%	-60%
	45-50	-52%	189%	-60%
Comparação com dados da lã de rocha	40-42	--	506%	-16%
	45-50	--	505%	-16%

Através da análise dos dados da Tabela 40, podem ser retiradas várias conclusões. Primeiramente, analisa-se apenas a lã de rocha com a nova espessura calculada. Comparando com as medições efetuadas no PBN, a lã de rocha iria diminuir em 70% o decréscimo de temperatura dos tanques de betume. Comparando com os cálculos teóricos, a nova espessura apresenta uma melhoria de isolamento de temperatura de cerca de 50%. Assim, comprova-se que uma maior espessura de um material isolante, neste caso, traz vantagens em termos energéticos.

Relativamente aos outros dois materiais em estudo, a espuma de vidro celular e AES, é notório que o primeiro é decididamente posto de parte, pois para todos os casos, não traz qualquer vantagem energética, mesmo para a espessura definida que, por coincidência, é o dobro daquela definida para o AES. Já para este último material, conclui-se exatamente o oposto à espuma de vidro celular. Para todos os casos, verifica-se que o AES é capaz de aplicar uma maior resistência ao fluxo de calor de dentro do tanque para o exterior.

8.2.3. Linha de vapor

Apresentam-se na Tabela 41 os dados para o cálculo do caudal volúmico de vapor consumido no troço de linha de vapor por cada um dos isolamentos em estudo, bem como a sua comparação com os valores medidos no PBN, com o consumo teórico das características em uso no PBN e com a lã de rocha com a espessura de 129,03 mm.

Para a comparação com os resultados práticos, tem-se em conta um consumo de 87,68 m³/h. Apesar de existirem possibilidades das válvulas e purgadores darem passagem de vapor, tendo como consequência um maior caudal de vapor desperdiçado que passa na FI5901, não existem meios suficientes, no espaço de tempo disponível, para garantir que sejam apenas essas as causas do registo de consumo em causa. Deste modo, para o efeito de comparação com os cálculos realizados com outros materiais, assume-se que as válvulas e purgadores se encontram em bom funcionamento.

Tabela 41 - Consumo da linha de vapor usando lã de rocha, espuma de vidro celular e AES como isolamentos térmicos e sua comparação com dados medidos no PBN, com os cálculos teóricos para lã de rocha com espessura de 50mm e com os dados da lã de rocha (teórica) de espessura.

Propriedade	Lã de rocha	Espuma de vidro celular	AES
Calor Libertado (W)	18 804,16	12 3244,06	12 994,78
Caudal volúmico (m ³ /h)	17,08	111,97	11,81
Comparação com dados reais (medidos no PBN)	-80,52%	27,71%	-86,53%
Comparação com dados da lã de rocha teórica (espessura 50mm)	-47,39%	244,80%	-63,64%
Comparação com dados da lã de rocha teórica	--	555%	-31%

Através da Tabela 41, relativamente ao isolamento existente no PBN, pode-se confirmar um excesso de perdas energéticas na linha de vapor estudada. Tal como esperado, um aumento da espessura de isolamento converte numa diminuição de cerca de 50% no consumo de vapor da tubagem em causa.

Torna-se claro que o isolamento de espuma de vidro celular não melhora, em qualquer comparação, a eficiência do consumo de vapor. Por outro lado, observa-se que o isolamento AES se torna bastante competitivo quando comparado com a lã de rocha, uma vez que a sua espessura mais fina e condutividade térmica menor permitem um menor fluxo de calor para a atmosfera e, conseqüentemente, um menor caudal de vapor consumido pela linha em estudo.

Tendo em conta as conversões apresentadas no capítulo 1.1. e o consumo previsto com um novo isolamento de lã de rocha com maior espessura do que o existente, são apresentados os cálculos da poupança mensal de VMP na Tabela 42.

Tabela 42 - Poupança mensal de VMP sugerida pelo novo isolamento de lã de rocha.

Consumo de vapor poupado por hora	70,6 m ³ VMP
Consumo de vapor poupado num mês (30 dias)	305,0 ton VMP
Consumo de fuel-equivalente poupado (30 dias)	40,87 ton FOE
Poupança mensal	13 895,44 €
Poupança mensal (comparada com consumo médio mensal do ano 2014)	10,85%

Na mesma linha de seguimento, apresentam-se os cálculos da poupança em termos de consumo de vapor para o isolamento AES na Tabela 43.

Tabela 43 - Poupança mensal de VMP sugerida pelo novo isolamento de AES.

Consumo de vapor poupado por hora	75,87 m ³ VMP
Consumo de vapor poupado num mês (30 dias)	327,75 ton VMP
Consumo de fuel-equivalente poupado (30 dias)	43,92 ton FOE
Poupança mensal	14 932,67 €
Poupança mensal (comparada com consumo médio mensal do ano 2014)	11,66%

Após os valores apresentados nas Tabelas 42 e 43, verifica-se que na linha de vapor em causa poderá observar-se numa otimização do consumo de vapor de, no máximo, 11,66% com a utilização de isolamento AES, correspondendo num total anual de cerca de 180 mil euros. Por outro lado, um novo isolamento de lã de rocha poderá reduzir o consumo de vapor em 10,85%, ou seja, cerca de 166 mil euros anuais. Deve-se, no entanto, realçar que as perdas verificadas na prática poderão também estar relacionadas com problemas de funcionamento dos purgadores, para além da aparente danificação do troço de linha em causa.

Infelizmente, após várias tentativas de saber o preço dos isolamentos em estudo junto dos fabricantes, não foi possível ter em conta este parâmetro de modo a saber qual seria o retorno de investimento.

9. Programa para operação dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes

Com a finalidade de expedir o produto de acordo com as temperaturas mínimas estabelecidas ao mesmo tempo que se reduz o consumo de vapor dos sistemas de aquecimento ao máximo, foi criado um programa para a operação da unidade de betumes para a sala de controlo. Este programa tem em conta os dados recolhidos nos estudos realizados no capítulo 6 do presente trabalho, ou seja, todos os testes realizados no terreno da unidade de betumes.

No presente capítulo, apresenta-se o programa criado em Excel, usando a linguagem VisualBasic para a execução do mesmo. Irão ser abordados os objetivos, funcionamento e condições impostas pelo programa, como também as poupança de VMP observada no teste realizado ao programa e sua extrapolação para poupança mensal e anual. No final, estão definidas futuras melhorias ao programa.

9.1. Regras de operação da unidade de betumes

Antes de se apresentar o objetivo e funcionamento do programa, abordam-se as regras de operação que, até à data, os operadores da sala de controlo recebem da sua chefia. Assim, poder-se-á mais facilmente comparar os dois cenários (antes e após a implementação do programa na operação da unidade de betumes) e identificar as vantagens da utilização do programa.

9.1.1. Operação de serpentinas

As serpentinas da unidade de betumes são controladas através de válvulas automáticas (TICs) que podem ser abertas ou fechadas consoante duas maneiras:

- Temperatura de “set-up”: para uma determinada temperatura inserida no sistema, a válvula abre caso a temperatura lida na TIC da serpentina seja inferior àquela definida. Caso contrário, a válvula fecha.
- Operação percentual: caso a percentagem seja 100%, a válvula encontra-se completamente aberta. Caso contrário, a válvula fecha. É possível operar a percentagens entre aquelas mencionadas.

Normalmente, as serpentinas são operadas por temperatura de “set-up” das TICs. No entanto, durante o estudo, verificou-se uma grande disparidade de valores lidos pelos sensores das TICs e a verdadeira temperatura do betume medida dentro das cisternas após expedição. Devido a esta desregulação, não se deve optar por este método de maneira a racionalizar o consumo de vapor e a gerir a temperatura do betume dentro dos tanques.

A temperatura de “set-up” estabelecida para as TICs de cada tanque é o valor da temperatura mínima de expedição incrementado em 10°C.

Para além do modo de operação, os operadores da sala de controlo seguem a regra de fazer baixar a temperatura de “set-up” para valores a rondar os 100°C quando os tanques se encontram vazios, ou seja, com nível de produto inferior a 1 metro e já não se encontram a expedir. Consequentemente, a válvula correspondente irá fechar.

Quando um tanque se encontra a receber produto ou a recircular, as regras estabelecem que as serpentinas devem estar abertas.

9.1.2. Operação dos permutadores

Tal como as serpentinas, a operação das TICs dos permutadores é realizada automaticamente com a temperatura de “set-up”. Por isso, existe o mesmo problema inerente ao desvio de temperaturas lidas, com a real do betume.

Conforme as regras, os permutadores dos tanques de betume devem ser abertos a 100% sempre que estão a expedir ou a recircular. Caso contrário, o seu estado deve-se encontrar fechado.

9.1.3. Outras considerações

Deve-se mencionar que, até à data, não existe um método de certificar que o operador de painel efetua as operações necessárias nas TICs após qualquer ação na unidade de betumes, como por exemplo, sempre que se altera a expedição de um tanque para outro do mesmo “grade”, ou mesmo após o enchimento de um tanque de betume.

Existem certas válvulas automáticas que se encontram fora de serviço, nomeadamente as TICs das serpentinas do TK 5640 e do TK 5645. Neste caso, as serpentinas estão sempre abertas.

9.2. Objetivo e princípio de funcionamento

Tal como anteriormente abordado, a eficiência energética é um fator com uma relevância cada vez maior no mundo empresarial. Porém, acima de tudo, deve-se sempre garantir as condições mínimas de expedição acordadas com os clientes. O programa desenvolvido assegura que todas as operações por este sugeridas garantem que, consoante o “grade” que se situa dentro dos tanques e para um certo período de tempo, a temperatura do betume esteja em conformidade assim que é descarregado na cisterna dos clientes. Deste modo, este torna-se no critério primário para a definição das operações sugeridas pelo programa. Tal como mencionado na Tabela 4, as temperaturas de expedição mínimas para os “grades” 35/50, 50/70 e 160/220 são, respetivamente, 160°C, 150°C e 145°C.

O programa tem em conta os seguintes “inputs” por parte do operador na sala de controlo:

- Temperatura atual dos tanques indicada no sistema COTAS
- Data de expedição dos tanques

Através dos dados da evolução da temperatura dentro dos tanques de betume, do incremento de temperatura através dos permutadores e dos consumos associados às serpentinas e permutadores de todos os tanques, o programa irá apresentar a melhor combinação que garanta as condições de expedição através do menor consumo possível.

9.3. Operação do programa

Na folha intitulada “Dados de Entrada”, o utilizador encontra os campos que se devem preencher para iniciar o programa, onde se encontra a tabela em que, a cor, se encontram os campos permitidos de serem alterados pelo sistema. A laranja, encontram-se os tanques que têm data definida para serem expedidos e, a vermelho, aqueles que se encontram vazios ou a receber produto da fábrica para dentro do tanque.

Para uma melhor compreensão do funcionamento do programa, ir-se-á usar o exemplo hipotético daquilo que poderia acontecer no PBN:

- Tanques que se encontram a expedir no dia atual: TK 5640, TK 5645 e TK 5649
- Tanques que se encontram com produto armazenado e a expedir em dias seguintes: TK 5641, TK5642, TK 5646 e TK 5648
- Tanque a receber produto dentro (para dentro do tanque): TK 5647
- Tanque com nível de produto abaixo de 1 metro (considerado vazio): TK 5650

Na Tabela 44 apresenta-se a tabela de operação do programa em causa.

Tabela 44 - Dados de entrada (a cor) do programa de operação da unidade 5600 e consumo de vapor previsto para cada tanque.

Dia Atual	23-06-2015			
Tanque	Dia de Expedição	Temperatura Atual (°C)	Temperatura de Expedição (°C)	Consumo Previsto (m ³)
TK 5640	23-06-2015	146,0	145,0	0,0
TK 5641	29-06-2015	142,0	145,0	1481,9
TK 5642	24-06-2015	140,0	140,0	212,7
TK 5645	23-06-2015	153,0	150,0	0,0
TK 5646	29-06-2015	165,6	150,0	0,0
TK 5647		170,0	160,0	Por Calcular
TK 5648	26-06-2015	165,0	160,0	783,9
TK 5649	23-06-2015	165,0	160,0	0,0
TK 5650		138,0	160,0	Por Calcular

De seguida, explica-se sucintamente como se deve proceder ao preenchimento de cada uma das colunas da Tabela 44, como também os casos em que deve optar por não preencher (a vermelho).

9.3.1. Dia de expedição

O dia de expedição, infelizmente, não é uma data bem definida de que o tanque em causa irá expedir naquele dia. Por outras palavras, neste momento, não é possível ao PBN calcular com antecedência o dia para o qual um tanque irá encher as cisternas de produto. Neste aspeto, o

departamento de programação do PBN teria apenas a possibilidade de informar a sala de controlo a expedição diária de betume às 07:00 de cada dia. Deste modo, cabe ao operador da sala de controlo decidir uma data expectável de expedição de cada tanque, de acordo com os produtos e lotes disponíveis na unidade 5600, e, acima de tudo, com a sua experiência.

Apesar de não ser a situação ideal, torna-se necessário submeter nos dados um espaço temporal de expedição dos tanques, de modo a ser possível a racionalização do consumo de vapor nos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes.

Sempre que o PBN se encontra em horário de receber clientes (de domingo às 22:00 até sábado às 14:00), deve-se encontrar sempre disponível um tanque de cada “grade” pronto a expedir. Deste modo, existem sempre 3 tanques que se encontram a expedir no dia atual (exceto aos fins de semana das 14:00 de sábado às 22:00 de domingo).

Normalmente, a distribuição dos “grades” pelos tanques é a seguinte:

- TK 5640 e TK 5641: “grade” 160/220
- TK 5645, TK 5646 e TK 5647: “grade” 50/70*
- TK 5648, TK 5649 e TK 5650: “grade” 35/50

(* existe uma exceção para o TK 5642 que irá ser abordada posteriormente)

Deste modo, na maior parte dos casos, 1 tanque dos conjuntos supramencionados terão a sua data de expedição correspondente ao dia atual de preenchimento.

Porém, existe um limite máximo de 14 dias em que o utilizador poderá programar a operação de cada tanque. Tal condição é imposta de maneira a reduzir o número de cálculos realizados pelo programa e, conseqüentemente, acelerar o processo de execução do planeamento da operação das serpentinas e permutadores dos tanques.

Durante a utilização do programa, o operador deverá ter em conta as seguintes exceções:

- Caso a temperatura atual do tanque que está a expedir seja inferior à temperatura mínima de expedição, dever-se-á proceder da seguinte forma:
 - Não inserir qualquer data no tanque correspondente
 - Abrir a serpentina do tanque até que a expedição do “grade” em causa seja alterada para outro tanque
- Caso a data expectável seja maior que os 14 dias, deve-se considerar este número, de maneira a maximizar a otimização

9.3.2. Temperatura atual

Deve-se inserir a temperatura atual do tanque verificada no sistema ENTIS. Ao longo do estudo, verificou-se que este sensor seria aquele que mais se aproximava à temperatura real do tanque.

No entanto, tal deixa-se de verificar para níveis do tanque inferiores aos 4 metros. Isto deve-se ao método de cálculo de temperatura deste sensor, em que realiza a média de um sensor ao longo da altura do tanque. Como o sensor não é capaz de saber o nível de betume, este realiza a média de todo o tanque, mesmo a parte que contém ar e gases dentro do mesmo. Assim, nestas situações, a temperatura indicada por este sensor será menor do que a temperatura real do betume. Para estas situações, o programa encontra-se sobredimensionado, uma vez que tendo em conta a temperatura indicada ENTIS, o programa irá realizar um plano com uma temperatura menor do que a real e, conseqüentemente, irá sugerir operações para garantir a temperatura mínima de expedição

A partir do momento que não existe uma data de expedição e, conseqüentemente, a linha do tanque assume a cor vermelha, o valor inserido na célula da temperatura atual torna-se irrelevante, uma vez que o programa não irá calcular qualquer plano de operação de serpentinas e permutadores para o tanque em causa.

9.3.3. Temperatura de expedição

Nesta coluna, geralmente, não exige alterações do valor da temperatura, uma vez que os “grades” costumam ser armazenados nos mesmos tanques durante a operação normal do PBN.

Caso se pretenda inserir uma margem de modo a aumentar as certezas que os tanques atingem as temperaturas mínimas, poder-se-á alterar manualmente estes valores.

Relativamente ao TK 5642, a temperatura mínima de expedição é de 140°C, pois este tanque costuma expedir para B2bags – uma empresa sediada nas instalações do PBN que embalam betume em sacos para expedição. Para que tal seja possível, o betume passa por um sistema de refrigeração que faz baixar a sua temperatura, de modo a não danificar os sacos. No entanto, também não convém que a temperatura seja demasiado baixa, pois as bombas têm que ser capazes de bombear o produto e, tal como já foi abordado neste estudo, quanto menor a temperatura, mais viscoso se torna o betume e mais difícil se torna o processo para as bombas.

9.3.4. Consumo previsto

O consumo previsto indica todo o consumo de vapor da serpentina e permutador correspondentes desde o dia atual até ao dia de expedição.

Uma primeira análise rápida destes dados indica-nos quando não é necessário abrir qualquer sistema de aquecimento para um determinado tanque, ou seja, quando indica 0 m³/h. Caso assuma um valor maior que este último, então sabe-se que, à partida, será necessária a atuação da serpentina ou permutador num determinado período de tempo entre o dia atual e a data de expedição. Seguidamente, irá ser abordado em que espaço temporal é necessária a intervenção do vapor e em que equipamento de aquecimento.

9.4. Planeamento das operações

Para cada turno diário de 8 horas, o programa indicará qual a operação que o tanque deverá ter. As 3 operações possíveis são as seguintes:

- “S/ Operação”: serpentina e permutador fechados. Neste caso, não há consumo de vapor.
- “Serpentina (2:35)”: apenas serpentina aberta durante 2 horas e 35 minutos. O tempo da abertura da serpentina apresentado estará no intervalo (0:01) a (7:59).
- “Recirculação (P-5641)”: fazer recirculação do tanque através da bomba P-5641 durante as 8 horas com serpentina e permutador abertos. Devido à dependência das 5 bombas existentes na unidade de betumes para a expedição de produto para as cisternas durante a semana, a operação de recirculação existe apenas durante o fim de semana.
- “Expedir (s/ P)” ou “Expedir (c/ P)”: expedir com permutador fechado (sem permutador) e expedir com permutador aberto, respetivamente.

Desde o dia da programação até à expedição, está associada à operação de cada turno a temperatura.

De seguida, exemplificam-se dois casos distintos de programação de operações: para um tanque que se encontra a expedir no dia da programação (Tabela 45) e outro que irá expedir passados 6 dias (Tabela 46).

9.4.1. Exemplo 1: TK 5640 - Expede no dia atual

Tabela 45 - Exemplo de operação de um tanque que expede no dia da programação, com temperatura superior à de expedição.

		TK 5640		
Data	Periodo	Operação	Temperatura (°C)	Consumo (m ³)
23-06-2015	22:00/06:00	Expedir (s/ P)	146,0	0,0
23-06-2015	06:00/14:00			
23-06-2015	14:00/22:00			

Neste caso, como a temperatura do betume do tanque TK 5640 é superior à de expedição, não é necessário abrir o permutador, logo, poupa-se vapor.

9.4.2. Exemplo 2: TK 5641 - Expede 6 dias depois do dia da programação

Tabela 46 - Exemplo de operação de um tanque que expede 6 dias após a programação, com temperatura inferior à de expedição.

		TK 5641		
Data	Periodo	Operação	Temperatura (°C)	Consumo (m ³)
23-06-2015	22:00/06:00	Serpentina	142,1	139,7
23-06-2015	06:00/14:00	Serpentina	142,2	139,7
23-06-2015	14:00/22:00	Serpentina	142,4	139,7
24-06-2015	22:00/06:00	Serpentina (1:41)	142,0	29,4
24-06-2015	06:00/14:00	S/ Operação	141,6	0,0
24-06-2015	14:00/22:00	S/ Operação	141,1	0,0
25-06-2015	22:00/06:00	S/ Operação	140,6	0,0
25-06-2015	06:00/14:00	S/ Operação	140,2	0,0
25-06-2015	14:00/22:00	S/ Operação	139,7	0,0
26-06-2015	22:00/06:00	S/ Operação	139,2	0,0
26-06-2015	06:00/14:00	S/ Operação	138,8	0,0
26-06-2015	14:00/22:00	S/ Operação	138,3	0,0
27-06-2015	22:00/06:00	Recirculação (P-5641)	139,2	167,6
27-06-2015	06:00/14:00	Recirculação (P-5641)	140,0	167,6
27-06-2015	14:00/22:00	Recirculação (P-5641)	140,9	167,6
28-06-2015	22:00/06:00	Recirculação (P-5641)	141,7	167,6
28-06-2015	06:00/14:00	Recirculação (P-5641)	142,6	167,6
28-06-2015	14:00/22:00	Recirculação (P-5641)	143,4	167,6
29-06-2015	22:00/06:00	Expedir (c/ P)	145,0	27,9
29-06-2015	06:00/14:00			
29-06-2015	14:00/22:00			

No exemplo 2, é possível observar todo o plano da operação dos sistemas de aquecimento do tanque de TK 5641. Note-se que para atingir a temperatura mínima de expedição, terá que ocorrer recirculação durante todo o fim de semana (a cinzento) através da bomba P-5641.

Deve-se também realçar que o programa cria um plano com o menor número de ações possível. Deste modo, para o exemplo em causa, o operador de painel terá apenas que executar 4 ordens: abrir a serpentina no dia da programação, fechar no dia 24 no turno das 06:00, recircular no sábado de madrugada e ligar o permutador para a expedição.

9.5. Regras de Operação Complementares

Existem 3 situações para as quais o programa não sugere operações na serpentina e permutador e correspondem às situações quando a linha do tanque ficam a vermelho, sendo elas:

- Tanque vazio
- Tanque a receber produto
- Impossibilidade de atingir temperatura de expedição

Seguidamente, mencionam-se as regras de operação complementares ao programa em ambas as situações.

9.5.1. Operação da serpentina durante a expedição

A implementação do programa em causa assume que a menor temperatura possível de expedição corresponde à temperatura mínima de expedição definida no contrato com os clientes do PBN. Para estes casos, assim que um tanque entra no seu dia de expedição, deverá ser aberta a válvula da serpentina. Deve-se ter em conta esta operação, pois o programa garante que o betume de um certo tanque expede o produto à temperatura ideal no dia exato da expedição. Caso a serpentina não seja aberta inicialmente e para uma situação em que um tanque demore vários dias a expedir todo o seu produto, o permutador pode não vir a ser suficiente para aquecer suficientemente as últimas cargas de betume. Para evitar este cenário, opta-se por abrir a serpentina assim que o tanque começa a expedir, assim que a temperatura indicada no programa ENTIS seja equivalente à temperatura mínima de expedição.

9.5.2. Tanque vazio

Quando um determinado tanque de betume se encontra com menos de 1 metro de produto, procede-se à alteração de tanque para o enchimento de cisternas. Nestas situações, o tanque é considerado vazio e todos os seus equipamentos de aquecimento devem-se encontrar fechados.

9.5.3. Tanque a receber produto

Para situações em um tanque está a receber betume, devem-se fechar as serpentinas, bem como o permutador. Assim que a receção de betume se dá por finalizada, deve-se fazer correr de novo o programa, de modo a saber como operar na serpentina do tanque.

9.5.4. Impossibilidade de atingir temperatura de expedição

Caso não seja possível, de maneira alguma, atingir a temperatura de expedição para um tanque, o programa não irá sugerir o plano de operação para todos os tanques. Neste caso, deve-se limpar a célula da data de expedição e realizar o plano sem o tanque em causa. Seguidamente, deve-se abrir a serpentina deste tanque e, se possível, recircular o produto com o permutador aberto.

9.5.5. Gama de segurança de temperatura

É possível inserir uma gama de segurança de temperatura, caso se deseje garantir que a temperatura do betume dentro do tanque atinja a de expedição. Para tal, ter-se-á apenas que adicionar a temperatura de segurança desejada à de expedição.

9.5.6. Ligação bombas - tanques

Através da folha “Ligações”, é possível definir quais são as bombas que se encontram ligadas aos tanques. Para o valor “0”, não existe ligação, acontecendo o contrário para o valor “1”. Apenas as células alaranjadas é que são possíveis de serem alteradas pelo operador, pois são aquelas possíveis de executar no terreno. Na Tabela 47 encontra-se a tabela em causa.

Tabela 47 - Representação da tabela de ligações das bombas aos tanques de betume.

	P-5641	P-5644	P-5646	P-5647	P-5648
TK 5640	1	0	0	0	0
TK 5641	1	0	0	0	0
TK 5642	1	1	0	0	0
TK 5645	0	1	0	0	0
TK 5646	0	1	0	0	0
TK 5647	1	1	0	0	0
TK 5648	0	0	1	1	1
TK 5649	0	0	1	1	1
TK 5650	0	0	1	1	1

9.5.7. Atualização dos dados de entrada das temperaturas e consumos

Para que seja possível atualizar o comportamento da evolução da temperatura dos tanques para todos os casos possíveis, bem como o consumo de vapor das serpentinas e permutadores, existe uma folha denominada “Dados Fixos”. Assim, sempre que forem realizados novos testes aos tanques de betume, poder-se-á facilmente atualizar estes dados fulcrais para a execução do plano de operações. Na Tabela 48 encontra-se a atual em utilização pelo programa.

Tabela 48 - Representação da tabela atual de dados fixos de temperatura e consumo dos tanques de betume.

		Serpentina	Recirculação	S/ Operação	Expedir (s/ P)	Expedir (c/ P)
		/8h				
TK 5640	+ Temperatura (°C)	0,12	0,85	-0,46	0	2,88
	Consumo (m ³)	57,52	781,44	0,00	0	723,92
TK 5641	+ Temperatura (°C)	0,12	0,85	-0,46	0	1,60
	Consumo (m ³)	139,68	167,60	0,00	0	27,92
TK 5642	+ Temperatura (°C)	0,00	0,67	-0,46	0	1,00
	Consumo (m ³)	207,04	246,24	0,00	0	39,20
TK 5645	+ Temperatura (°C)	0,00	0,67	-0,46	0	1,24
	Consumo (m ³)	331,20	487,92	0,00	0	156,72
TK 5646	+ Temperatura (°C)	0,40	0,67	-0,30	0	1,22
	Consumo (m ³)	135,44	160,00	0,00	0	24,56
TK 5647	+ Temperatura (°C)	0,20	0,67	-0,38	0	1,55
	Consumo (m ³)	59,36	149,52	0,00	0	90,16
TK 5648	+ Temperatura (°C)	0,60	1,10	-0,31	0	1,41
	Consumo (m ³)	162,48	162,48	0,00	0	0,00
TK 5649	+ Temperatura (°C)	0,60	2,07	-0,36	0	1,92
	Consumo (m ³)	152,64	211,92	0,00	0	59,28
TK 5650	+ Temperatura (°C)	0,60	1,58	-0,34	0	3,79
	Consumo (m ³)	135,92	756,48	0,00	0	620,56

9.5.8. Definição de atualizações à solução encontrada

Quanto maior o número de combinações geradas pelo programa, maior o tempo de resposta. Neste sentido, pode-se ordenar o programa a gerar um menor número de soluções possíveis para depois escolher aquela com menor consumo. Para tal, basta apenas inserir o número de soluções possíveis com menor consumo geradas pelo programa na célula correspondente às atualizações. Por outro lado, caso se deseje que o programa percorra todas as soluções, coloque-se a palavra “Totais”, tal como se exemplifica na Tabela 49. É também possível gerar a solução ótima consoante o menor número de ações realizadas num tanque ou consoante o menor consumo possível.

Tabela 49 - Ordenação de número de soluções com menor consumo ou menor número de ações gerado pelo programa.

Mapa Global Ótimo	Atualizações (Número ou Totais)	Totais
	Por Ações ou Consumo	Consumo

9.5.9. Folha de registo

Para que o programa seja implementado no dia-a-dia da empresa, foi criada uma folha de registo para preenchimento 3 vezes por dia. Esta folha seria preenchida ao mesmo tempo que as folhas de registo de nível de produto e de temperaturas de todos os tanques do PBN. Deste modo, não será necessário criar novos hábitos nas tarefas dos operadores e o programa será mais facilmente implementado. Na Tabela 50 apresenta-se um exemplo da referida tabela.

Tabela 50 - Tabela correspondente à folha de registo do estado das válvulas da serpentina e do permutador dos tanques de betume.

	Serpentina	Permutador	Serpentina	Permutador	Serpentina	Permutador
	07:00		15:00		23:00	
TK 5640						
TK 5641						
TK 5642						
TK 5645						
TK 5646						
TK 5647						
TK 5648						
TK 5649						
TK 5650						

9.6. Teste e resultados da implementação do programa

Nos dias 22, 23, 25, 26 e 30 de junho foram realizados testes ao programa em causa. Para tal, inseriram-se todas as condições previamente mencionadas e verificou-se no momento quais as ordens que deveriam ser feitas às válvulas das serpentinas e permutadores dos tanques da unidade de betumes. Todos os testes foram realizados para no turno entre as 14:00 e as 22:00 De seguida, apresentam-se todas as alterações sugeridas pelo programa:

Dia 22 de junho:

- Serpentinhas a fechar:
 - TK 5641
- Permutadores a fechar:
 - TK 5650

Dia 23 de junho:

- Serpentinhas a fechar:
 - TK 5641, TK 5647, TK 5648 e TK 5649

Dia 25 de junho:

- Serpentinhas a fechar:
 - TK 5641, TK 5649
- Serpentinhas a abrir:
 - TK 5650

- Permutadores a fechar:
 - TK 5641, TK 5645, TK 5647, TK 5648 e TK 5650

Dia 26 de junho:

- Serpentinhas a fechar:
 - TK 5641
- Permutadores a fechar:
 - TK 5649 e TK 5650

Dia 30 de junho:

- Serpentinhas a fechar:
 - TK 5641, TK 5642, TK 5646, TK 5647, TK 5648
- Permutadores a fechar:
 - TK 5647, TK 5648

Sabendo as conversões apresentadas no capítulo 1.1. e o consumo das serpentinas e permutadores dos tanques de betume, são apresentados os cálculos da poupança mensal de VMP na Tabela 51.

Tabela 51 - Poupança mensal de VMP sugerida pelo programa de operação da unidade de betumes.

Consumo de vapor poupado em 5 dias	5198,8 m ³ VMP
Consumo de vapor poupado num mês (30 dias)	561,5 ton VMP
Consumo de fuel-equivalente poupado (30 dias)	75,24 ton FOE
Poupança mensal	25 580,59 €
Poupança mensal (comparada com consumo médio mensal do ano 2014)	19,98%

Para os testes e condições em causa, poder-se-ia poupar cerca de 300 mil euros anualmente. No entanto, deve-se ter em conta que este valor poderá ser menor devido aos seguintes fatores:

- O programa foi testado num período do ano em que há muitas expedições de betume, de acordo com registos de anos anteriores (3). Uma consequência deste facto é os tanques estarem mais vezes sem produto para armazenar. Num período com menos expedições, os tanques necessitam de mais vapor para garantirem a temperatura mínima de expedição na data prevista. Logo, prevê-se que mais serpentinas e permutadores sejam necessários de se encontrarem abertos.
- O programa em causa está dependente da responsabilidade e experiência do operador de painel, pois esta pessoa seria a responsável pela utilização do programa e gestão do estado de abertura das válvulas dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes.

9.7. Outras considerações e futuras melhorias

De seguida, apresenta-se uma lista de considerações que foram tidas em conta na execução do programa e, quando relevante, sugerem-se trabalhos/melhorias a considerar implementar no futuro.

- Para os fins de semana, todas as ações estão dimensionadas para serem implementadas num espaço de 8 horas, com a finalidade de coincidir com os turnos diários dos operadores do PBN. Assim, o programa teria que ser corrido apenas uma vez por turno, preferencialmente no início do mesmo. Outra razão para estar dimensionada para 8 horas é para que o programa seja mais rápido a executar os cálculos e, deste modo, para se tornar viável na lista de tarefas diárias do operador de painel.
 - Melhoria: poder-se-á explorar a viabilidade de fazer o programa correr mais opções para um espaço de tempo diário menor, sem que o programa altere muito o tempo de cálculo do melhor plano
- O facto de ter sido feita análise combinatória para saber qual a solução mais económica durante os fins de semana para atingir as temperaturas desejadas faz com que o programa realize uma quantidade enorme de cálculos que acabarão por não respeitar as necessidades para a expedição do betume. Como consequência, o programa poderá levar algum tempo a calcular combinações que acabarão por ser inúteis. No entanto, esta foi a alternativa mais viável que se encontrou para que se tornasse possível evitar a necessidade do uso da mesma bomba para recirculação dos tanques TK 5640 e TK 5647. Após vários testes a situações reais do PBN, o programa disponibilizou a solução imediatamente após a sua requisição, tornando-se assim viável para implementação na operação da sala de controlo
- Tal como mencionado anteriormente, o número de dias para os quais se podem realizar o planeamento de operações é de 14 dias. Este número justifica-se por causa da dependência de bombas por parte dos tanques para realizarem recirculação ao fim de semana. Neste caso, estão a ser realizadas combinações (através da análise combinatória) para 4 dias de fim de semana, gerando um número muito extenso de combinações e, conseqüentemente, necessita de mais tempo para chegar à solução final. Caso fossem mais dias, haveria a possibilidade de se incluir mais um dia de fim de semana e o programa iria levar ainda mais tempo a realizar os cálculos. No entanto, deve-se realçar que durante os testes nunca foi necessário introduzir uma data superior a 14 dias.
 - Melhoria: após os testes realizados no PBN, verificou-se que o programa disponibilizava o planeamento de operações dos tanques em menos de 1 segundo. Deste modo, poder-se-á considerar aumentar o número de dias para 21.
- O operador da sala de controlo não sabe quantas cargas de betume nem quando irão ocorrer ao longo da semana, de modo a poder preencher os dados de entrada do programa com precisão. Deste modo, deve-se ter em conta a experiência do operador de painel. Com vista a melhorar a precisão do planeamento realizado pelo programa, o departamento de programação deverá enviar a expedição diária esperada. Assim, o operador poderá saber se determinados tanques irão ser necessários ou não para o dia em causa e, conseqüentemente, racionalizar o consumo de vapor.
 - Melhoria: tendo em conta todas as expedições realizadas num ano (ou mais), poderá ser realizado um estudo sobre a expedição prevista por dia de cada “grade” de betume e aplicar as tendências das expedições como dados a ter em conta pelo programa

- Os dados da evolução da temperatura foram calculados em testes realizados para os tanques com o nível de betume superior a 9 metros, para que o sensor de temperatura fosse o mais preciso possível. No entanto, é sabido que durante a operação os níveis de betume podem variar entre 1 a 9 metros. Para estes casos, a evolução de temperatura de betume poderá comportar-se de maneira diferente. Por exemplo, para uma menor massa de betume dentro do tanque, menor será o tempo de arrefecimento. Por outro lado, uma menor massa leva a que a serpentina aqueça mais rapidamente o betume presente dentro do tanque.
 - Melhoria: recomenda-se que sejam realizados testes para saber qual o comportamento da evolução temperatura do betume dos tanques sem aquecimento, com aquecimento da serpentina e a recircular para níveis de 6 e 3 metros. Deste modo, a previsão da evolução da temperatura será mais precisa.
- Assim que se define a data de expedição de um tanque, deve-se ter em conta que o programa assume que a expedição se realiza às 00:01 do dia em causa.

10. Considerações Finais

10.1. Conclusões

Na indústria petrolífera, a gestão de energia revela-se uma prioridade mais elevada num mercado cada vez mais competitivo. De maneira a responder às necessidades impostas pelo mercado, é estritamente necessário adotar medidas de otimização do consumo de vapor, tendo em conta as condições ótimas do produto expedido para o cliente.

Neste estudo, realizou-se o levantamento da operação dos equipamentos de aquecimento a vapor de média pressão da unidade de betumes. Os resultados indicam que o estado serpentinas dos tanques TK 5642 e TK 5645 deve ser revisto, pois suspeita-se a deposição de coque na sua superfície. O estado dos purgadores destes equipamentos deve também ser revisto, bem como o dos permutadores dos tanques TK 5641 e TK 5650.

A previsão do aumento da condutividade térmica dos isolamentos térmicos dos tubos de vapor de média pressão e dos tanques de betume devido à incerteza do valor indicado pelo fabricante e à presença de humidade revela-se mais próxima dos resultados teóricos do que aqueles registados na prática. O mau estado de certos troços de linha sugere um aumento da humidade dos isolamentos térmicos. Deve-se, no entanto, realizar a medição da condutividade térmica efetiva de amostras de isolamento em equipamentos próprios para o efeito antes de ser tomada qualquer medida.

O estudo dos materiais isolantes apropriados às condições da unidade de betumes indica que, para uma determinada espessura ótima de cada material, a lã de silicato de terras alcalinas (AES) é o isolamento que garante menores perdas energéticas. Para o troço de linha de vapor estudado, o isolamento de AES com 106,20 mm de espessura pode otimizar até 11,66% do consumo de vapor mensal do PBN. Por outro lado, um novo isolamento de lã de rocha com uma espessura de 129,03 mm pode poupar 10,85% do consumo mensal de vapor. No entanto, deve ser realizada uma análise económica para aferir o retorno em investimento deste material e, conseqüentemente, comparar com a lã de rocha utilizada atualmente.

Foi desenvolvido um programa de operação dos equipamentos de aquecimento da unidade de betumes que indica qual deve ser o estado das válvulas da serpentina e permutador, bem como se os tanques devem recircular ao fim de semana, para garantir o consumo mínimo de vapor de média pressão, ao mesmo tempo que se atinge as temperaturas mínimas de expedição do betume. Um teste de 5 dias e para determinadas condições impostas, o programa sugere uma otimização de, no máximo, cerca de 20% do consumo mensal de vapor de média pressão.

10.2. Trabalhos Futuros

Com vista a melhorar a precisão do estudo realizado, sugere-se uma lista com trabalhos futuros. Relativamente ao estudo dos isolamentos, vem:

- Para que seja possível aferir o estado dos isolamentos das linhas de vapor, devem ser retiradas várias amostras do mesmo para análise da sua condutividade térmica efetiva em laboratório, através do método de placas quentes. Apesar do facto da empresa não possuir os equipamentos necessários para a realização dos testes em causa, poderá ser

uma mais valia para o PBN contactar uma empresa que faça esta análise, de modo a saber se se deve substituir o isolamento das linhas de vapor.

- De modo a poder comparar a susceptibilidade de diferentes isolamentos à humidade, poder-se-á estudar a relação entre condutividade térmica e o fator de difusão ao vapor de água de cada um, ou seja, saber quais as características que influenciam o fator de difusão ao vapor de água e se estes têm um peso relevante na condutividade térmica de um material isolante.
- É sabido que o PBN não utiliza outro isolamento para além da lã de rocha nas suas instalações. No entanto, nem todos os equipamentos estão sujeitos a temperaturas de 200°C, principalmente nas unidades 5400 e 5300. Deste modo, materiais com menor temperatura de operação (a rondar os 100°C) poderão ser estudados, de maneira a aferir se seriam economicamente viáveis a implementar nas unidades referidas.

Relativamente aos trabalhos futuros a nível operacional, recomendam-se os seguintes:

- Todos os estudos realizados à evolução da temperatura do betume dentro dos tanques, da influência dos permutadores e do consumo de vapor dos equipamentos de aquecimento poderão ser repetidos, pelo menos, duas vezes, de maneira a ter um maior número de amostras. Deste modo, a comparação entre os resultados medidos no PBN e os teóricos serão mais precisos. Outro fator que sai valorizado através deste estudo seria o aumento da precisão da previsão do programa de planeamento de operações da unidade de betumes, fazendo com que os cálculos realizados pelo mesmo fossem o mais próximo da realidade possível. Caso hajam operadores dedicados à realização deste estudo, o processo teria a duração prevista de, pelo menos, 1 ano e poder-se-ia estender até, no máximo, 2 anos.
- No momento da finalização do estudo, o programa encontrava-se com algumas condições que teriam de ser contornadas com o conhecimento de certas instruções descritas num manual de operações à parte. Assim sendo, sugere-se uma constante atualização das funcionalidades do mesmo à medida das necessidades sentidas durante a utilização do programa no dia-a-dia da operação da unidade de betumes. Prevê-se que, durante 6 meses, caso haja um foco especial no sentido de documentar e implementar no código do programa todas as funções necessárias a acrescentar, será tempo suficiente para tornar o programa mais preparado para as adversidades da operação de betumes.
- No estudo em causa, os equipamentos de medição dos testes realizados foram calibrados com uma antecedência considerada fiável, principalmente da sonda usada na medição de temperatura do betume na cisterna dos carros-tanque. No entanto, para estudos posteriores, aconselha-se uma calibração destes e/ou de outros equipamentos essenciais na fiabilidade dos resultados de medição. Para tal, deve ser realizado o pedido de trabalho para calibração dos equipamentos com cerca de 1 mês de antecedência do início dos estudos.
- Para que seja possível averiguar o atual funcionamento dos permutadores de calor, poderá ser interessante saber as suas características através das suas fichas técnicas. Desde o momento de iniciar a pesquisa destes dados nos arquivos de todos os equipamentos da Refinaria de Matosinhos até ao cálculo final do consumo de vapor dos permutadores, prevê-se não mais que 1 mês.
- Após a continuação do estudo aos permutadores dos tanques de betume, seria interessante comparar os resultados obtidos a partir da sonda de temperatura na cisterna dos carros-tanque com a temperatura do cais que, posteriormente, fica registada no sistema COTAS. Apesar de terem sido realizadas alterações para se fazer aproximar os valores das temperaturas registadas no cais 41, 42 e 44, não foi possível ter um número de medições satisfatório para avaliar se se verifica alguma discrepância entre os dois

valores em causa. Torna-se, assim, necessário rever todos os registos efetuados pelos cais. Estando este trabalho dependente do estudo da influência dos permutadores, desde o momento em que se inicia o estudo até ao seu término, aponta-se uma duração aproximada de 2 a 3 meses.

- Para que as temperaturas lidas no programa ENTIS sejam o mais próximas possível da verdadeira temperatura do betume, sugere-se a alteração das atuais sondas de temperatura localizadas no interior dos tanques por outras que realizam a média das temperaturas conforme o nível de betume. Tais sondas existiam no antigo Parque Real da Galp Energia, pelo que poderiam ser reaproveitados, caso as características do mesmo assim o permitissem.
- Atualmente, o recuperador de condensados gerados do consumo de VMP da unidade de betumes, alimenta a unidade 5400 de VBP. No entanto, poder-se-á estudar se existe vapor “flash” restante para poder alimentar a unidade 5300. Caso fosse possível, a poupança mensal seria de 100 m³/h, poupando cerca de 15% do consumo anual, tendo em conta os valores de VMP consumidos em 2014.

11. Bibliografia

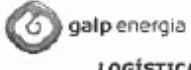
1. Energia G. Sobre Nós 2015. Available from: www.galpenergia.com.
2. Americas B. Galp Energia SGPS, S.A. 2015. Available from: <http://www.bnamericas.com>.
3. Arquivos Galp Energia.
4. ISQ. Relatório de Auditoria Energética (2011) ao Parque da Boa Nova. 2012.
5. Energia G. Protocolo de Logística/Supply 2015 da Galp Energia. 2015.
6. PBN. Relatório de Consumos de Vapor PBN - Janeiro 2015. 2015.
7. Read J, Whiteoak D, Hunter RN, Shell Bitumen. The Shell Bitumen handbook. London: Thomas Telford,; 2003. Available from: <http://www.columbia.edu/cgi-bin/cul/resolve?clio9293001>.
8. Bitesize. Fuels from Crude Oil - Fractional distillation.
9. Nuroil. Bitumen Applications.
10. PBN. Manual de Operações da Unidade 5600 (Betumes Asfálticos). In: Energia G, editor. Sistema de Qualidade dos Betumes - Parque da Boa Nova 2013.
11. PBN. Relatório de Expedições de 2014. Galp Energia, 2015.
12. Braziunas J, Sivilevicius H. Heat Transfer and Energy Loss in Bitumen Batching System of Asphalt Mixing Plant. 9th International Conference Environmental Engineering (9th Icee) - Selected Papers. 2014.
13. Vesma V, British Standards Institution. Energy management principles and practice. London: BSI,; 2012. Available from: <http://www.columbia.edu/cgi-bin/cul/resolve?clio10390359>.
14. MassEngineers. Boiler/Steam turbine parts (taken from NREL)
15. Kaynakli O. Economic thermal insulation thickness for pipes and ducts: A review study. Renew Sust Energ Rev. 2014;30:184-94.
16. IPS IPS-. Engineering Standard for Thermal Insulations, first ed. January, Ahwaz, Iran: National Iranian Oil Company; 1996.
17. Bahadori A. Thermal insulation handbook for the oil, gas, and petrochemical industries [Text]. Waltham, MA: Gulf Professional Pub.,; 2014. Available from: <http://www.columbia.edu/cgi-bin/cul/resolve?clio11261277>.
18. Karamanos A, Hاديarakou S, Papadopoulos AM. The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool. Energ Buildings. 2008;40(8):1402-11.
19. Conservation C. Recovering of Flat Roof and Formation of Terrace Office, Central London.
20. Factory F. Polystyrene Foam 24"x48".
21. HIWTC. Calcium Silicate Insulation.
22. ISAR. Isolamentos Térmicos e Acústicos.

23. Dominguez-Munoz F, Anderson B, Cejudo-Lopez JM, Carrillo-Andres A. Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials. *Energ Buildings*. 2010;42(11):2159-68.
24. Abdou A, Budaiwi I. The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content. *Constr Build Mater*. 2013;43:533-44.
25. Zhao SY, Zhang BM, He XD. Temperature and pressure dependent effective thermal conductivity of fibrous insulation. *Int J Therm Sci*. 2009;48(2):440-8.
26. Jerman M, Cerny R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energ Buildings*. 2012;53:39-46.
27. Termolan. Rocterm CQ 70 - CQ A 70.
28. Co. TFI. Rock Wool Mattress.
29. Rockwool. Manta Armada 159. 2007.
30. The Engineering ToolBox. Insulation Materials and Temperature Ranges. Available from: <http://www.engineeringtoolbox.com>.
31. Fiberglass American Lung Association. Available from: <http://www.lung.org>.
32. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: Centers for Disease Control and Prevention. Available from: <http://www.cdc.gov>.
33. Health NIOSa. Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention; 2002.
34. Industrial Insulation Group L. Calcium Silicate Insulation. Brunswick, USA2003.
35. Corning P. Foamglas T4, Cellular Glass Insulation. In: Ltd IBS, editor. Reading, Berkshire, UK2005.
36. Woodson RD. Construction hazardous materials compliance guide asbestos detection, abatement, and inspection procedures. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann,; 2012. Available from: <http://www.columbia.edu/cgi-bin/cul/resolve?clio9478836>.
37. Brown RC, Harrison PTC. Alkaline earth silicate wools - A new generation of high temperature insulation. *Regul Toxicol Pharm*. 2012;64(2):296-304.
38. LLC. Amianto Fibers. Environmental Analytical Services.
39. Amianto Direção-Geral da Saúde. Available from: www.dgs.pt.
40. (NAIMA) NAIMA. Facts About Moisture and Fiber Glass Metal Building Insulation. In: NAIMA, editor. Alexandria, Virginia, USA2004.
41. Canada Go. Mechanical Insulation Best Practices Guide. Natural Resources Canada; 2005.
42. Ceramics MT. Superwool Blankets (Alkaline Earth Silicate Wool). Stourport, England2009.
43. Insulation ST. Process, Marine and Offshore. 2013.
44. Corning P. FOAMGLAS Insulation Thermal Conductivity Values for The NAIMA 3E Plus Computer Program. Reading, Berkshire, UK2014.

45. Taborek J. Strategy of Heat Exchanger Design. NATO Advanced Study Institute. 1987.
46. Spirax-Sarco. The Steam and Condensate Loop: Spirax-Sarco Limited; 2008.
47. (CIBIO) CdlleBeRGdUdP. Rede de Parques Metropolitanos na Grande Área Metropolitana do Porto, Relatório Final. Fevereiro, Porto, Portugal: CIBIO, 2009.
48. Kayfeci M. Determination of energy saving and optimum insulation thicknesses of the heating piping systems for different insulation materials. *Energ Buildings*. 2014;69:278-84.
49. Spirax-Sarco. Spirax Sarco steam heating systems. Gloucestershire, UK2001.
50. General Specifications, Differential Pressure Transmitter (Model EJA110A). In: Corporation YE, editor. GS 01C21B01-00E. September, Tokyo, Japan2007.
51. Olmeda J, de Rojas MIS, Frias M, Donatello S, Cheeseman CR. Effect of petroleum (pet) coke addition on the density and thermal conductivity of cement pastes and mortars. *Fuel*. 2013;107:138-46.
52. Bahadori A, Vuthaluru HB. A simple correlation for estimation of economic thickness of thermal insulation for process piping and equipment. *Appl Therm Eng*. 2010;30(2-3):254-9.
53. Bahadori A, Vuthaluru HB. A simple method for the estimation of thermal insulation thickness. *Appl Energ*. 2010;87(2):613-9.

12. Anexos

Anexo A. Certificado de Qualidade - Betume de Pavimentação 50/70

		Certificado de Qualidade		
LOGÍSTICA		Nº de Série (Serial Number): 335/2014		Data de Emissão (Issue date): 06-01-2015
PRODUTO (Product): Betume de Pavimentação 50/70				
LOTE (Batch nr.): 5647/120/14				
Documentos de referência: Relatórios de Ensaios N.º 2014045331/01/0/PT		Emitido pelo laboratório acreditado N.90/L44 segundo a NP EN ISO/IEC 17025		
MÉTODO	PROPRIEDADE		RESULTADOS	Valores limite
EN 1426 (EN 12591:2009)	Penetração a 25°C, 100g, 5s (Consistência a temperaturas intermédias de serviço)	0.1 mm	59	50-70
EN 1427 (EN 12591:2009)	Temperatura de Amolecimento (Consistência a temperaturas elevadas de serviço)	°C	48	46-54
EN 12595	Viscosidade Cinemática a 135 °C	mm²/s	420 t)	≥ 295
EN 12592	Solubilidade	% (m/m)	100.0 t)	≥ 99.0
EN ISO 2592	Ponto de Inflamação (Vaso Aberto)	°C	334 t)	≥ 230
EN 12591-Anexo A (EN 12591:2009)	Índice de Penetração (Dependência da consistência em função da temperatura)	-	-1.2	-1.5 - +0.7
EN 12593 (EN 12591:2009)	Ponto de Fragilidade Fraass (Fragilidade a temperaturas baixas de serviço)	°C	-9t)	≤ -8
EN 12606-2	Teor em Parafinas ^b	% (m/m)	≤ 3.0 t)	≤ 4.5
Endurecimento				
EN 12607-1	Variação de Massa	% (m/m)	0.0 t)	-0.5 - +0.5
EN 1426 (EN 12591:2009)	Penetração a 25°C-100g-5s, (após EN 12607-1) (Durab. da consist. a temp. intermédias e elevadas de serv.)	%	77 t)	≥ 50
Cálculo (EN 12591:2009)	Aumento da Temperatura de Amolecimento (Durab. da consist. a temp. intermédias e elevadas de serv.)	°C	3 t)	≤ 11
Ensaio Adicionais				
ASTM D341mod	Temperatura para viscosidade a 170 mm²/s ^a	°C	154 t)	A reportar
ASTM D341mod (EN 12591:2009)	Temperatura para viscosidade a 280 mm²/s ^a Substancias perigosas regulamentadas ^a	°C	143 t)	A reportar

ESTE DOCUMENTO SÓ PODE SER REPRODUZIDO NA ÍNTEGRA, SALVO AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DA R&D-O-LOGÍSTICA. THIS DOCUMENT MAY ONLY BE REPRODUCED IN FULL, EXCEPT WITH APPROVAL OF R&D-O-LOGÍSTICA.

Documento inteiramente processado informaticamente. Full computer processed document

OBSERVAÇÕES (notes):

t) valores típicos (typical values)

^a NPD - Desempenho não determinado (no performance determined)

^b NR - Não requerido pela norma (no requirement)

O Responsável

Negócio de Betumes certificado de acordo com a ISO 9001:2008

 0866
Petróleos de Portugal - Petrogal, S.A. Rua Tomás da Fonseca, Torre C 1600-209 LISBOA
10 N°003RPC2013-07-01
EN 12591:2009 Betume de Pavimentação 50/70 Utilização em pavimentação
Penetração a 25 °C 50 - 70 x 0.1mm Temperatura de amolecimento 46 - 54°C Temperatura Fragilidade de Fraass 6 - 5°C Índice de penetração -1.5 a -0.7 Penetração retida 25 °C 100% Aumento da temperatura de amolecimento ≤ 11 °C

Anexo B. Folha de registo de temperatura do betume na armazenagem

Tanque – “Grade”	
Designação do teste	
Data de fim da receção	
Hora de fim de receção	
Temperatura de receção	
Temperatura de paragem de registo	

SEM AQUECIMENTO	
Registrar, de 2 em 2 horas, a temperatura a que se encontra o tanque ____ indicada no ENTIS. Parar o registo apenas quando esta temperatura atinge os ____°C.	

	1º Dia		2º Dia	
	Horas	Temperaturas	Horas	Temperaturas
	H1-1	T1-1	H2-1	T2-1
	H1-2	T1-2	H2-2	T2-2
	H1-3	T1-3	H2-3	T2-3
	H1-4	T1-4	H2-4	T2-4
	H1-5	T1-5	H2-5	T2-5
	H1-6	T1-6	H2-6	T2-6
	H1-7	T1-7	H2-7	T2-7
	H1-8	T1-8	H2-8	T2-8
	H1-9	T1-9	H2-9	T2-9
	H1-10	T1-10	H2-10	T2-10
	H1-11	T1-11	H2-11	T2-11
	H1-12	T1-12	H2-12	T2-12

	3º Dia		4º Dia	
	Horas	Temperaturas	Horas	Temperaturas
	H3-1	T3-1	H4-1	T4-1
	H3-2	T3-2	H4-2	T4-2
	H3-3	T3-3	H4-3	T4-3
	H3-4	T3-4	H4-4	T4-4
	H3-5	T3-5	H4-5	T4-5
	H3-6	T3-6	H4-6	T4-6
	H3-7	T3-7	H4-7	T4-7
	H3-8	T3-8	H4-8	T4-8
	H3-9	T3-9	H4-9	T4-9
	H3-10	T3-10	H4-10	T4-10
	H3-11	T3-11	H4-11	T4-11
	H3-12	T3-12	H4-12	T4-12

Anexo C. Instruções para o registo de temperaturas de betume na armazenagem

O controlo de temperatura na armazenagem de betumes pode ser efectuado na manipulação dos 3 seguintes componentes de aquecimento:

- Traçagens (através da recirculação)
- Permutadores
- Serpentina

Na figura encontram-se representadas as 6 possíveis combinações a ter em conta neste estudo para controlo da temperatura dos betumes nos tanques.

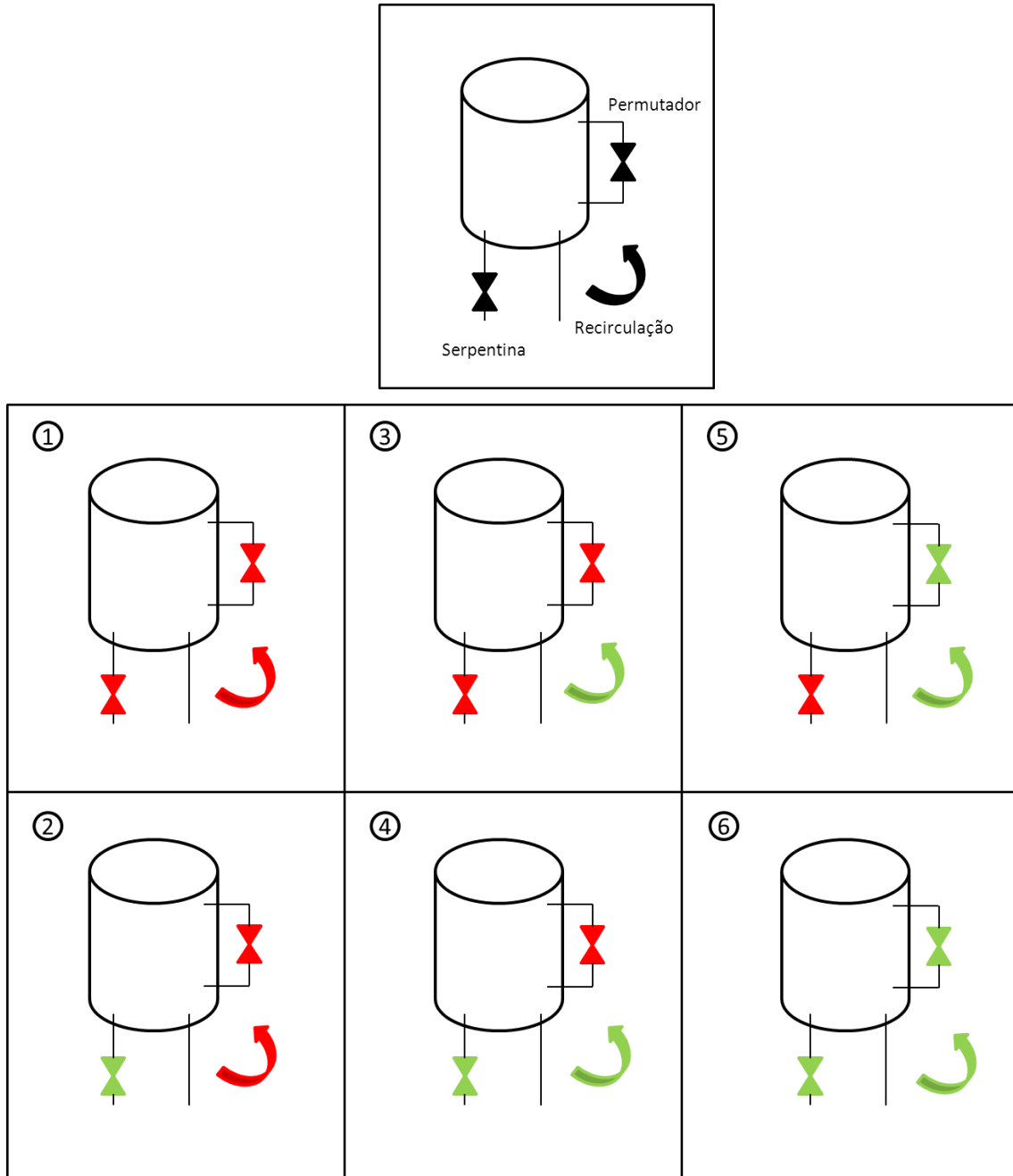


Figura 1 – Possíveis combinações dos componentes do sistema de aquecimento dos tanques da UN5600.

Na seguinte tabela é realizada a interpretação da figura acima.

Tabela 1 – Possíveis combinações dos componentes do sistema de aquecimento dos tanques da UN5600.

Combinação	Recirculação	Permutador	Serpentina
1	Desligado	Desligado	Desligado
2	Desligado	Desligado	Ligado
3	Ligado	Desligado	Desligado
4	Ligado	Desligado	Ligado
5	Ligado	Ligado	Desligado
6	Ligado	Ligado	Ligado

Existem 2 outras situações que seriam possíveis de realizar o estudo. São elas:

- Recirculação desligada, permutador ligado e serpentina desligada;
- Recirculação desligada, permutador ligado e serpentina ligada.

No entanto, estas situações não fazem sentido na prática, tendo em conta que o permutador teria a aquecer sempre a mesma massa de betume que se encontrava à saída do tanque. Assim, a temperatura que seria lida nos sistemas de medição de temperatura seria a do betume que se encontrava a arrefecer dentro do tanque, sem qualquer influência de uma fonte de calor. Tal situação já se encontra descrita em X.1 para a serpentina desligada e em X.2 para a serpentina ligada.

Idealmente, as situações de 1 a 6 deveriam ser estudadas para cada tanque, de modo a obter resultados mais fiáveis e, conseqüentemente, concluir as ações a tomar no sistema de aquecimento de cada um, dependendo da temperatura a que se encontra e o tempo estimado em que daria início à expedição. No entanto, no mundo corporativo é obrigatório satisfazer as necessidades do mercado, sendo esta a prioridade máxima de qualquer empresa. Note-se que cada “grade” de betume tem uma temperatura mínima de expedição que tem de respeitar para garantir a qualidade do produto ao cliente. É então necessário um equilíbrio entre o nível de fiabilidade dos resultados obtidos nos estudos em causa e o processo normal de expedição de betumes.

Deste modo, o que irá ser feito no estudo do controlo de temperaturas dos betumes será o seguinte:

- Saber quanto tempo é que os tanques aguentam sem aquecimento até atingirem uma determinada temperatura (definida posteriormente neste documento);
- Saber quanto tempo é que os tanques demoram a aquecer até à temperatura de expedição (definida pelo “grade” que armazenam);
- Comparar os actuais consumos de acordo com o processo normal da operação (estudados durante o projecto) com os resultados dos consumos das experiências realizadas.

Como o tempo do projecto em causa não permite o estudo individual de cada tanque, decide-se implementar 2 medidas:

- Encurtar o número de situações possíveis do controlo de temperatura dos betumes para aquelas que, provavelmente e de acordo com a experiência da empresa, trarão maiores vantagens a nível de consumo imediatamente após a receção dos tanques;
- Agrupar os 9 tanques da unidade 5600 em 3 grupos diferentes.

As situações a serem estudadas são seguidamente esquematizadas.

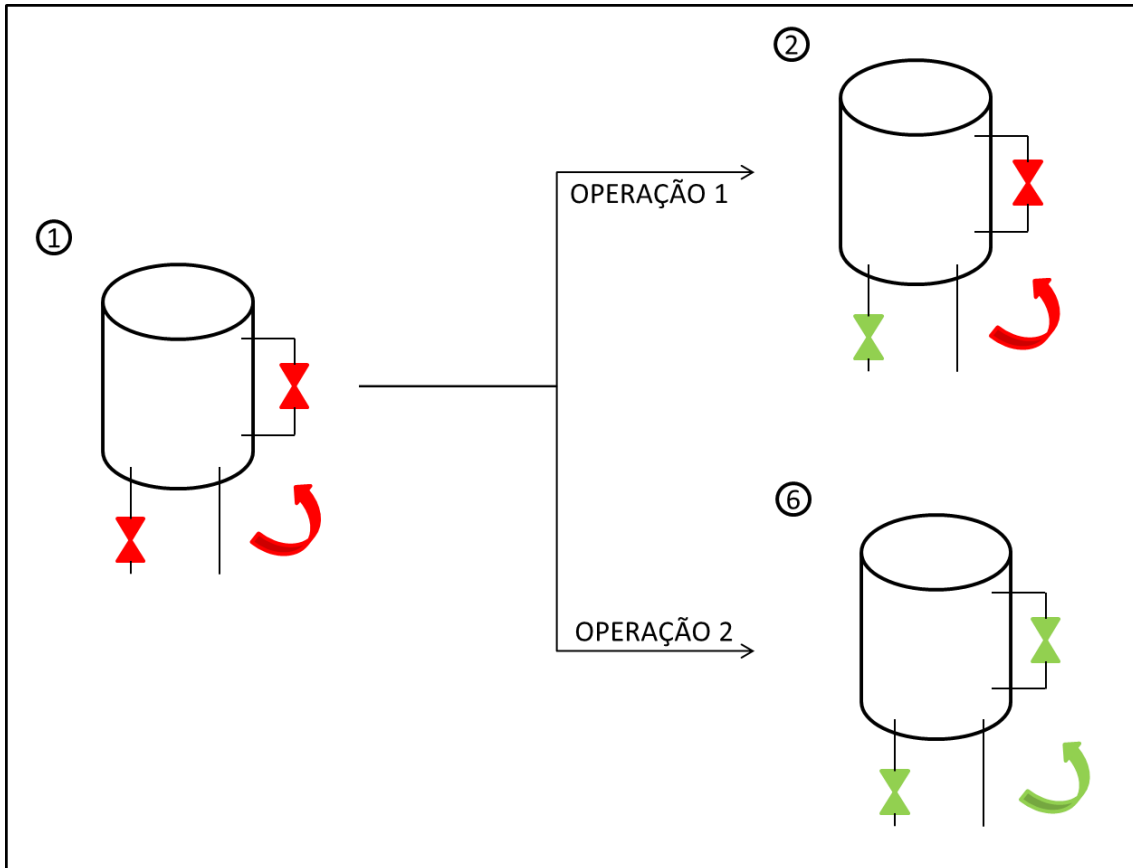


Figura 2 – Combinações dos componentes de aquecimento para as operações 1 e 2

Cada grupo de tanques deve ser submetido a estas duas operações, com a finalidade de se saber em qual das operações (1 ou 2) se consegue uma recuperação da temperatura do betume mais rápida e qual a mais lenta, sendo logicamente cada uma destas situações a menos e mais económica em termos de consumo de vapor por dia.

O agrupamento de tanques (Tabela 2) baseia-se nas características geométricas e nos equipamentos que estão associados aos tanques. Na Tabela 3 apresenta-se a nomenclatura que irá ser usada para cada um dos grupos supramencionados, de maneira a facilitar a denominação de cada grupo.

Tabela 2 – Agrupamento de tanques e “grade” correspondente

Grupo de Tanques	Tanques	“Grade”
Tanques A	TK 5640	160/220
	TK 5641	160/220
	TK 5642	50/70
Tanques B	TK 5645	50/70
	TK 5646	50/70
	TK 5647	50/70
Tanques C	TK 5648	35/50
	TK 5649	35/50
	TK 5650	35/50

Tabela 3 – Designação de cada teste de controlo de temperatura de armazenagem, dependendo do tanque em análise e da operação a executar

Grupo de Tanques	Operação	Designação do teste
Tanques A	1	A-1
	2	A-2
Tanques B	1	B-1
	2	B-2
Tanques C	1	C-1
	2	C-2

Operação do estudo

Este estudo deve ser realizado:

- Quando se aproxima a situação de finalização de receção de um tanque da UN5600
- Para os tanques de cada grupo e, se possível, os seguintes “grades”:
 - Tanques A – “grade” 160/220;
 - Tanques B – “grade” 50/70;
 - Tanques C – “grade” 35/50.

Procedimento:

- 1) Durante a receção, ter as válvulas da serpentina aberta e do permutador fechada;
- 2) Fechar as válvulas da serpentina e do permutador 1 hora antes do fim da receção;
- 3) Anotar a temperatura indicada pelo ENTIS (sonda de temperatura TT) 10 minutos após o fim da receção;
- 4) A partir deste momento, registar a evolução da temperatura do betume ao longo do tempo de 2 em 2 horas no ENTIS;
- 5) Caso a temperatura seja menor ou igual a T_X , deve-se proceder a uma das seguintes operações:
 - OPERAÇÃO 1: Abrir a 100% as válvulas da serpentina, ou
 - OPERAÇÃO 2: Abrir a 100% as válvulas da serpentina e do permutador, fazendo também a recirculação do tanque em causa.

Cada grupo de tanques deve ser submetido a estas duas operações em receções diferentes.

Exemplo: se na primeira receção, um dos tanques do grupo A foi submetido à OPERAÇÃO 1, na segunda receção de um tanque do grupo A irá ser feita a OPERAÇÃO 2. Na próxima receção de um dos tanques do grupo A, não será necessário ser feito qualquer estudo, a não ser que seja posteriormente comunicado.

Na tabela abaixo é indicado o valor da temperatura T_X indicada em 5) para cada “grade”. Esta temperatura é obtida a partir da seguinte fórmula:

$$T_X = T_{\text{expedição}} - 20^{\circ}\text{C}$$

Tabela 4 – Temperatura mínima limite para estudo da evolução da temperatura sem aquecimento

“Grade”	$T_{\text{expedição}}$	T_X
35/50	160°C	140°C
50/70	150°C	130°C
160/220	145°C	125°C

As temperaturas de expedição estão definidas conforme o protocolo de logística para o ano de 2015.

- 6) Registrar a evolução da temperatura de 2 em 2 horas no ENTIS, até que estabilize à temperatura de expedição. Deve também ficar registado o tempo que demora a atingir esta temperatura.

Notas:

- Deve-se ter em conta as seguintes condições climatéricas na mesma altura que se fazem os registos de temperatura:
 - Temperatura ambiente
 - Humidade
 - Precipitação
- O estudo só é válido para um nível de produto no tanque superior a 3 metros, de modo a que a temperatura indicada na TIC não seja influenciada pela temperatura do ar do tanque.
- É pedido que seja apontada a temperatura indicada no ENTIS, pois para um nível de betume superior a 3 metros, esta é a sonda mais indicada para a obtenção de uma temperatura mais próxima daquela a que se encontra o betume.

Anexo D. Registo de temperaturas do betume na armazenagem

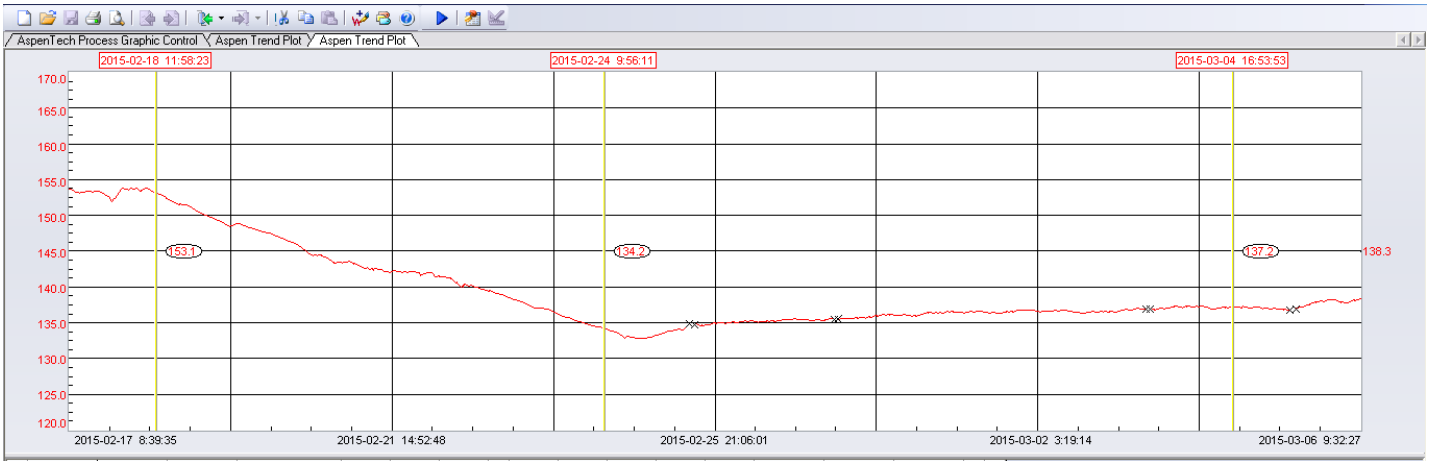


Figura 1 – Evolução da temperatura do TK 5641 sem aquecimento e com serpentina aberta.

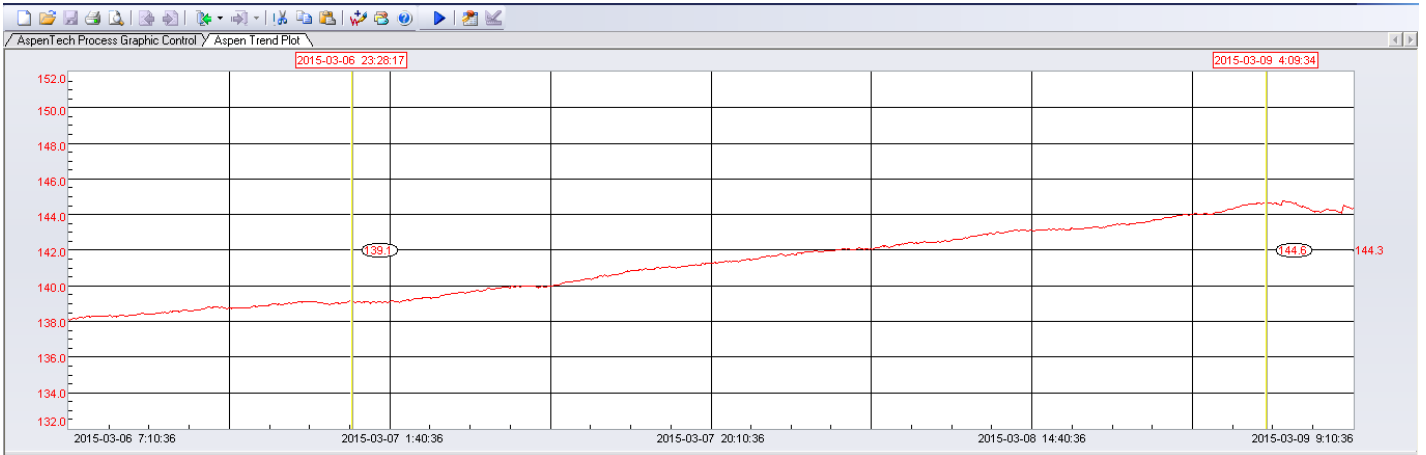


Figura 2 – Evolução da temperatura do TK 5641 a recircular.

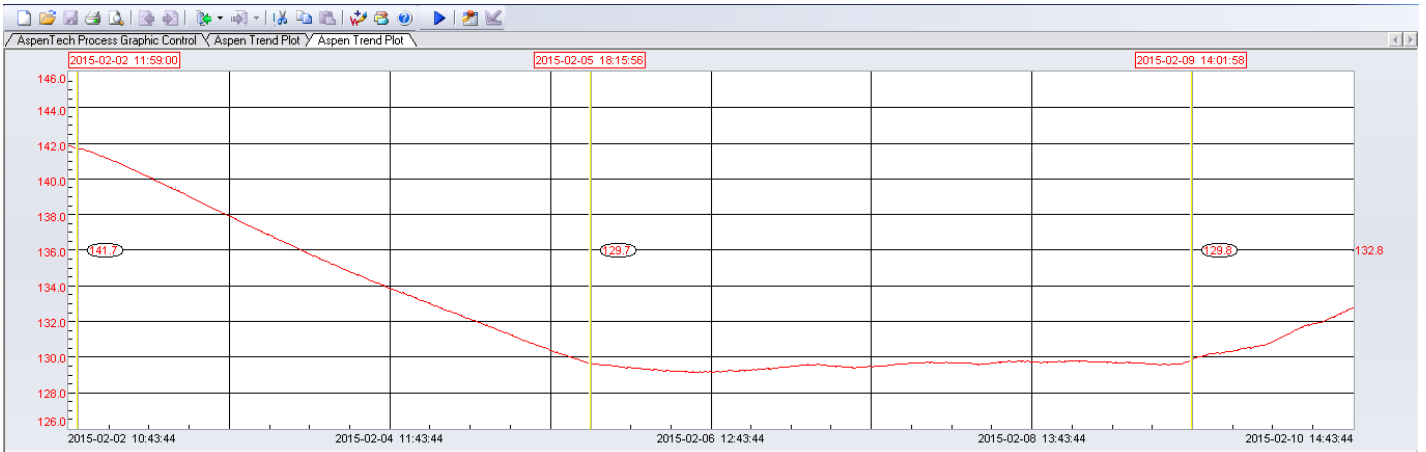


Figura 3 – Evolução da temperatura do TK 5642 sem aquecimento e com serpentina aberta.

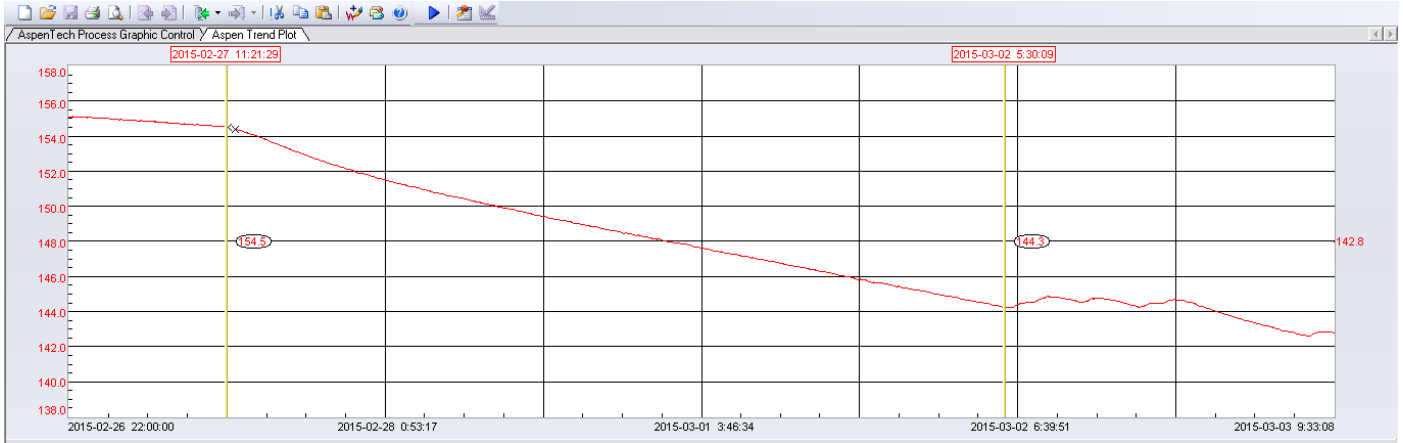


Figura 4 – Evolução da temperatura do TK 5645 sem aquecimento.

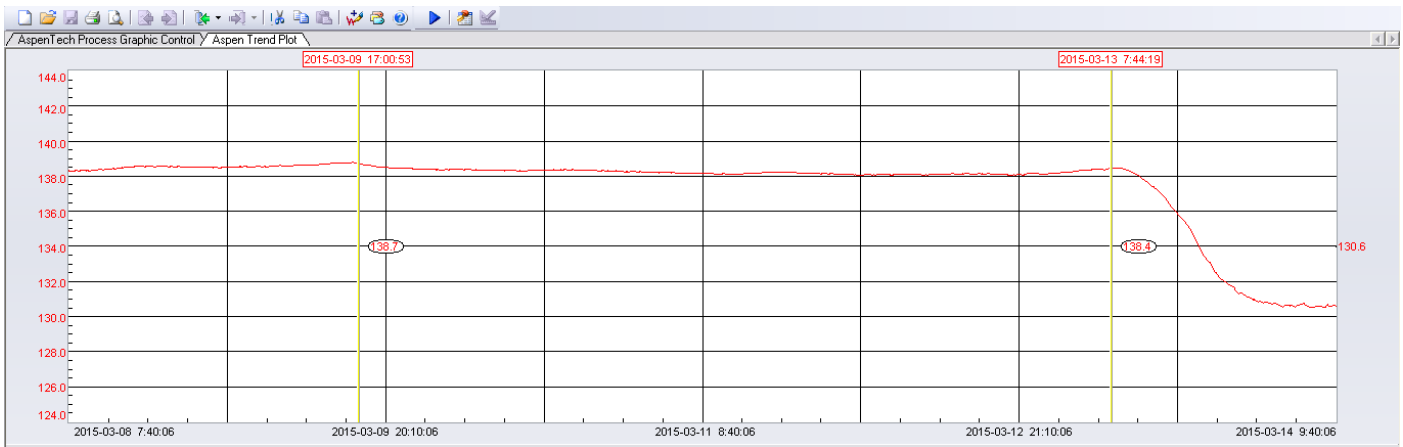


Figura 5 – Evolução da temperatura do TK 5645 com serpentina aberta.

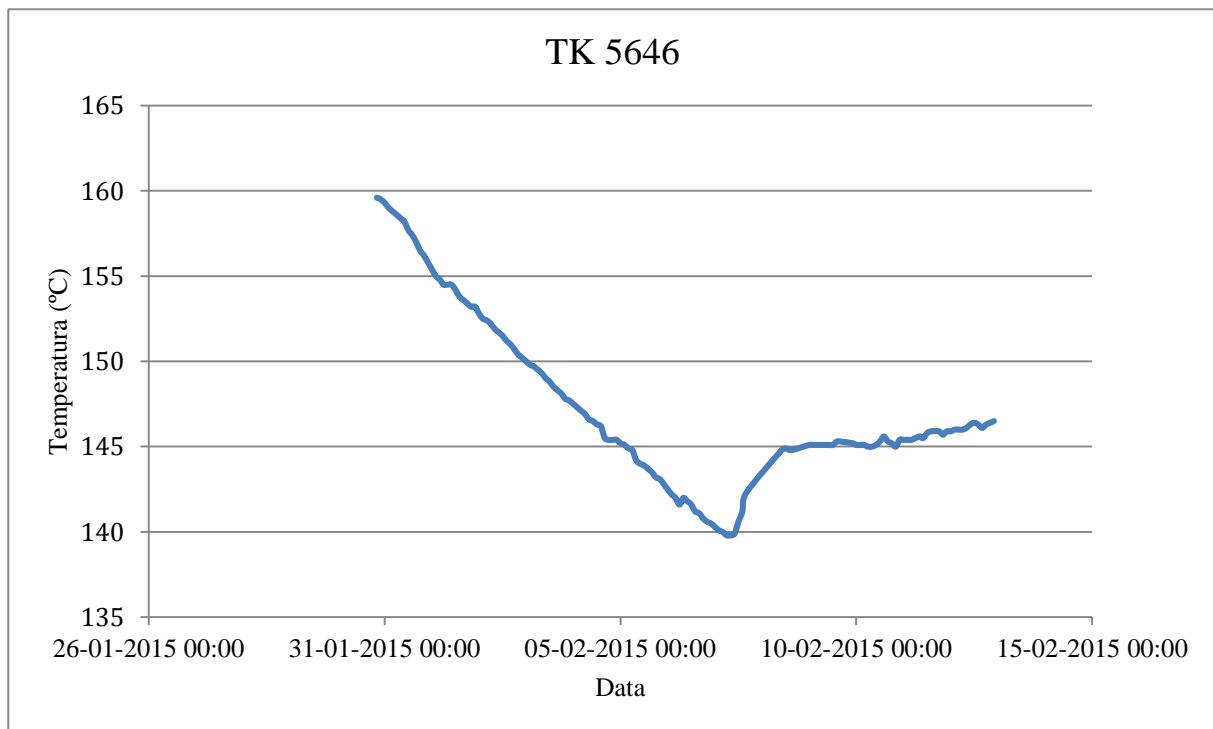


Figura 6 – Evolução da temperatura do TK 5646 sem aquecimento e com serpentina aberta.

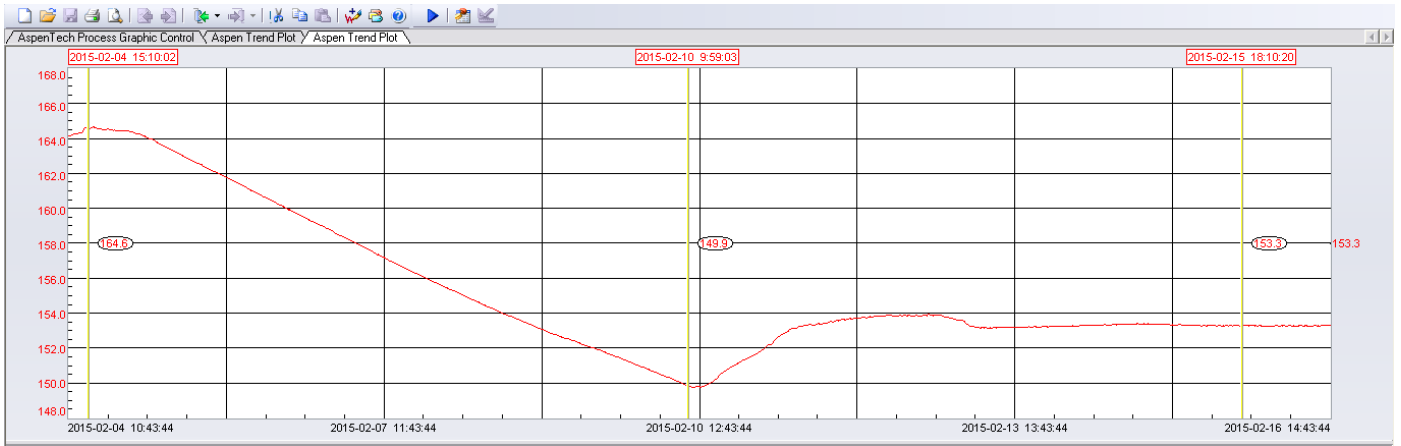


Figura 7 – Evolução da temperatura do TK 5648 sem aquecimento e com serpentina aberta.

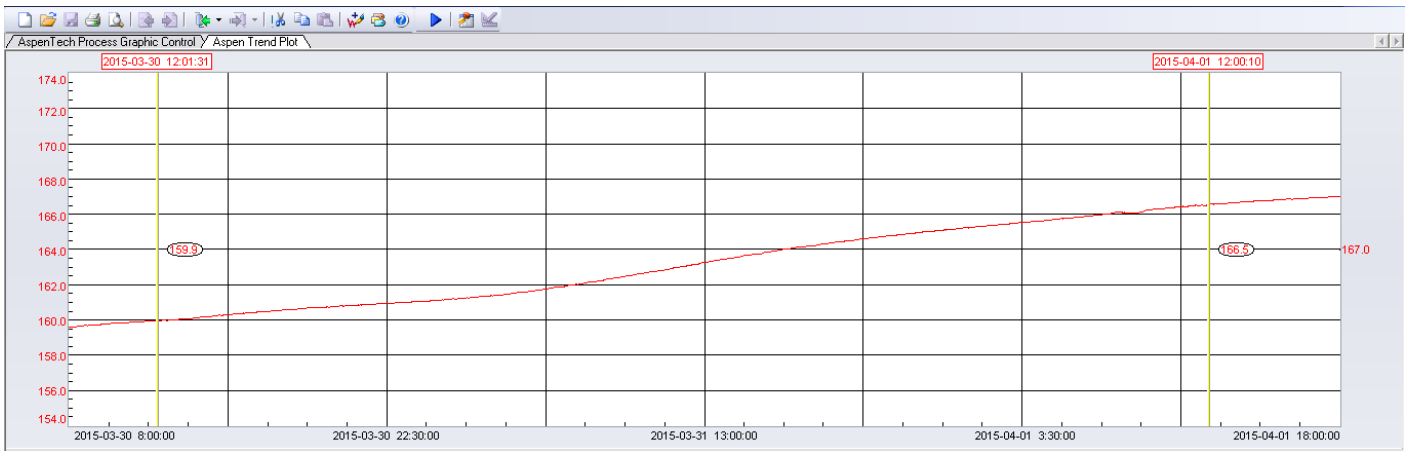


Figura 8 – Evolução da temperatura do TK 5648 a recircular.

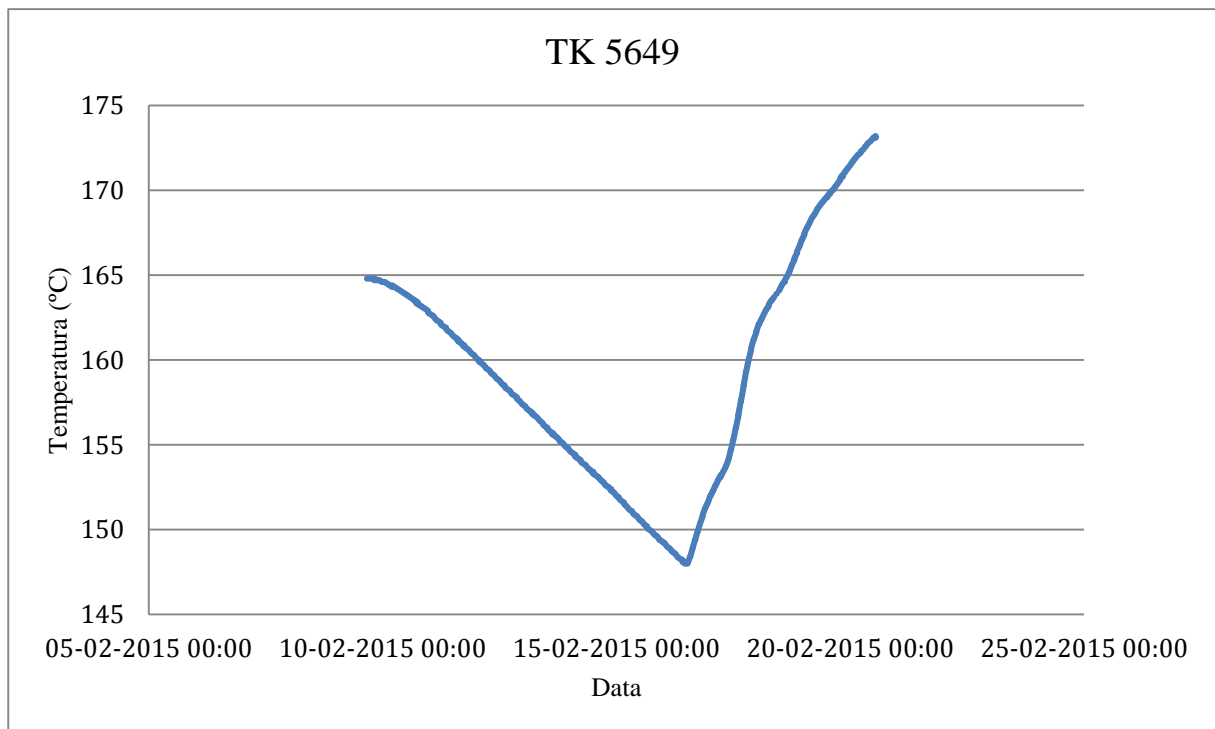


Figura 9 – Evolução da temperatura do TK 5649 sem aquecimento e a recircular.

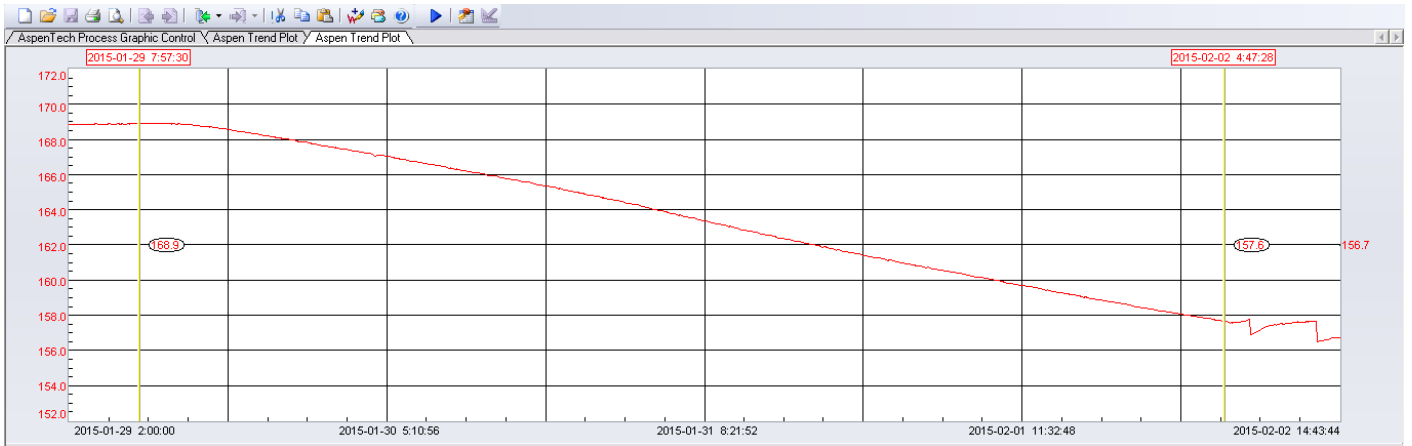


Figura 10 – Evolução da temperatura do TK 5650 sem aquecimento.

Anexo E. Folha de registo de temperaturas para o estudo da influência dos permutadores

Sempre que se abrir ou fechar a válvula de um permutador, deve-se primeiro fazê-lo na Honeywell e depois verificar no local se a TIC abriu ou fechou. Caso não o tenha feito, abre-se ou fecha-se manualmente para os 3 enchimentos.

Cais 41									
TK 5640	40-3: PERMUTADOR FECHADO				Data e hora de fecho:				
	Data	Hora	Ordem de carga	Nível inicial	Tentis	Tperm	Tserp	Tbraço	Nível final
Enchimento 1									
Enchimento 2									
Enchimento 3									
TK 5640	40-4: PERMUTADOR ABERTO				Data e hora de abertura:				
	Data	Hora	Ordem de carga	Nível inicial	Tentis	Tperm	Tserp	Tbraço	Nível final
Enchimento 1									
Enchimento 2									
Enchimento 3									

Cais 41									
TK 5641	41-3: PERMUTADOR FECHADO				Data e hora de fecho:				
	Data	Hora	Ordem de carga	Nível inicial	Tentis	Tperm	Tserp	Tbraço	Nível final
Enchimento 1									
Enchimento 2									
Enchimento 3									
TK 5641	41-4: PERMUTADOR ABERTO				Data e hora de abertura:				
	Data	Hora	Ordem de carga	Nível inicial	Tentis	Tperm	Tserp	Tbraço	Nível final
Enchimento 1									
Enchimento 2									
Enchimento 3									

Cais 42									
TK 5642	42-3: PERMUTADOR FECHADO				Data e hora de fecho:				
	Data	Hora	Ordem de carga	Nível inicial	Tentis	Tperm	Tserp	Tbraço	Nível final
Enchimento 1									
Enchimento 2									
Enchimento 3									
TK 5642	42-4: PERMUTADOR ABERTO				Data e hora de abertura:				
	Data	Hora	Ordem de carga	Nível inicial	Tentis	Tperm	Tserp	Tbraço	Nível final
Enchimento 1									
Enchimento 2									
Enchimento 3									

Anexo F. Instruções para o registo de temperaturas para o estudo da influência dos permutadores

O controlo de temperatura na expedição de betumes pode ser efectuado na manipulação dos 3 seguintes componentes de aquecimento:

- Traçagens
- Serpentinhas
- Permutadores

Traçagens

As linhas que transportam o betume desde a saída do tanque ao braço de enchimento são equipadas com 4 traçagens, influenciando deste modo a temperatura de expedição para os veículos cisterna. Como o controlo da abertura e fecho das válvulas das traçagens na UN5600 é realizado manualmente e muitas delas em localizações de difícil acesso para os operadores, não se vai ter em conta a variação do número de traçagens abertas durante a expedição e a sua influência na temperatura do betume. Deste modo, as 4 traçagens estarão sempre abertas durante este estudo.

Serpentinhas

À saída do tanque para a linha de expedição o betume tem que passar por um local que se distancia de cerca de 30cm da base do tanque, onde se localizam as serpentinhas. Deste modo, durante a expedição, a temperatura do betume é influenciada gradualmente pela serpentina à medida que se aproxima desta. Assim sendo, para o estudo do controlo de temperatura na expedição, as válvulas das serpentinhas irão estar fechadas.

Permutadores

Os permutadores são os equipamentos de aquecimento dos tanques que mais influenciam a temperatura do betume na expedição, isto porque se situam à saída do tanque para a linha de expedição. Deste modo, irá ser realizado o estudo dos permutadores com a válvula aberta e fechada.

Desta maneira, pode-se ilustrar este estudo da seguinte forma.

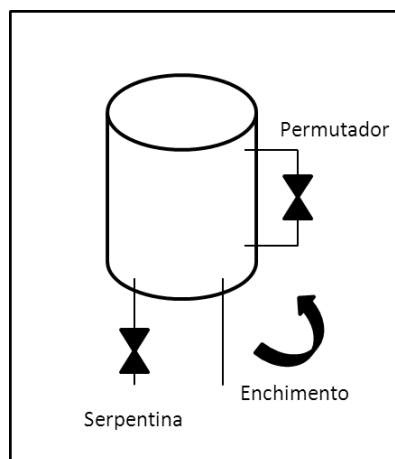


Figura 1 – Legenda do tanque de betume

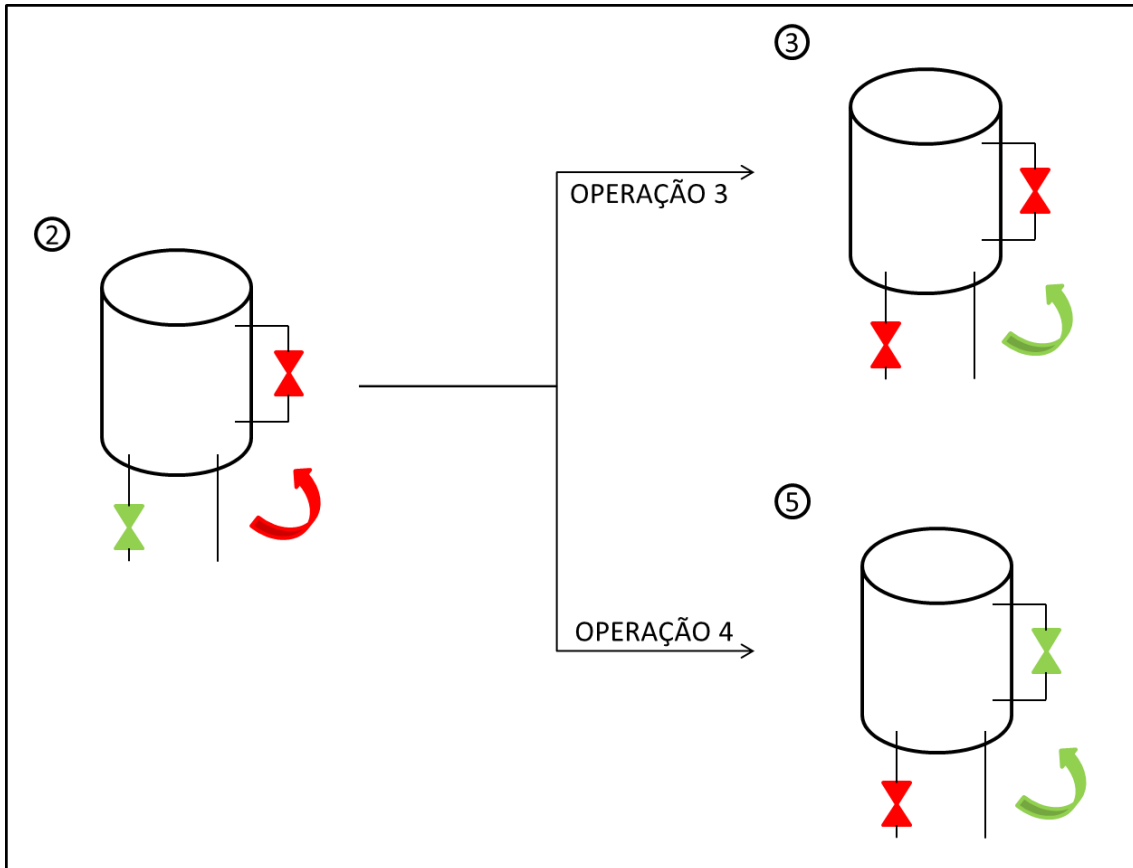


Figura 2 – Combinações dos componentes de aquecimento para as operações 3 e 4

Contrariamente ao método utilizado no estudo da temperatura dos tanques na armazenagem, não se deve agrupar os tanques em 3 grupos, consoante as suas características semelhantes. Isto deve-se ao facto das linhas de cada tanque terem comprimentos diferentes, o que consequentemente influencia diferentemente a temperatura do betume desde a saída do tanque até ao braço de enchimento, devido às traçagens equipadas nas linhas.

De seguida, define-se na Tabela 1 a designação de cada um dos testes.

Tabela 1 – Designação dos testes de controlo de temperatura de expedição, dependendo do tanque em análise e da operação a executar

Tanques	Operação	Designação do teste
TK 5640	3	40-3
	4	40-4
TK 5641	3	41-3
	4	41-4
TK 5642	3	42-3
	4	42-4
TK 5645	3	45-3
	4	45-4
TK 5646	3	46-3
	4	46-4
TK 5647	3	47-3
	4	47-4
TK 5648	3	48-3
	4	48-4
TK 5649	3	49-3
	4	49-4
TK 5650	3	50-3
	4	50-4

Operação do estudo

Este estudo deve ser realizado:

- Quando se aproxima a situação de expedição de um tanque da UN5600
- Para todos os tanques da UN5600

Procedimento:

- 1) Saber qual o teste a efetuar, dependendo dos tanques que estão a dar para enchimento e verificar que a nível de betume no tanque está acima de 3 metros
- 2) Antes do começo do registo da evolução das temperaturas à saída do tanque e no braço de enchimento, dependendo da operação em causa, ter a válvula da serpentina aberta ou fechada durante, pelo menos, 30 minutos
- 3) Começar o registo da temperatura do tanque no ENTIS e no braço de enchimento no COTAS 5 minutos antes do enchimento
- 4) Durante todo o enchimento, registar a evolução da temperatura à saída do tanque e no braço de enchimento
- 5) Repetir estudo noutros 2 enchimentos.

Anexo G. Gráficos de comparação do registo de temperatura dos vários sensores durante o estudo da influência dos permutadores

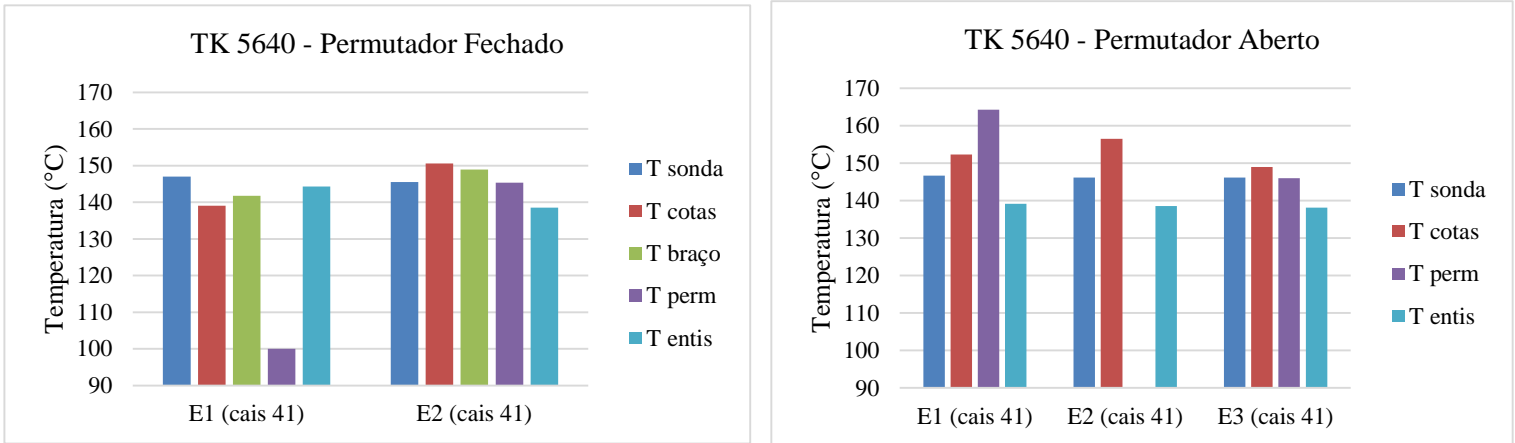


Figura 1 – Registo de temperaturas do TK 5640 com permutador fechado e aberto.

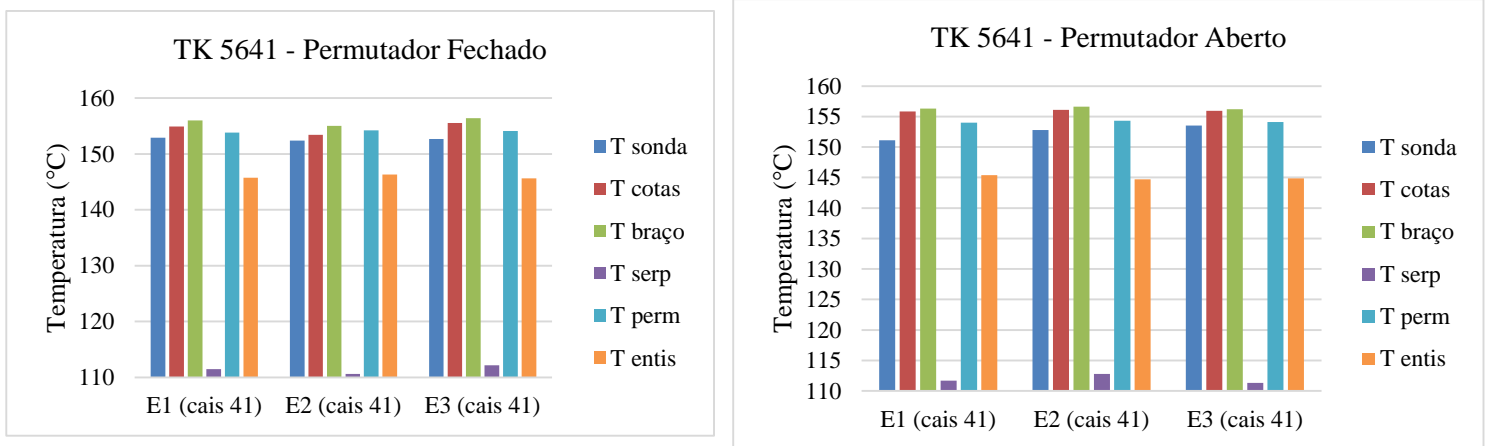


Figura 2 – Registo de temperaturas do TK 5641 com permutador fechado e aberto.

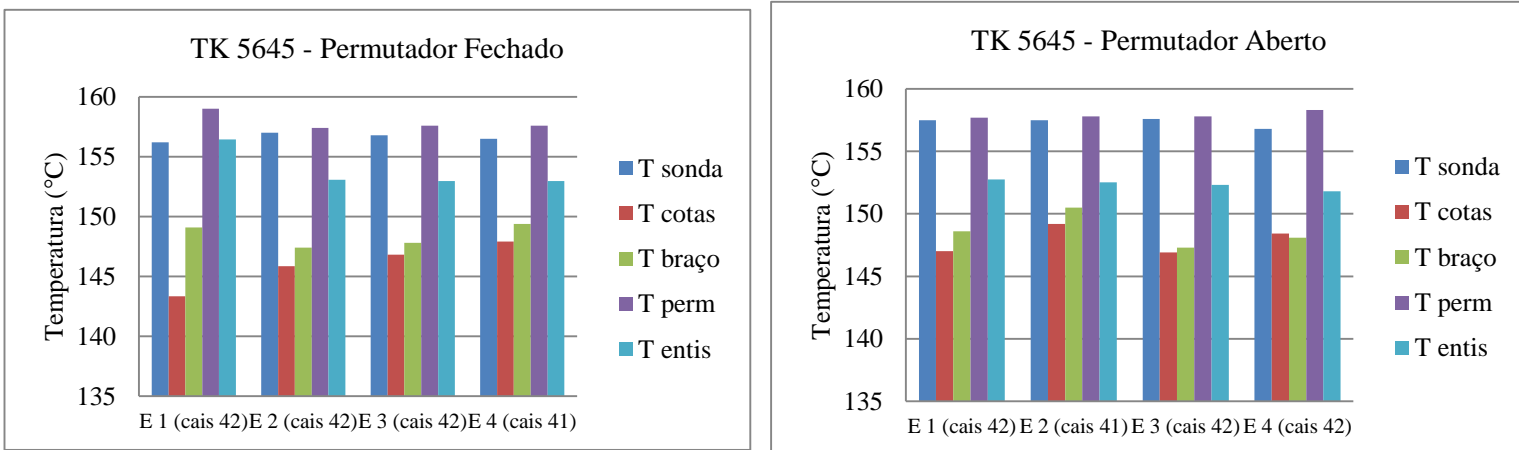


Figura 3 – Registo de temperaturas do TK 5645 com permutador fechado e aberto.

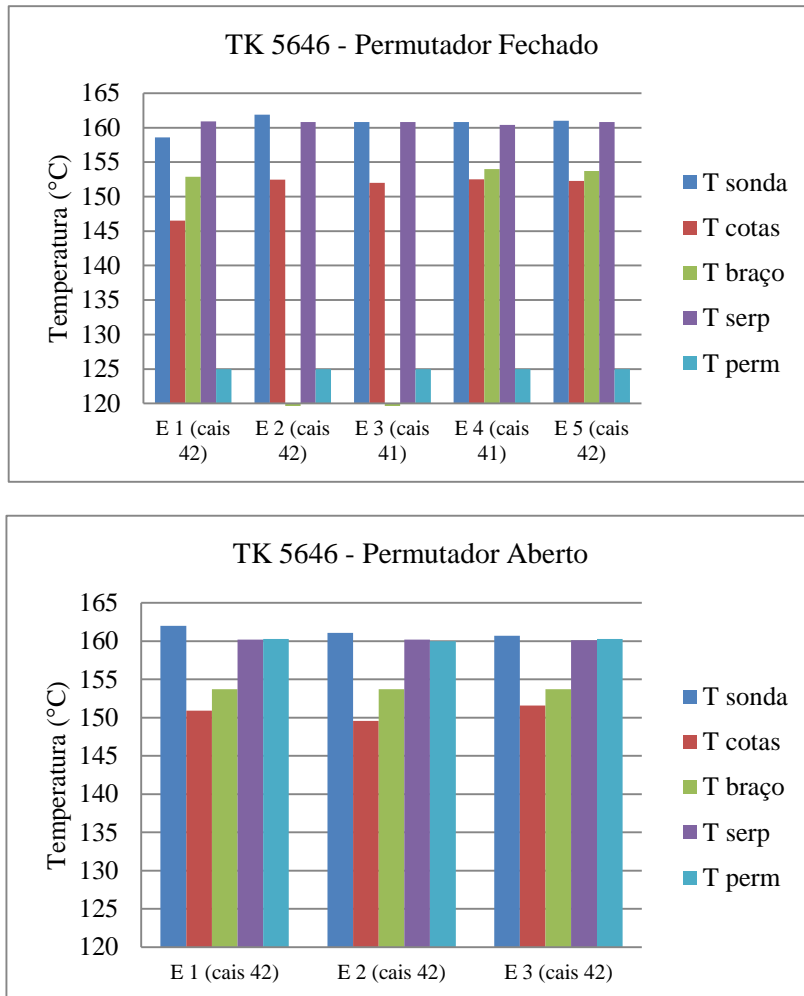


Figura 4 – Registo de temperaturas do TK 5646 com permutador fechado e aberto.

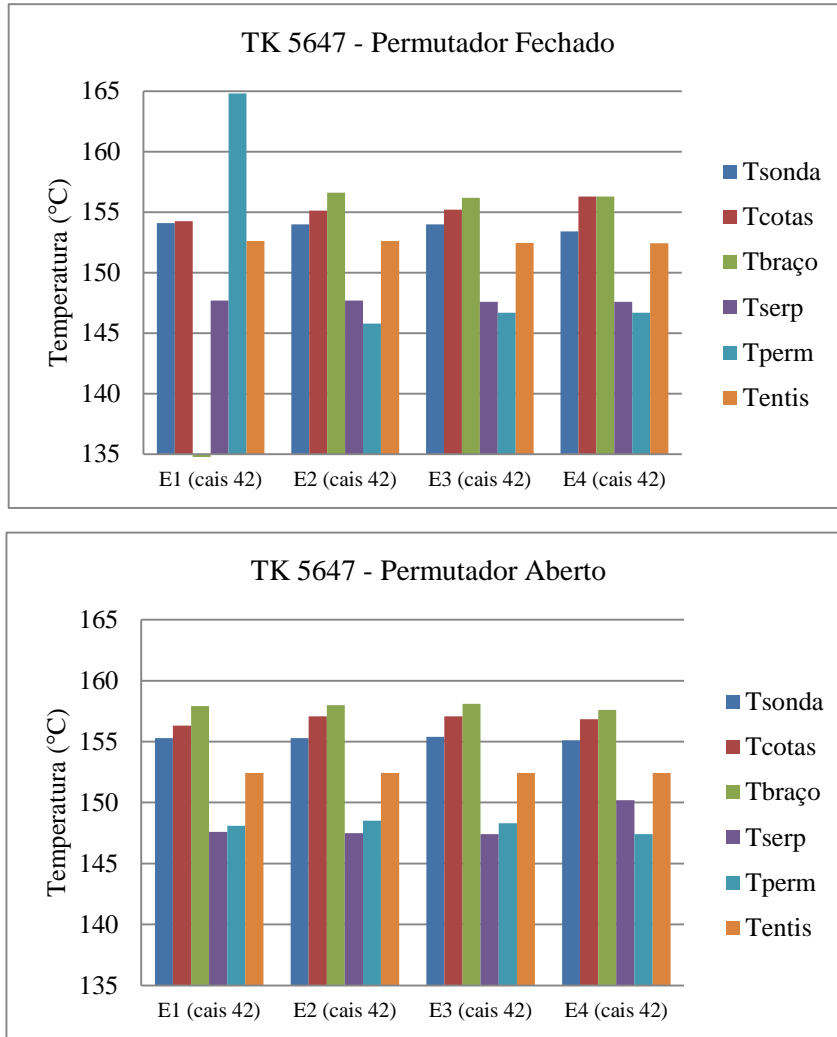


Figura 5 – Registo de temperaturas do TK 5647 com permutador fechado e aberto.

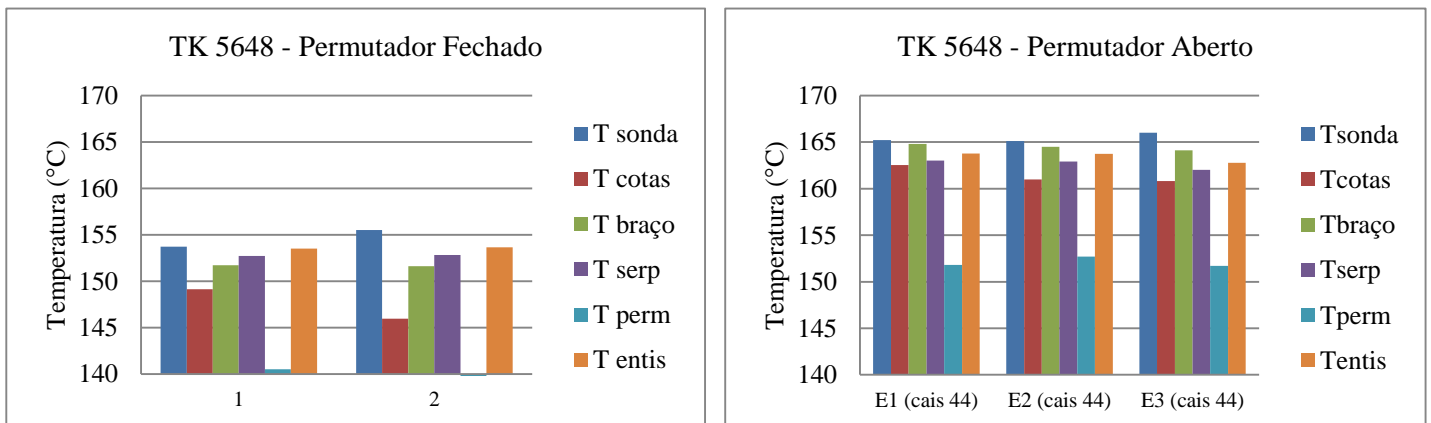


Figura 6 – Registo de temperaturas do TK 5648 com permutador fechado e aberto.

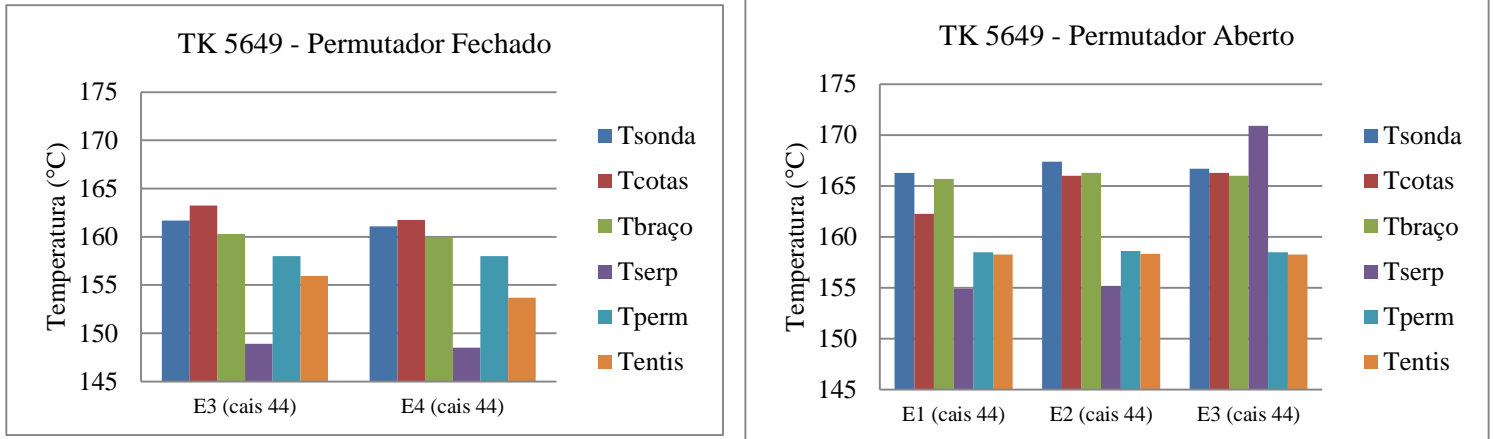


Figura 7 – Registo de temperaturas do TK 5649 com permutador fechado e aberto.

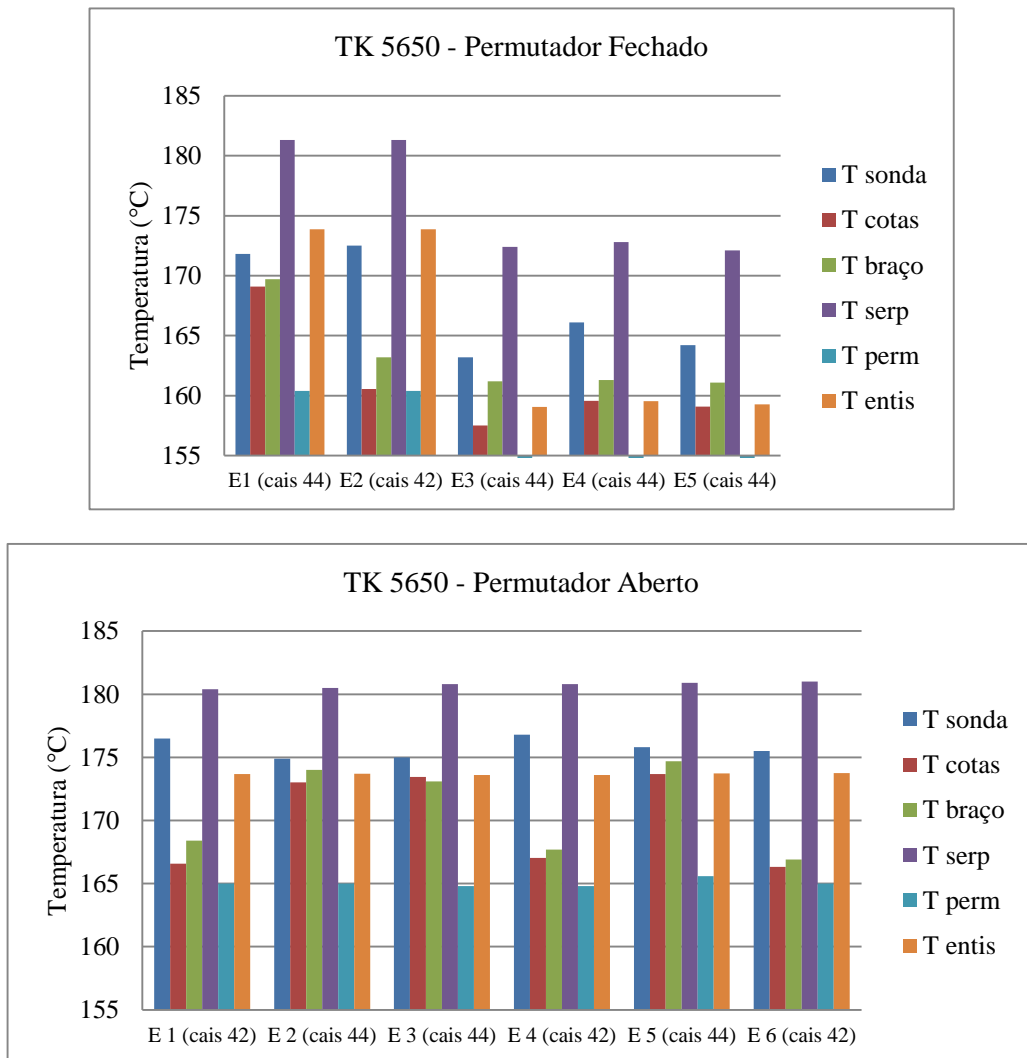


Figura 8 – Registo de temperaturas do TK 5650 com permutador fechado e aberto.

Anexo H. Instruções para o registo do consumo das unidades do PBN

Traçagens da UN5600

- Fechar válvula que dá para UN5400 – vapor de baixa
- Fechar válvula de vapor de média e de água de caldeira que dá para as bombas da UN5600 e para a armazenagem da UN5300 – vapor de baixa
- Fechar válvulas das serpentinas e dos permutadores
- Registrar consumo de vapor das traçagens da UN5600 na FI5901 durante 1 hora – vapor correspondente às traçagens na armazenagem e na expedição (cais)
- Fechar válvulas das traçagens do cais da UN5600
- Registrar consumo de vapor das traçagens de armazenagem da UN5600 na FI5901 durante 1 hora
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas

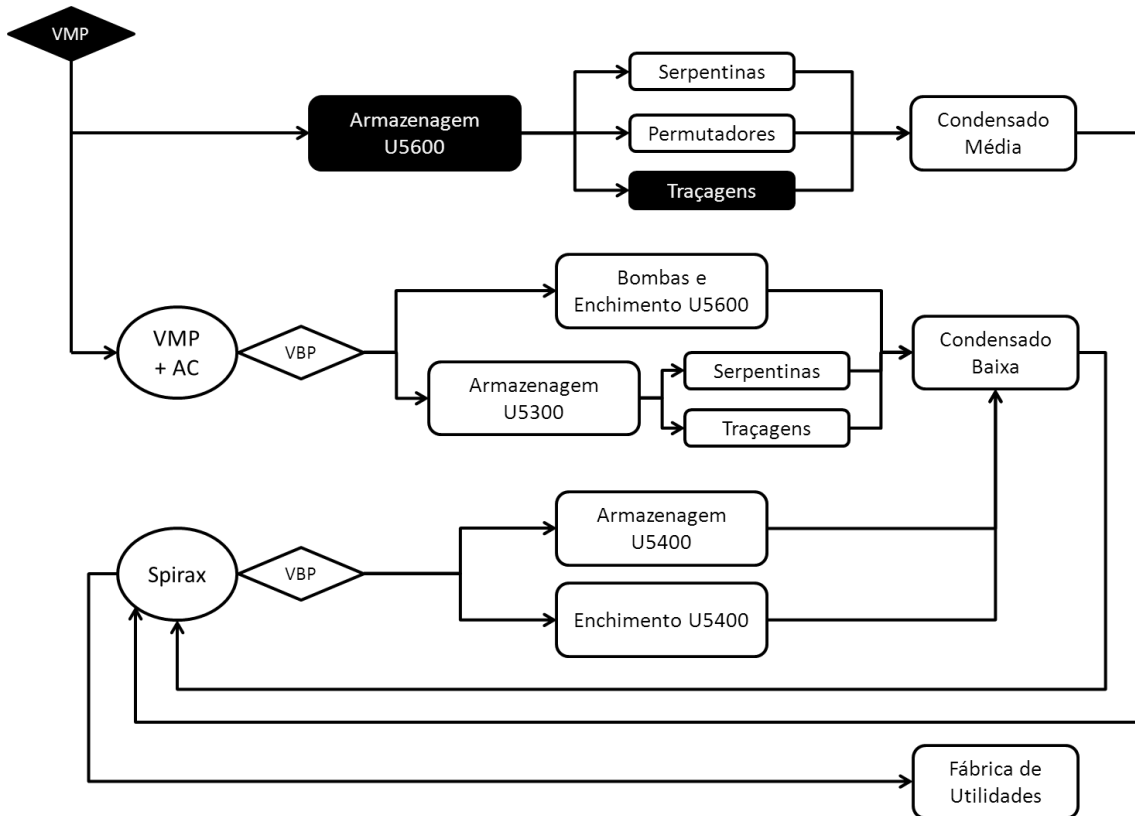


Figura 1 – Esquema para estudo de consumo de vapor das traçagens da UN5600.

Traçagens da UN5300

- Fechar válvula que dá para UN5400 – vapor de baixa
- Fechar válvula que dá para UN5600 – vapor de média
- Fechar traçagens da linha da fábrica de betume até à entrada da UN5600
- Fechar válvulas das serpentinas da UN5300
- Registrar consumo de vapor das traçagens da UN5300 na FI5901 durante 1 hora
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas

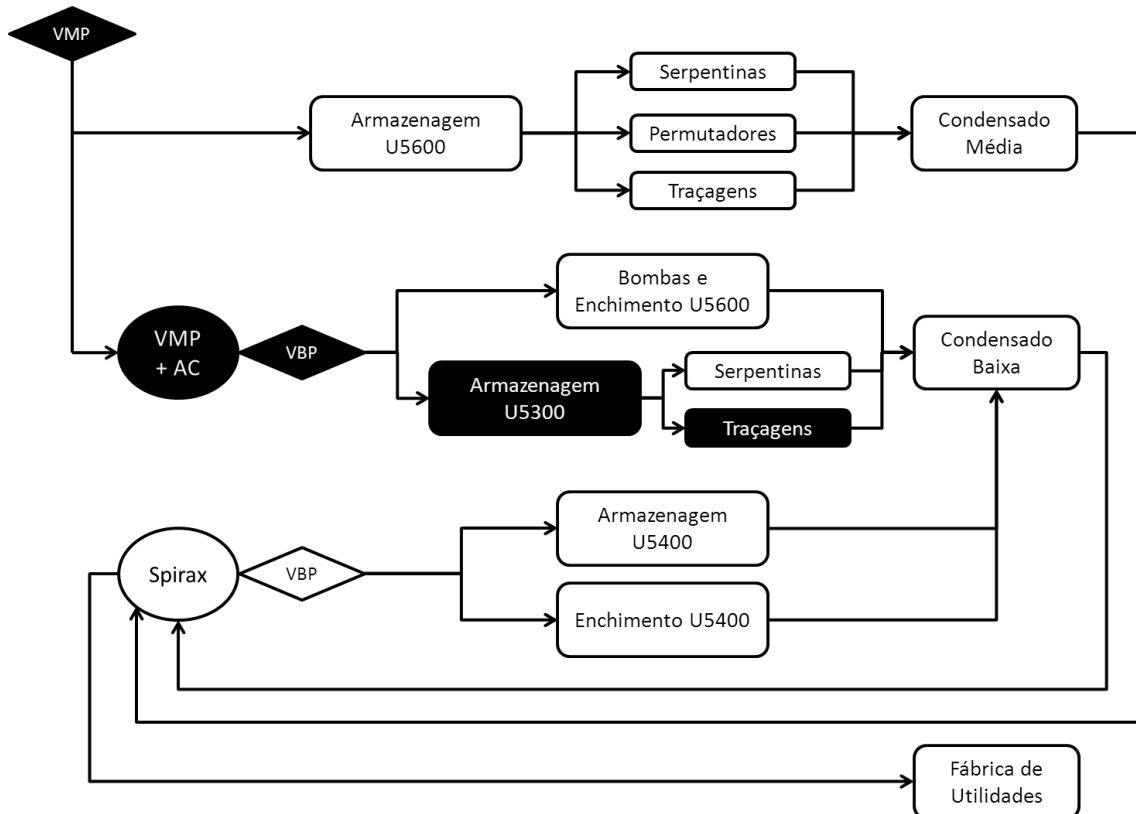


Figura 2 – Esquema para estudo de consumo de vapor das traçagens da UN5300.

Armazenagem da UN5400

- Fechar válvula de vapor de média e de água de caldeira que dá para as bombas da UN5600 e para a armazenagem da UN5300 – vapor de baixa
- Fechar válvula que dá para UN5600 – vapor de média
- Fechar traçagens da linha da fábrica de betume até à entrada da UN5600
- Fechar válvulas das serpentinas da UN5400
- Registrar consumo de vapor das traçagens da UN5400 na FI5901 durante 1 hora
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas

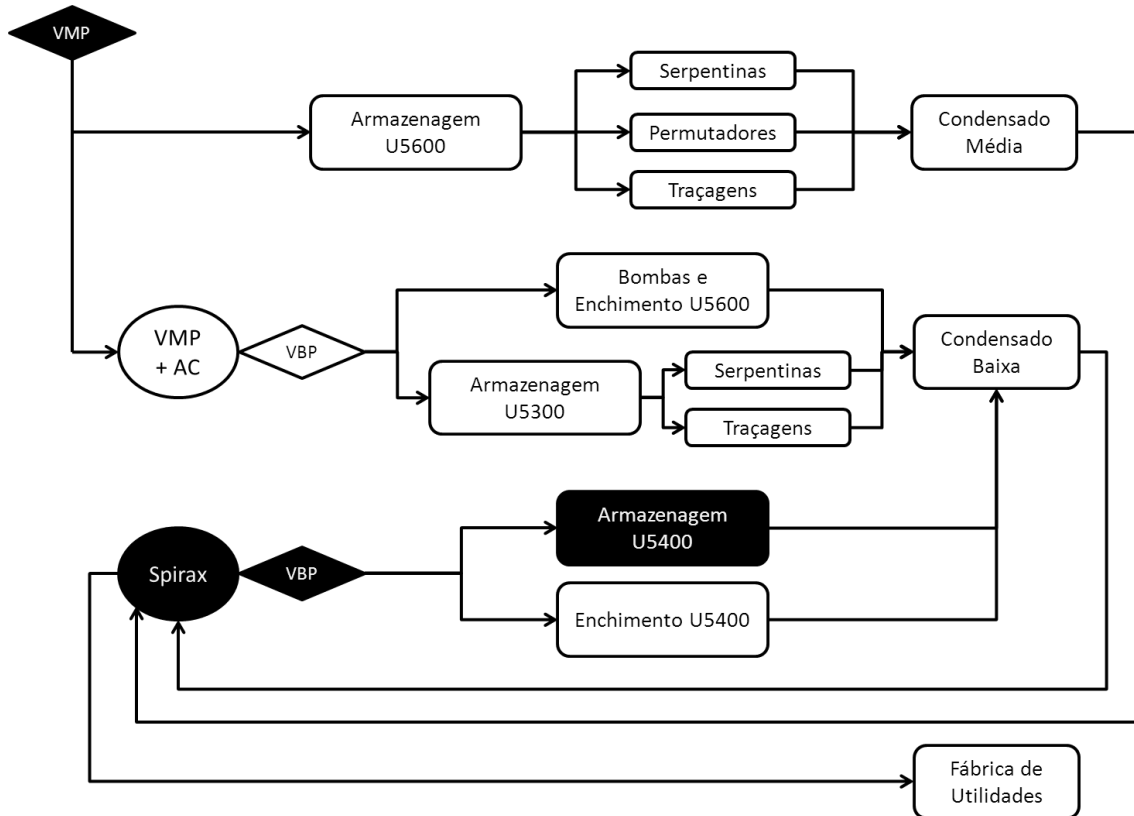


Figura 3 – Esquema para estudo de consumo de vapor da armazenagem da UN5400.

Serpentinas da UN5300

- Fechar válvula que dá para UN5400 – vapor de baixa
- Fechar válvula que dá para UN5600 – vapor de média
- Fechar traçagens da linha da fábrica de betume até à entrada da UN5600
- Fechar válvulas das traçagens da UN5300
- Registar consumo de vapor das traçagens da UN5300 na FI5901 durante 1 hora
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas

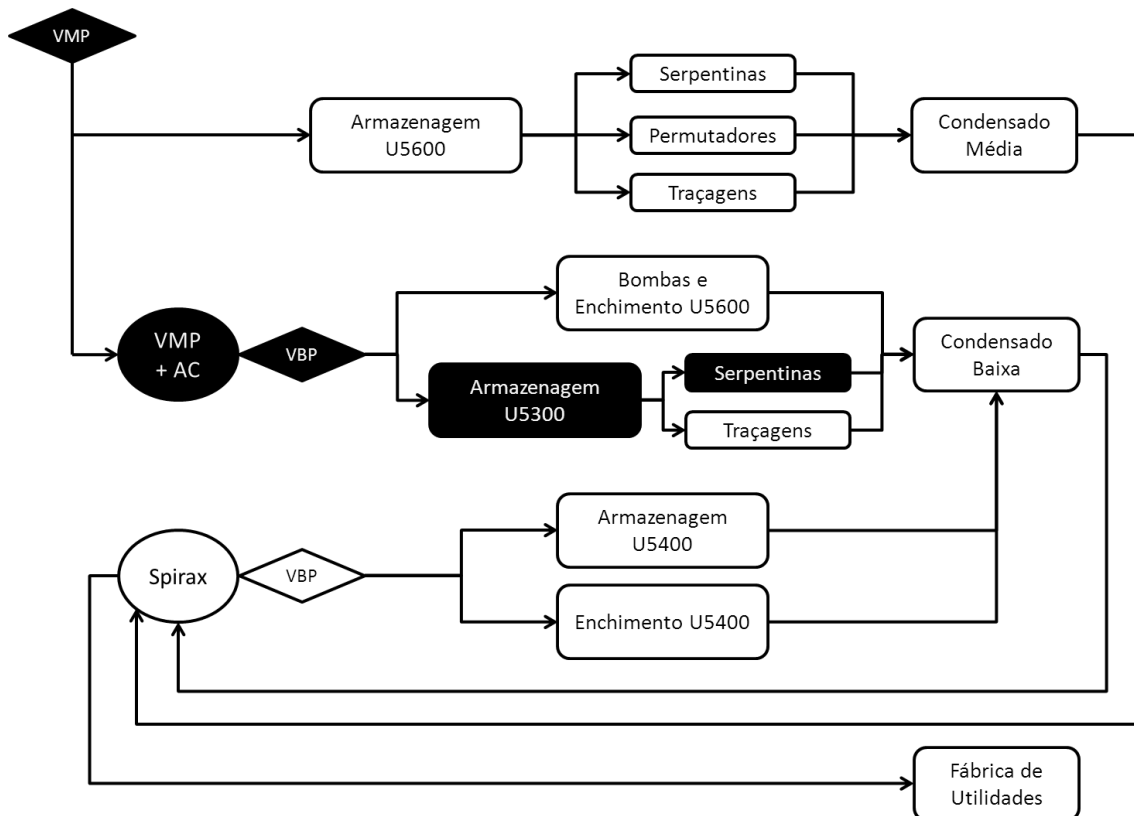


Figura 4 – Esquema para estudo de consumo de vapor das serpentinas da UN5300.

Bombas e Enchimento da UN5600

- Fechar válvula que dá para UN5400 – vapor de baixa
- Fechar válvula que dá para UN5600 – vapor de média
- Fechar traçagens da linha da fábrica de betume até à entrada da UN5600
- Fechar válvula que dá para a UN5300
- Registrar consumo de vapor na FI5901 durante 1 hora
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas
- Repetir processo para 3 enchimentos de veículos cisternas de betumes, contabilizando, deste modo a vapor gasto durante o enchimento
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas

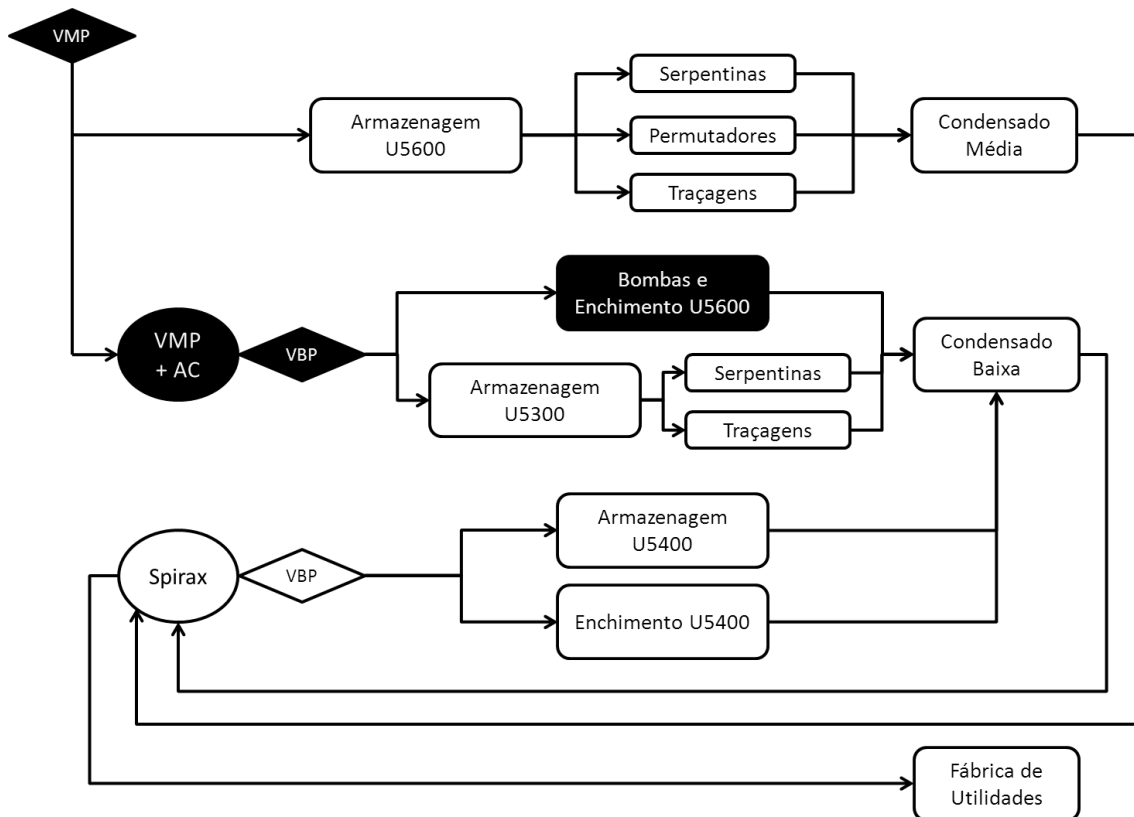


Figura 5 – Esquema para estudo de consumo de vapor das bombas e enchimento da UN5600.

Enchimento da UN5400

- Fechar válvula de vapor de média e de água de caldeira que dá para as bombas da UN5600 e para a armazenagem da UN5300 – vapor de baixa
- Fechar válvula que dá para UN5600 – vapor de média
- Fechar traçagens da linha da fábrica de betume até à entrada da UN5600
- Fechar válvulas das serpentinas da UN5400
- Registrar consumo de vapor na FI5901 durante 3 enchimentos de viaturas cisternas de combustível
- Reabrir válvulas, pelo menos, durante 2 horas

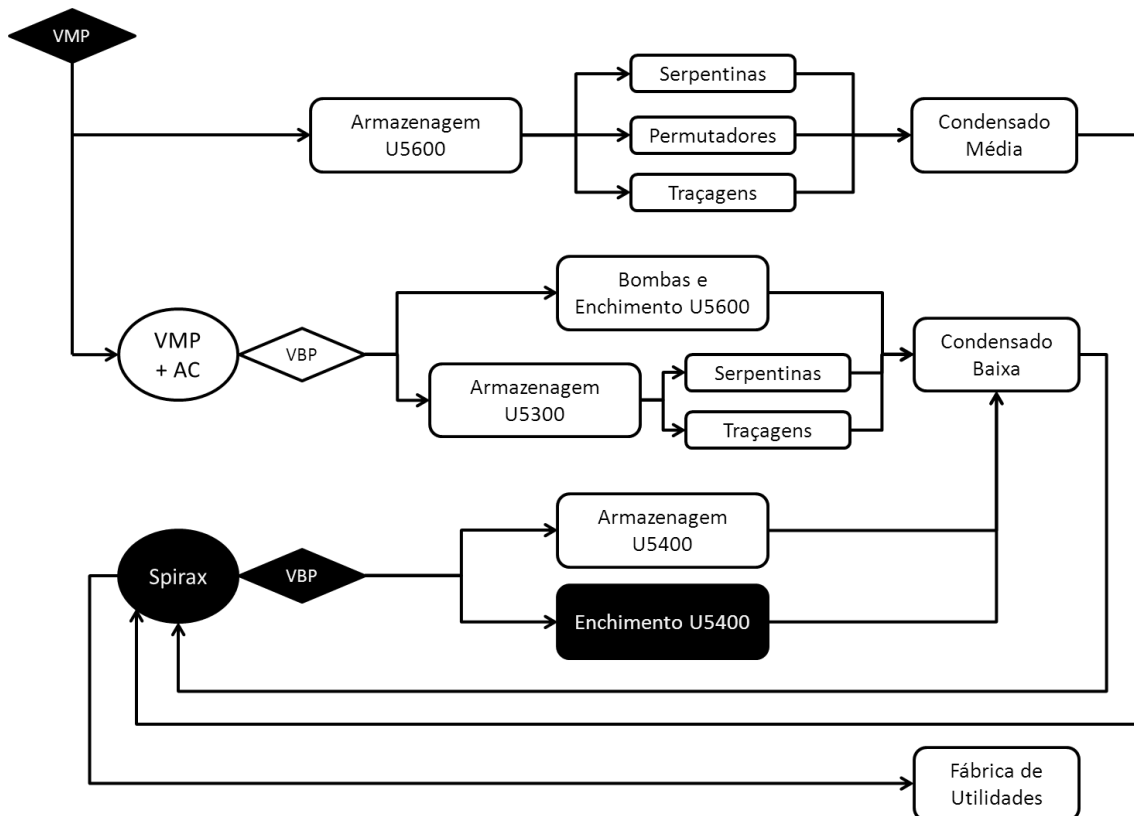


Figura 6 – Esquema para estudo de consumo de vapor do enchimento da UN5400.

Serpentinas da UN5600

- Fechar válvula que dá para UN5400 – vapor de baixa
- Fechar válvula de vapor de média e de água de caldeira que dá para as bombas da UN5600 e para a armazenagem da UN5300 – vapor de baixa
- Fechar todas as traçagens da UN5600
- Fechar válvulas de todos os permutadores e serpentinas da UN5600 e verificar na unidade se todas ficaram fechadas
- Verificar se consumo de vapor está em zero. Se não estiver, é porque existem válvulas ou traçagens abertas. Fechar essas válvulas. Caso não sejam detectadas, verificar o consumo para depois subtrair às medições a efetuar posteriormente
- Para cada um dos tanques:
 - Abrir a válvula da serpentina a 100%
 - Esperar 10 minutos para garantir a abertura total da válvula
 - Registrar o consumo de vapor na FI5901 durante 30 minutos
 - Fechar válvula e repetir processo para outro tanque
- Reabrir as válvulas, pelo menos, durante 8 horas

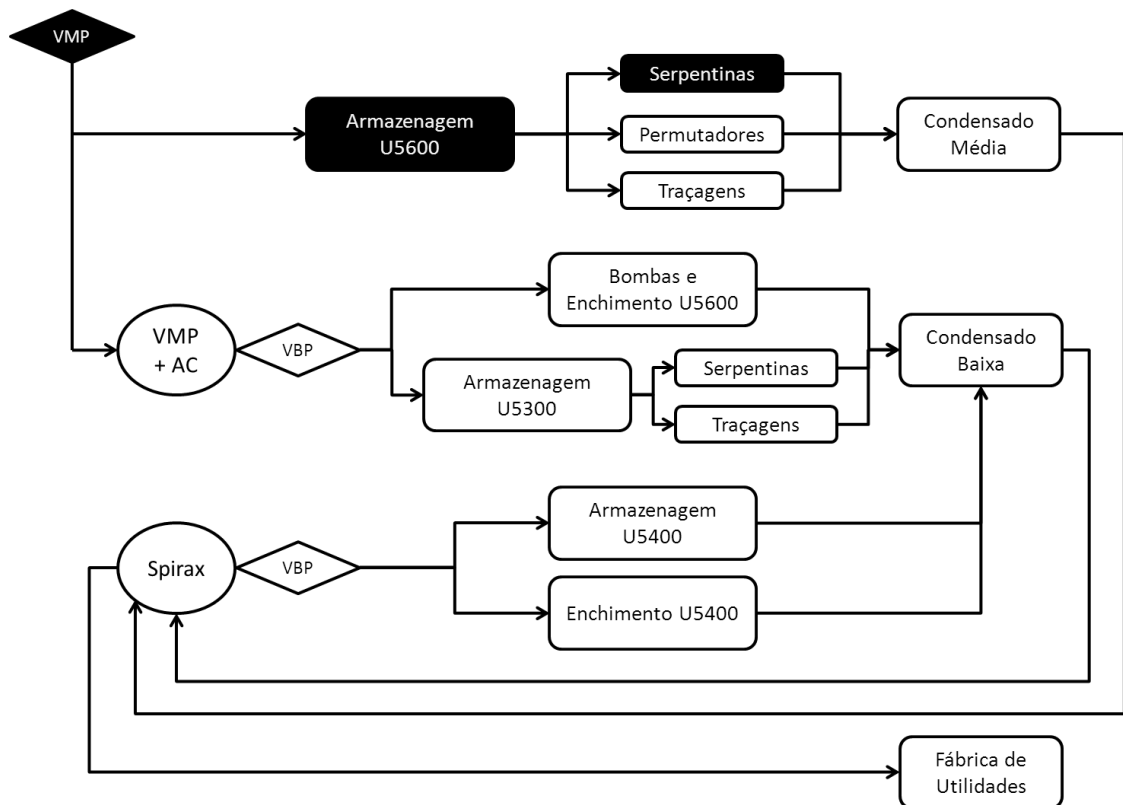


Figura 7 – Esquema para estudo de consumo de vapor das serpentinas da UN5600.

Permutadores da UN5600

- Fechar válvula que dá para UN5400 – vapor de baixa
- Fechar válvula de vapor de média e de água de caldeira que dá para as bombas da UN5600 e para a armazenagem da UN5300 – vapor de baixa
- Fechar todas as traçagens da UN5600
- Fechar válvulas de todos os permutadores e serpentinas da UN5600 e verificar na unidade se todas ficaram fechadas
- Verificar se consumo de vapor está em zero. Se não estiver, é porque existem válvulas ou traçagens abertas. Fechar essas válvulas. Caso não sejam detectadas, verificar o consumo para depois subtrair às medições a efetuar posteriormente
- Para cada um dos tanques:
 - Abrir a válvula do permutador a 100%
 - Esperar 10 minutos para garantir a abertura total da válvula
 - Registrar o consumo de vapor na FI5901 durante 30 minutos
 - Fechar válvula e repetir processo para outro tanque
- Reabrir as válvulas, pelo menos, durante 8 horas

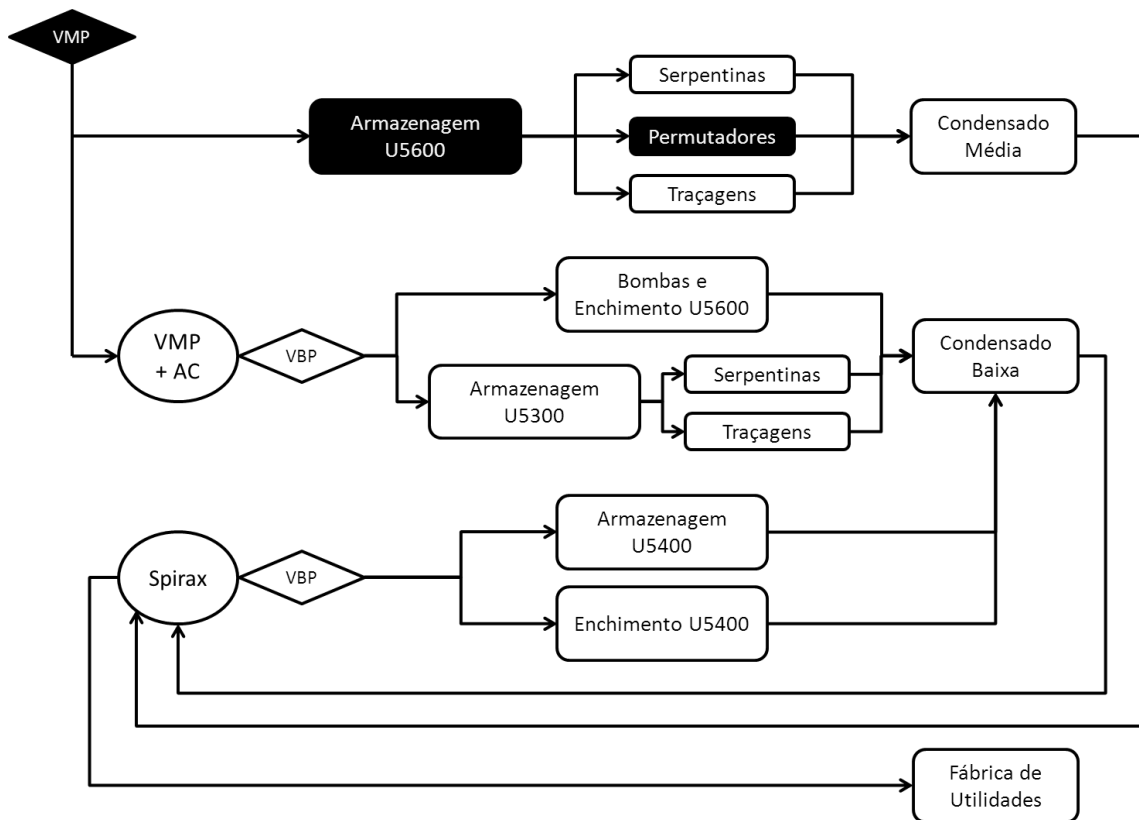


Figura 8 – Esquema para estudo de consumo de vapor dos permutadores da UN5600.

