



Avaliação de emissões difusas de COV em ambiente industrial e propostas para a sua redução

CAROLINA GONÇALVES LOURENÇO

julho de 2023

Avaliação de emissões difusas de COV em ambiente industrial e propostas para a sua redução

**Dissertação Submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Química, área de especialização Energia e Biorrefinaria**

Carolina Gonçalves Lourenço

Orientação na empresa: Engenheiro Nuno Carvalho

Orientação no ISEP: Engenheira Isabel Brás Pereira

Julho, 2023

Agradecimentos

Após muita luta e determinação chegou a hora de celebrar e olhar para o futuro com esperança. Quero começar por agradecer às pessoas que me ajudaram e tornaram tudo isto possível, isto é, aos meus orientadores por parte da empresa e do ISEP. Ao Engenheiro Nuno Carvalho e à Engenheira Isabel Brás, por toda a disponibilidade demonstrada desde a primeira reunião. Agradeço ainda todo o apoio, preocupação e aprendizagem transmitida ao longo destes meses de trabalho.

À Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, principalmente ao Engenheiro José Barros por ter permitido que eu realizasse a minha dissertação na empresa.

À Beatriz Dias que também realizou na empresa a dissertação e foi uma verdadeira companheira nesta “aventura”.

A todos os colaboradores da empresa que me receberam muito bem e tentaram sempre integrar-me. Por toda a ajuda prestada e pela vossa disposição.

Aos meus pais, pelo apoio imprescindível que sem eles não seria possível chegar aqui. Por me terem dado a possibilidade de crescer, aprender e de ser mais e melhor. Por acreditarem em mim e fazerem-me acreditar que tudo é possível.

Ao meu namorado que esteve lá em todos os momentos, que foi o meu suporte e principal apoio, que sempre me fez acreditar e nunca desistir. Por todo o carinho e compreensão.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha amiga Ana Gomes, que nunca me abandonou e foi a força que muitas vezes precisei. Pela compreensão, cumplicidade, companheirismo e palavras de incentivo.

O meu sincero OBRIGADA.

Sumário

A presente dissertação foi realizada em ambiente industrial, na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis S.A. A empresa dedica-se ao fabrico de embalagens que na sua maioria se destinam para a indústria alimentar, exportando mais de 90% da sua produção. O fabrico de embalagens inclui a impressão por rotogravura e flexografia, e a complexagem de filmes poliméricos. Tanto a etapa da impressão como a de complexagem com solventes requerem a utilização de solventes orgânicos (acetato de etilo, etanol, metoxipropanol e etoxipropanol).

A unidade dispõe de sistemas de exaustão e as emissões gasosas pontuais são conduzidas para um Sistema de Recuperação de Solventes (SRU) ou um de Oxidação Térmica Regenerativa (RTO). Para além das emissões pontuais, existem emissões difusas que a empresa pretende minimizar.

O objetivo desta dissertação foi avaliar e identificar os pontos mais críticos das emissões difusas de COV de modo a potenciar medidas de minimização destas emissões.

Foram efetuadas medições de COV no ar interior, a diferentes alturas do solo (20, 90 e 130 cm) em toda a unidade fabril. Os resultados foram comparados com os obtidos por uma entidade externa em 2018. Observou-se um aumento significativo da concentração de COV, principalmente, na área de lavagem de tinteiros, nos recipientes de cola das máquinas de complexagem com solvente e nas unidades das máquinas de impressão.

Além disso, foram avaliados diversos fatores que poderiam influenciar a concentração de COV no interior da unidade fabril, nomeadamente a temperatura, a velocidade de impressão, a utilização de solventes no processo de limpeza e ainda o efeito da ventilação. Através das MTD recomendadas no BREF STS foram avaliadas as que mais fariam sentido de serem aplicadas na MREF uma vez que, é fundamental garantir qualidade do ar interior e pensar na sustentabilidade e integração da empresa no mercado verde, nomeadamente a implementação de uma nova tecnologia de impressão sem contacto e o melhoramento dos sistemas de ventilação e exaustão.

Abstract

The present dissertation was carried out in an industrial environment, in the company Monteiro, Ribas - Embalagens Flexíveis S.A. The company is dedicated to the manufacture of packaging that is mostly intended for the food industry, exporting more than 90% of its production. The manufacture of packaging includes rotogravure and flexographic printing, and the complexing of polymeric films. Both the printing and solvent complexing stages require the use of organic solvents (ethyl acetate, ethanol, methoxypropanol and ethoxypropanol).

The plant has exhaust systems and point source gaseous emissions are conducted to a Solvent Recovery Unit (SRU) or a Regenerative Thermal Oxidation (RTO). In addition to point source emissions, there are diffuse emissions that the company aims to minimize.

The objective of this dissertation was to evaluate and identify the most critical points of diffuse VOC emissions in order to enhance measures to minimize these emissions.

Indoor air VOC measurements were carried out at different heights from the ground (20, 90 and 130 cm) throughout the plant. The results were compared with those obtained by an external entity in 2018. A significant increase in VOC concentration was observed mainly in the ink cartridge washing area, in the glue containers of the solvent complexing machines and in the units of the printing machines.

In addition, several factors that could influence the concentration of VOCs inside the plant were evaluated, namely temperature, printing speed, the use of solvents in the cleaning process and the effect of ventilation. Through the BAT recommended in the BREF STS, those that would make the most sense to be applied at MREF were evaluated since it is essential to guarantee indoor air quality and think about the sustainability and integration of the company in the green market, namely the implementation of a new non-contact printing technology and the improvement of ventilation and exhaust systems.

Keywords: Printing, Complexing, Solvents, Diffuse Emissions, VOC, Air Quality

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Breve apresentação do Grupo Monteiro, Ribas	2
1.4. Organização da Dissertação.....	5
2. Processo Produtivo.....	7
2.1. Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis	7
2.2. Tecnologias de impressão.....	9
2.2.1. Impressão por flexografia.....	9
2.2.2. Impressão por rotogravura	11
2.3. Processos de complexagem	13
2.3.1. Complexagem com solvente.....	14
2.3.2. Complexagem sem solvente	15
3. Emissões Difusas de COV	17
3.1. Aspetos gerais sobre emissões difusas na indústria	17
3.2. Emissões industriais de COV	18
3.2.1. Definição e classificação de COV	18
3.2.2. Panorama nacional.....	19
3.2.3. Emissões de COV em processos de impressão e fabrico de embalagens	20
3.2.4. Emissões de COV na MREF	21
3.2.5. Legislação aplicável e enquadramento legal da MREF	23
3.3. Estimativa da percentagem de emissões difusas através do PGS	27
3.4. Monitorização de COV em espaços interiores.....	29
3.5. Medidas de prevenção de emissões difusas.....	31
4. Resultados e discussão.....	35
4.1. Monitorização das emissões difusas na MREF	35
4.1.1. Análise preliminar.....	36
4.1.2. Planta com a indicação dos pontos de amostragem.....	39
4.1.3. Resultados da monitorização.....	42
4.1.4. Fatores que influenciam as emissões difusas de COV.....	44
4.2. Climatização na MREF	52
4.3. Plano de Gestão de Solventes.....	55
4.4. Estudo da aplicabilidade de medidas de prevenção e redução de emissões difusas	60
4.4.1. Implementação de uma nova tecnologia de impressão: impressão sem contacto	61

4.4.2.	Melhoria dos Sistemas de Ventilação	63
4.4.3.	Melhoria dos Sistemas de Exaustão.....	66
4.4.4.	Substituição de tintas à base de solventes orgânicos	73
4.4.5.	Implementação de boas práticas de trabalho e consciencialização dos colaboradores	75
5.	Conclusões	78
	Bibliografia.....	80
	Anexos:.....	84
	Anexo A: Valores-limite de exposição pelo DL n.º 1/2021	84
	Anexo B: Resultados das emissões difusas de COV.....	85
	Anexo C: Valores-limites de exposição de solventes pelas FDS.....	90
	Anexo D: Climatização MREF	95
	Anexo E: Plano de Gestão de Solventes	101

Índice de Figuras

Figura 2-1: Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis (Monteiro Ribas)	7
Figura 2-2: Representação esquemática de uma impressora flexográfica de 8 cores (Tipos de Impressão, 2022)	10
Figura 2-3: Esquema de um elemento de impressão flexográfica (Monteiro Ribas)	11
Figura 2-4: Representação esquemática de uma impressora por rotogravura (Carvalho, 2016)	12
Figura 2-5: Esquema de um elemento de impressão de rotogravura (Rotogravura, 2022)	12
Figura 2-6: Representação esquemática de uma complexadora com solvente (Luís, 2013)	14
Figura 2-7: Representação esquemática de uma complexadora sem solvente (Luís, 2013)	15
Figura 3-1: Diagrama ilustrativo das entradas de solventes na atividade de fabrico de embalagens adotado pela MREF (Monteiro Ribas)	21
Figura 3-2: Limiares de consumo e valores de referência aplicáveis às emissões (DL n.º 127/2013)	24
Figura 3-3: Processo representativo para aplicação do balanço de massa ao solvente (Directive, Industrial Emissions, 2020)	28
Figura 3-4 - Instrumento de medição da qualidade do ar interno (GrayWolf, 2022)	30
Figura 4-1: a) Unidade de verniz de uma máquina de rotogravura; b) zona de fornecimento de tintas numa máquina de flexografia	37
Figura 4-2: Sala de lavagem de tinteiros	38
Figura 4-3: Zona de cola nas máquinas de complexagem com solvente	38
Figura 4-4: Sala com contentores de tinta branca	39
Figura 4-5: Planta ilustrativa dos diferentes pavilhões da unidade fabril	39
Figura 4-6: Locais de amostragem de emissões difusas de COV	41
Figura 4-7: Plantas representativas das medições de COV efetuadas em 2023 a: a) 20 cm e b) 90 cm do solo	Erro! Marcador não definido.
Figura 4-8: Planta representativa das medições de COV efetuadas em 2023 a 130 cm do solo	42
Figura 4-9: Planta representativa das emissões de COV realizadas em 2018 a 20 e 90 cm do solo	44
Figura 4-10: Planta representativa dos valores-limite de exposição dos trabalhadores ao Acetato de Etilo (CAS: 141-78-6 e CE: 205-500-4) num período de 8h.	44
Figura 4-11: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm a temperaturas baixas e elevadas nas máquinas: a) IF1; b) IR3, c) C6 e d) IR5	47
Figura 4-12: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm a velocidade baixas e elevadas nas máquinas: a) IF2; b) IR5 e c) C7	49
Figura 4-13: Resultados obtidos das medições efetuadas na Sala de Manutenção uma altura de 20 cm a antes e depois da limpeza do espaço com acetato de etilo	50
Figura 4-14: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm com e sem falhas no sistema de ventilação na sala de Lavagem de Tinteiros	51
Figura 4-15: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm com e sem falhas no sistema de ventilação na máquina IF3	51
Figura 4-16: Condutas e mangas têxteis das UTAs da instalação	53
Figura 4-17: Máquina de impressão sem contacto: HP Indigo 20000 Digital Press (HP, 2012)	63
Figura 4-18: Arrefecedor adiabático instalado na MREF	64
Figura 4-19: Planta com proposta de implementação de AA para melhoria do sistema de ventilação	65
Figura 4-20: Manga insuflável a reposicionar ou eliminar na UTA da máquina IF3	66
Figura 4-21: Planta ilustrativa da implementação de sistema de exaustão no solo das máquinas do P4	68
Figura 4-22: Alternativa do corredor de passagem obrigatória dos colaboradores	73

Índice de Tabelas

Tabela 3-1: Classificação de COV segundo a OMS (APA, 2021)	19
Tabela 3-2: Propriedades do acetato de etilo e do etanol (PubChem, 2023)	22
Tabela 3-3: Classificação dos principais solventes utilizados na MREF de acordo com o ponto de ebulição pela OMS (PubChem, 2023) (APA, 2021)	22
Tabela 3-4: Valores de referência dos COVT (Molhave, et al., 1997)	25
Tabela 3-5: Valores-limite de exposição profissional com caráter indicativo ao acetato de etilo e 1- metoxi-2-propanol (DL n.º 1/2021, 2021)	26
Tabela 3-6: Correntes envolvidas na determinação das emissões difusas através do balanço de massa a COV (Directive, Industrial Emissions, 2020)	27
Tabela 4-1: Equipamentos produtivos, horas efetivas de produção e nº. de trabalhadores por turno	36
Tabela 4-2: Balanço de caudais de ar aos pavilhões 1, 2, 3, 4, 6 e 7	53
Tabela 4-3: Taxa de renovação de ar nos pavilhões 1,2,3,4,6 e 7	54
Tabela 4-4: Taxa de evaporação de solvente tendo em conta o número de horas efetivas de funcionamento de cada máquina	55
Tabela 4-5: Tabela representativa dos consumos dos produtos utilizados na complexagem e impressão: rotogravura e flexografia	56
Tabela 4-6: Corrente E2: Solvente total reutilizado internamente	56
Tabela 4-7: Corrente S1: Emissões COV em gases residuais (fontes SRU e RTO)	57
Tabela 4-8: Corrente S5: Compostos Orgânicos Voláteis destruídos no RTO	58
Tabela 4-9: Corrente S6: resíduos industriais gerados	58
Tabela 4-10: Corrente 8: Solventes que não dão entrada no processo	59
Tabela 4-11: Balanço de massa a COV	59
Tabela 4-12: Estimativa de custo de investimento em máquinas de impressão novas	63
Tabela 4-13: Balanço de caudais do P2 e P4, considerando a implementação da solução proposta.	64
Tabela 4-14: Estimativa de custo de investimento em dois arrefecedores adiabáticos	65
Tabela 4-15: Balanços aos caudais de ar com as novas implementações no P1, P2, P3, P4, P6 e P7 ...	69
Tabela 4-16: Estimativa de custo de investimento de sistema de exaustão no solo	70
Tabela 4-17: Estimativa de caudal de solvente capturado pelo novo sistema de exaustão e ligação com o SRU	71
Tabela 4-18: Custo de aquisição de solvente novo e custo de recuperação de solvente	71
Tabela 4-19: Comparação a nível de COV entre tintas à base de solventes orgânicos e tintas à base de água	73
Tabela 4-20: Estimativa de redução de consumo de COV com a utilização de tintas BA	74
Tabela 4-21: Vantagens e desvantagens da utilização de tintas de base aquosa na impressão (Cairo, 2007) (Sun Chemical, 2023)	75

Nomenclatura

Siglas:

ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BREF STS – *Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment Using Organic Solvents*

CAE – Classificação Portuguesa de Atividades Económicas

CAS – Número de registo da substância no *Chemical Abstracts Service*

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

COMV – Composto Orgânico Muito Volátil

COSV – Composto Orgânico Semi Volátil

COT – Carbono Orgânico Total

COVT – Composto Orgânico Volátil Total

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DL – Decreto-lei

DP – Desvio Padrão

ISO – *International Organization for Standardization*

LEL – Células de medição da concentração com capacidade de atuação

MREF – Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.

MTD - Melhor Técnica Disponível

NP – Norma Portuguesa

OMS – Organização Mundial de Saúde

PGS – Plano de Gestão de Solventes

PET – Poliéster

PE – Polietileno

PP – Polipropileno

PA – Poliamida

PTN – Pressão e Temperatura Normais

PCIP - Prevenção e Controlo Integrado da Poluição

QAI – Qualidade do Ar Interior

REI - Regime das Emissões Industriais

Rph – Número de Renovações de Ar por Hora

RTO – Unidade de Oxidação Térmica Regenerativa (*Regenerative Thermal Oxidizer*)

SRU – Unidade de Recuperação de Solventes (*Solvent Recovery Unit*)

TUA – Título Único Ambiental

UE – União Europeia

UTA – Unidade de Tratamento do Ar

VAC – Ventilação e Ar Condicionado

VLE – Valor Limite de Exposição

VLE – CD – Valores Limite de Exposição de Curta Duração

VLE – CM – Valores Limite de Exposição de Concentração Máxima

Símbolos:

C2, C5, C6 e C7 - Complexadora que usa cola com solvente

C3 e C4 – Complexadora que usa cola sem solvente

IF1 – Impressora Flexografia 8 cores + verniz

IF2 – Impressora Flexografia de 10 cores

IF3 – Impressora Flexografia de 8 cores

IF4 – Impressora Flexografia 10 cores + verniz

IR1 – Impressora Rotogravura de 6 cores

IR2 e IR4 – Impressora Rotogravura de 8 cores

IR3 e IR5 – Impressora Rotogravura de 10 cores

P1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 – Pavilhão 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10

1. Introdução

Neste capítulo é feito um enquadramento do tema da dissertação, onde serão identificados os principais objetivos da mesma. É, também, apresentada uma breve descrição do grupo Monteiro, Ribas mais especificamente da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.

1.1. Enquadramento

A presente dissertação foi elaborada no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Estágio (DISEST), para conclusão do Mestrado em Engenharia Química, no ramo de Energia e Biorrefinaria do departamento de Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O estágio foi desenvolvido na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A tendo como principal objetivo avaliar e apontar medidas para minimizar as emissões difusas de COV na unidade fabril uma vez que, um ar interior de boa qualidade promove o bem-estar das pessoas e a saúde dos seus colaboradores, tendo impacto na produtividade dos mesmos.

Os COV além de contribuírem para a formação do ozono troposférico por processos fotoquímicos, potenciam a produção de substâncias agressivas, denominadas de oxidantes fotoquímicos. Estas substâncias contribuem para a formação de aerossóis secundários, que devido ao seu reduzido tamanho podem penetrar no sistema respiratório e afetar a saúde humana (Jurkevicz, 2020).

As principais fontes de COV são associadas ao processo produtivo, pelo que as concentrações de COV no interior da unidade fabril são mais elevadas do que no exterior. Uma deficiente qualidade do ar interior conduz muitas vezes a problemas de saúde, provocando sintomas como alergias, irritações das vias respiratórias e dos olhos, cansaço, dores de cabeça, falta de concentração e disfunções do sistema nervoso. Os COV provocam complicações tanto a curto, médio como a longo prazo, conforme o tipo e as concentrações das substâncias, podendo ser emitidos por uma elevada gama de produtos.

Na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis (MREF) são utilizados solventes, nomeadamente o acetato de etilo em várias etapas do processo produtivo. Desta forma, a empresa tem implementadas medidas preventivas para controlo das emissões e minimização do impacto ambiental, nomeadamente através da utilização das Melhores técnicas disponíveis, MTD que visam proteger o ambiente exterior e a qualidade do ar exterior. Contudo, continuam a existir emissões difusas que poderão ter impacto sobre os colaboradores.

É, por isso, fundamental identificar as principais fontes e pontos de emissões difusas e proceder à quantificação da sua concentração no ambiente fabril. Essa avaliação permite a determinação das tecnologias ou medidas a adotar para a redução dessas mesmas emissões à luz da legislação em vigor.

1.2. Objetivos

Um dos objetivos principais desta dissertação consistiu na avaliação das emissões difusas de COV no interior da unidade fabril. As principais fontes estão associadas ao processo produtivo, nas etapas de impressão (tanto por rotogravura como flexografia) e de complexagem com solventes.

As máquinas de impressão funcionam com tintas à base de solvente. No caso da rotogravura utiliza-se, essencialmente, acetato de etilo, e na flexografia, uma mistura com 90% de etanol e 10% de acetato de etilo. O solvente contido nas tintas é evaporado nas câmaras de secagem das respetivas máquinas com ar quente cuja concentração de solvente é controlada de forma automática por LEL (células de medição da concentração com capacidade de atuação), permitindo a regulação do caudal de exaustão de cada uma das câmaras. Este sistema permite a recirculação do ar de secagem até o seu limite máximo de concentração, permitindo assim a poupança de energia.

Na complexagem com solventes, utiliza-se o acetato de etilo, sendo este evaporado na estufa da máquina, que à semelhança da impressão, está equipada com LEL que permitem a recirculação de ar de secagem.

Tanto nas máquinas de impressão como de complexagem existem zonas que não herméticas, pelo que a existência de emissões difusas se torna “normal”.

Assim, torna-se importante definir quais as zonas mais “críticas” e que alterações podem ser feitas. Foram abordadas diferentes temáticas, desde comportamento dos operadores a melhorias de ventilação das várias zonas.

1.3. Breve apresentação do Grupo Monteiro, Ribas

O Grupo Monteiro, Ribas é uma empresa fundada há mais de 80 anos. Iniciou a sua atividade no ano de 1937, ano em que a sociedade constituída por Manuel Alves Monteiro e António de Bessa Ribas adquiriu as instalações da Companhia Portuguesa de Curtumes. Desta forma, foi criada a Fábrica Portuguesa de Curtumes Monteiro, Bessa Ribas & C^a Lda, que tal como o próprio nome indica, operava na área dos Curtumes. Rapidamente, adquiriu uma

posição de referência e liderança do mercado para este tipo de indústria, fruto da estratégia de mercado escolhida pela sociedade, vindo mais tarde a diversificar-se.

No final da década de 50 surgem materiais alternativos ao couro, o que representou uma oportunidade de expansão de negócio. Assim, devido à elevada procura, na década de 60, a empresa alargou horizontes, aumentando a gama de produtos provenientes do seu principal mercado, a indústria do calçado.

Atualmente, o grupo Monteiro, Ribas é formado por um conjunto de empresas, pertencentes ao mesmo grupo que são geridas e estruturadas de forma independente, com mercados e estratégias próprias. Na sua constituição engloba a Monteiro Ribas – Indústrias, S.A. (responsável pela Produção de Componentes Técnicos de Borracha), a Monteiro Ribas, Revestimentos, S.A. (produção de Couros Artificiais para calçado e estofos), a Monteiro Ribas, Embalagens Flexíveis, S.A. (produção de embalagens flexíveis para indústria alimentar) e a Monteiro Ribas Produção e Distribuição de Energia, Lda. (Unidade de Cogeração).

A Monteiro, Ribas - Embalagens Flexíveis, S.A. iniciou a sua atividade em 1962, sendo que nessa altura produzia filmes plásticos a partir da extrusão de polietileno e fazia a impressão por flexografia. Mais tarde, com recurso à tecnologia de impressão por rotogravura, começaram a ser produzidas películas com destino à indústria alimentar, na sua maioria.

A partir dos anos 90, foi reforçada a posição no mercado de exportação, acabando por se especializar progressivamente no mercado agroalimentar. Em 2005, 50% da receita da empresa era proveniente da exportação, e atualmente essa percentagem é de cerca de 90%. A empresa iniciou atividade como uma divisão do grupo Monteiro, Ribas, tendo-se tornado legalmente independente a partir de 2004, mantendo o grupo Monteiro, Ribas como principal acionista. Assim, criou-se, a ainda hoje denominada de Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.

Atualmente, emprega cerca de 340 colaboradores e dedica-se à impressão e complexagem de filmes, assim como à confeção de sacos de diferentes formatos para as indústrias alimentar e química. Trata-se de uma empresa que assume uma crescente importância no ramo de atividades que o grupo Monteiro, Ribas integra.

Ao longo dos anos, a Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis adquiriu certificações, nomeadamente, pela Norma Portuguesa EN ISO 9001:2015, pela Norma ISCC PLUS, pela FSC (*Forest Stewardship Council*) e *Global Standard for Packaging and Packaging Materials*. Esta última certificação integra o Sistema de Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar uma vez que se trata de uma empresa cujos produtos estarão em contacto com produtos alimentares e é fundamental respeitar uma série de regras de forma a garantir a qualidade e segurança dos produtos.

Os materiais mais utilizados nas embalagens produzidas na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis são o poliéster (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliamida (PA), alumínio, filme metalizado.

As tecnologias e os equipamentos atualmente existentes na unidade fabril da Monteiro Ribas – Embalagens Flexíveis permitem a impressão de embalagens por rotogravura usando até 10 cores. Contudo, existem ainda máquinas que permitem a impressão por flexografia, que apesar de ser um método de impressão mais económico tem como desvantagem uma menor resolução das imagens impressas.

Presentemente, existem 4 máquinas que permitem a impressão por flexografia (IF1, IF2, IF3 e IF4) e 5 por rotogravura (IR1, IR2, IR3, IR4 e IR5). Em relação à complexagem, existem 4 máquinas de complexagem com solvente (C2, C5, C6 e C7) e 2 sem solvente (C3 e C4). Tanto a etapa da impressão como a de complexagem requerem a utilização de solventes de modo a diluir e baixar a viscosidade, respetivamente das tintas e dos adesivos.

Na Monteiro, Ribas – Embalagens, Flexíveis, S.A. existem dois sistemas de tratamento de efluentes gasosos. A unidade de recuperação de solventes (SRU) e um sistema de oxidação térmica regenerativa (RTO).

Os efluentes produzidos nas máquinas de impressão por rotogravura e complexagem com solventes são enviados para o SRU, sendo que nesta unidade é possível recuperar uma percentagem significativa do solvente, permitindo a sua reutilização no processo. Para além disso, garante-se que a emissão enviada para a atmosfera cumpre o valor limite de emissão de COV de 100 mg/Nm³, de acordo com o TUA 20170725000136.

Por sua vez, os efluentes produzidos na impressão por flexografia são conduzidos para o RTO, em que os COV são oxidados a uma temperatura próxima de 800°C. Deste modo, a corrente de ar à saída do RTO é praticamente isenta de COV, devendo-se cumprir o VLE (Valor Limite de Emissão) de 100 mg/m³ conforme o TUA já referido anteriormente. O RTO da MREF está equipado com economizador, que permite a recuperação térmica de energia dos gases de exaustão para aquecer termofluido (utilizado no processo de recuperação de solventes) ou água quente, permitindo assim uma poupança de gás natural.

Na complexagem, os adesivos utilizados, à semelhança das tintas utilizadas na impressão, podem precisar de ser diluídos. Desta mesma forma, o solvente utilizado para esse fim é maioritariamente o acetato de etilo.

A unidade de recuperação de solventes (SRU) foi instalada em 2011, e surgiu pela necessidade de satisfazer requisitos legais de emissões gasosas, estando a atividade da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis regulamentada pelo Decreto-Lei 127/2013 e pela

Licença Ambiental nº 386/0.0/2010. O valor limite de emissão (VLE) de compostos orgânicos voláteis (COV) para a atmosfera é de 100 mg/m³ (concentração expressa como carbono) em condições normais de pressão e temperatura (PTN). Ao mesmo tempo, esta unidade permite uma elevada poupança na fatura anual da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis uma vez que permite a recuperação e reutilização de uma larga percentagem de solventes. Por sua vez, o sistema de oxidação térmica regenerativa, RTO, foi instalado em meados de 2018.

1.4. Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

No capítulo 1, encontra-se um breve enquadramento desta dissertação, o tema e objetivos do trabalho, bem como uma apresentação da empresa onde este foi realizado.

No capítulo 2, é descrito o processo produtivo adotado pela empresa, bem como os diversos métodos de impressão e complexagem utilizados pela Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis.

No capítulo 3, são apresentados fundamentos teóricos associados ao projeto em causa, nomeadamente, aspetos gerais sobre emissões difusas em ambientes industriais, bem como as emissões de COV em processos de impressão de embalagens. São também apresentados neste capítulo mecanismos de avaliação e medidas de remediação das emissões de COV.

No capítulo 4, é apresentada uma descrição do trabalho real de avaliação das emissões difusas de COV no ambiente industrial da MREF, bem como os resultados obtidos e respetiva discussão. São ainda apresentadas as medidas consideradas mais pertinentes e adequadas para a minimização de emissões difusas.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões da dissertação.

2. Processo Produtivo

Neste capítulo apresenta-se uma breve descrição das tecnologias associadas à produção de embalagens flexíveis, dando ênfase à impressão por rotogravura e flexografia e também à complexagem com solvente e sem solvente.

2.1. Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis

A unidade fabril encontra-se dividida em várias secções distintas. O processo produtivo da MREF está organizado em 6 fases: Receção, Impressão, Complexagem, Corte, Saqueiras e Embalamento/Expedição. Estas encontram-se representadas no fluxograma geral de fabrico da Figura 2-1. Em cada uma dessas etapas resultam produtos intermédios, que podem permanecer em curso e serem utilizados em apenas uma ou em várias etapas do processo. Os produtos finais do processo são: filmes e sacos, com ou sem impressão dependendo das especificações pretendidas pelo cliente final.

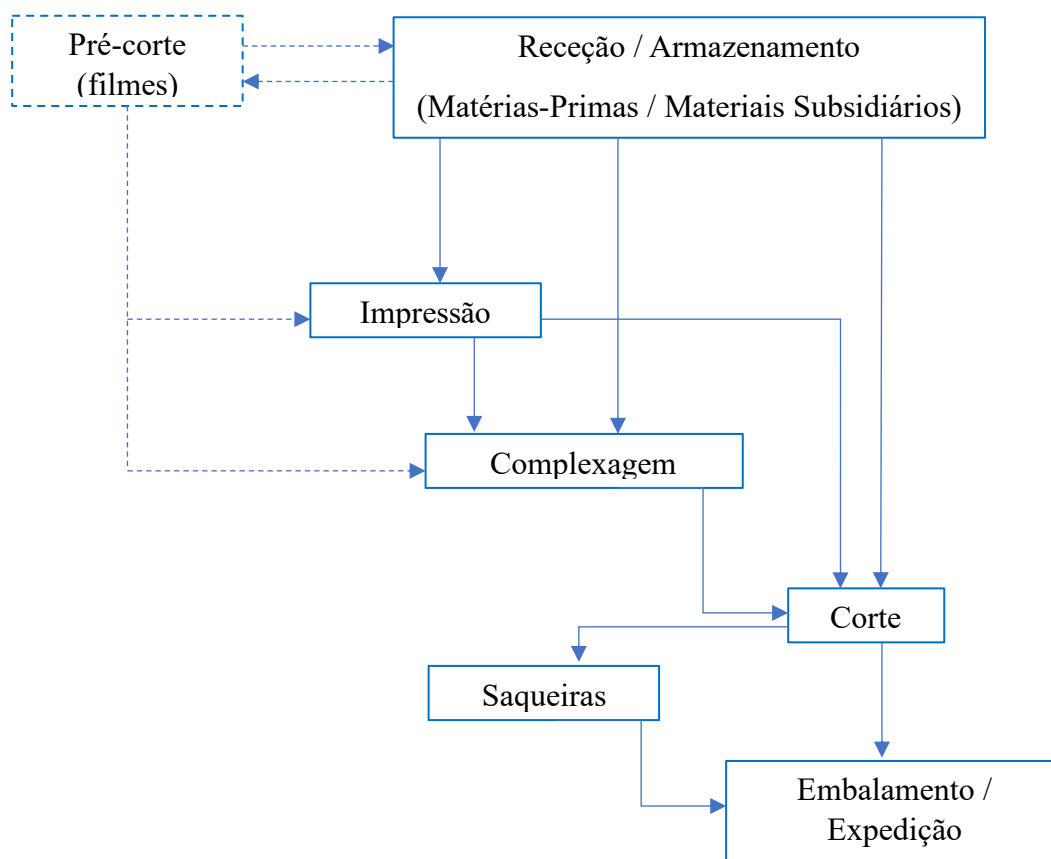


Figura 2-1: Fluxograma do processo de fabrico de embalagens flexíveis (Monteiro Ribas)

A fase de receção e descarga das matérias-primas, nomeadamente os filmes, adesivos, aditivos e solventes, assim como materiais subsidiários como os mandris, etiquetas, embalagens primárias, paletes, cilindros, entre outros compreende à fase inicial do processo de fabrico. Em cada encomenda recebida é verificada a documentação que acompanha a mercadoria, conferidas as unidades e é feita uma inspeção visual, de forma a detetar qualquer irregularidade no estado físico do material.

Posteriormente, as matérias-primas são enviadas para a operação onde os filmes são impressos. Nesta fase existem máquinas distintas, que funcionam por rotogravura ou por flexografia. Trata-se de um processo de transferência de tintas de impressão, em base solvente, onde são utilizados cilindros gravados (rotogravura) / clichés (flexografia), seguido por um processo de secagem em estufa. Durante o processo de fabricação, as tintas de impressão na MREF são preparadas em recipientes fechados. A preparação pode envolver a utilização de tinta branca, concentrados de cores, aditivos orgânicos, diluentes e solventes. Essas tintas são injetadas nos tinteiros e transferidas para os rolos de pintura. Nessa etapa, diversos tipos de tintas e vernizes são consumidos, sendo o acetato de etilo o principal solvente utilizado de modo a baixar a viscosidade da tinta.

Por sua vez, a complexagem é o processo onde ocorre a junção de dois ou mais filmes de diferentes características, através da aplicação de um adesivo, dependendo da aplicação final do produto. O filme impresso é unido a outro filme sem qualquer impressão.

A operação seguinte consiste no corte longitudinal das margens das bobines de filme resultantes da impressão (bobine mãe) ou da complexagem para obtenção de bobines mais pequenas (bobines filhas) de acordo com as especificações definidas pelo cliente. As bobines finais podem ser diretamente enviadas para o cliente, ou então a MREF pode produzir os sacos como produto final.

Caso o cliente pretenda que o produto seja entregue na forma de sacos, o filme produzido (impresso ou não impresso) é encaminhado para as saqueiras que lhes conferem a forma de saco definida.

O produto acabado é sujeito a embalagem para envio ao cliente, de acordo com as suas especificações. O transporte é realizado por empresas subcontratadas que cumprem cadernos de encargos.

2.2. Tecnologias de impressão

A principal etapa da indústria de embalagens flexíveis é a impressão. A impressão tem um papel fundamental na embalagem, uma vez que tem como função oferecer ao produto embalado uma boa aparência, ou seja, serve para identificar o produto, código de barras, peso, composição, informar especificações legais, e ainda, decorar.

Atualmente, a nível industrial, existem diferentes tipos de tecnologias de impressão, como por exemplo a tampografia, a serigrafia, a tipografia, *hot-stamp*, *offset*, impressão digital, flexografia e rotogravura (Smartgum, 2020).

A MREF, como já foi mencionado anteriormente, utiliza a impressão por rotogravura e por flexografia pelo que apenas serão descritos detalhadamente estes dois processos de impressão. A principal diferença entre os dois está no método de aplicação da tinta em que a flexografia imprime em alto relevo e a rotogravura, em baixo-relevo.

2.2.1. Impressão por flexografia

A flexografia é uma tecnologia de impressão amplamente utilizada na indústria de embalagens e é adequada para a impressão de uma ampla variedade de substratos. Neste processo são utilizados clichés de alto relevo, nos quais a imagem é gravada. Os clichés são ajustados num cilindro porta-clichés de forma a garantir uma aplicação precisa e consistente da tinta durante o processo de impressão.

As unidades de impressão por flexografia na Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis são de tambor central. Na Figura 2-2 encontra-se representada a título de exemplo uma unidade de impressão por flexografia de tambor central.

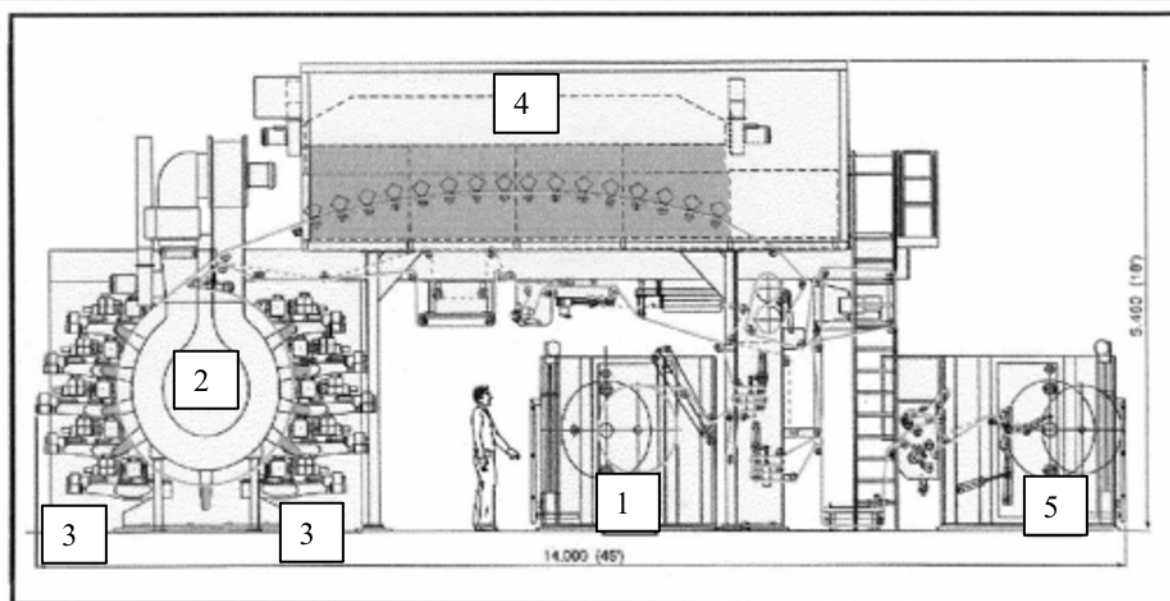


Figura 2-2: Representação esquemática de uma impressora flexográfica de 8 cores (Tipos de Impressão, 2022)

O processo inicia-se com o filme a ser desbobinado (número 1) seguindo para o tambor central identificado pelo número 2. À medida que o filme passa no tambor central, recebe a impressão no formato e nas cores pretendidas. O exemplo da Figura 2-2, possui 10 grupos, contudo, no mercado existem impressoras com 4, 6 e 8 cores (número 3). Por fim, o filme passa pela estufa (número 4) e é enrolado no fim do processo (número 5).

Na Figura 2-3, é possível observar-se de um modo mais pormenorizado um elemento de impressão flexográfica. Como se pode verificar, a tinta passa inicialmente para o anilox (rolo doseador de tinta) e o excesso de tinta regressa ao reservatório graças à lâmina de raspagem. Do anilox a tinta é transferida para o cliché com relevo. No cliché a tinta fica apenas nas zonas com relevo, sendo posteriormente transferida para o filme que se pretende imprimir, com o auxílio do cilindro de pressão. De seguida, como já foi referido passa para os próximos elementos de impressão e por último segue para a estufa.

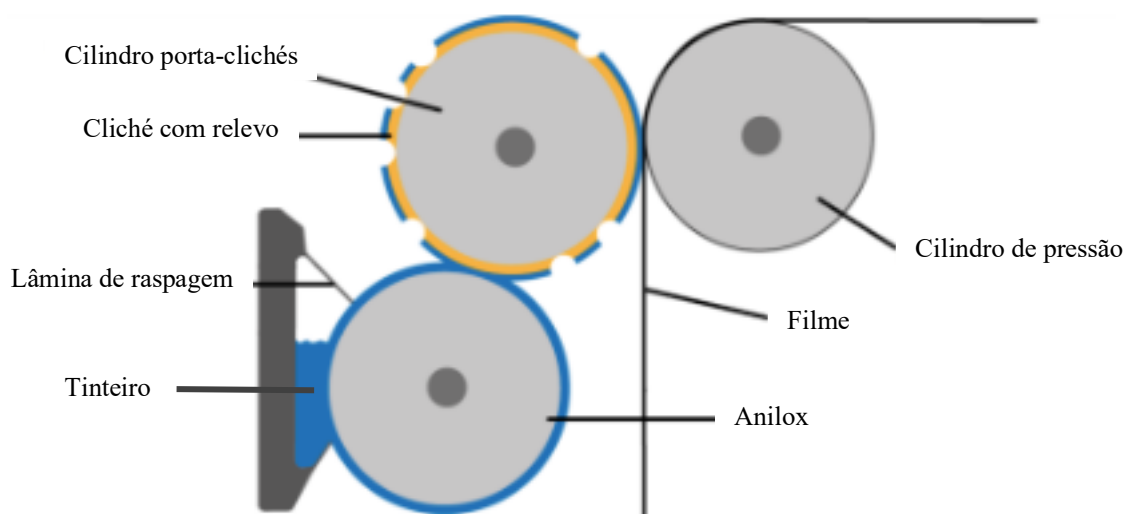


Figura 2-3: Esquema de um elemento de impressão flexográfica (Monteiro Ribas)

Nas unidades de flexografia da MREF o solvente utilizado para baixar a viscosidade das tintas é uma mistura de acetato de etilo (10%) com etanol (90%). Os efluentes gasosos aqui produzidos e captados pelo sistema de exaustão são enviados para a unidade de oxidação térmica (RTO), onde são tratados.

Na MREF existem 4 máquinas de impressão por flexografia designadas por IF1, IF2, IF3 e IF4. A IF1 e a IF4 são máquinas de flexografia que imprimem até 8 e 10 cores com verniz, respetivamente. A IF2 e a IF3 são máquinas que imprimem até 8 e 10 cores, respetivamente, mas sem verniz.

Nas máquinas IF1, IF2 e IF3 operam 2 trabalhadores por máquina e por turno. Já na máquina IF4, operam 3 trabalhadores por turno. Assim, há um total de 27 colaboradores expostos às emissões diárias destes equipamentos. Os principais locais onde os colaboradores atuam encontram-se representados na Figura 2-2 pelos números 1, onde se encontra o painel de controlo da máquina e 3 onde fazem o ajuste da viscosidade da mistura.

2.2.2. Impressão por rotogravura

A impressão por rotogravura é um processo de impressão direta. A imagem que se pretende imprimir no filme está gravada no cilindro de impressão.

As unidades de impressão por rotogravura na MREF são idênticas à representada na Figura 2-4.

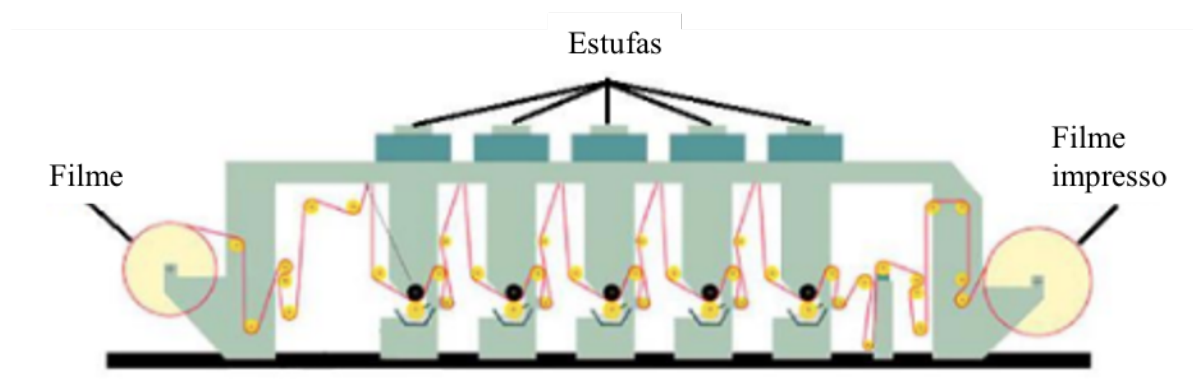


Figura 2-4: Representação esquemática de uma impressora por rotogravura (Carvalho, 2016)

Como é possível verificar, este tipo de máquina é dividido em diversas secções, sendo que cada uma delas apresenta capacidade de fornecer uma cor diferente para impressão. Desta forma, a máquina apresentada na Figura 2-4 permite uma impressão até 5 cores. Já na MREF existem máquinas com capacidade de imprimir entre 6 e 10 cores.

Na Figura 2-5, é visível que a imagem que se pretende imprimir no filme está gravada no cilindro de impressão, sendo a gravação feita por laser.

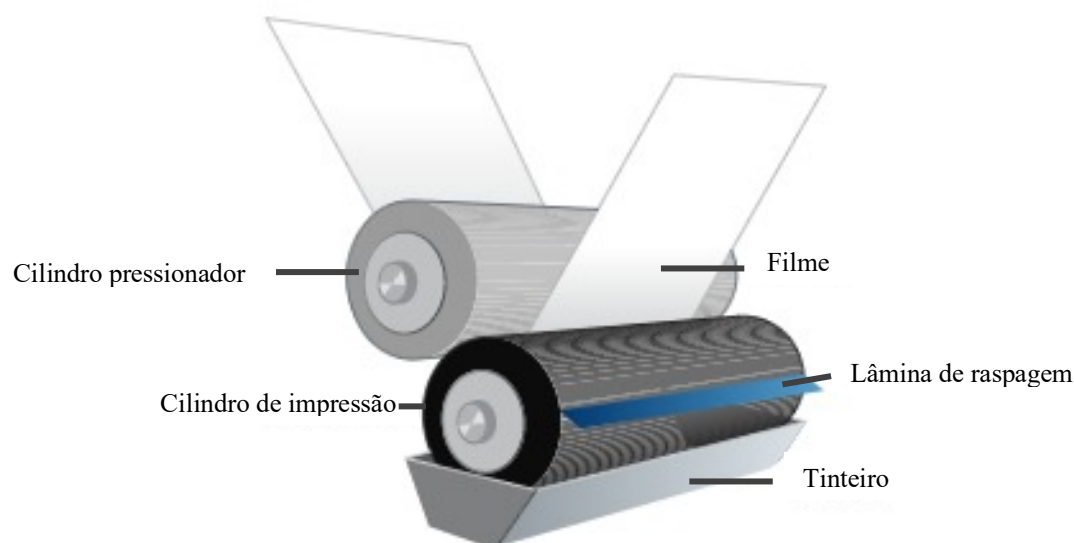


Figura 2-5: Esquema de um elemento de impressão de rotogravura (Rotogravura, 2022)

Nas unidades de rotogravura devido à elevada velocidade de operação, é necessária a utilização de tintas de secagem rápida. Desta forma, as tintas utilizadas são de baixa viscosidade e todas de base solvente. Assim, as tintas de impressão são diluídas maioritariamente através da utilização de acetato de etilo como solvente e os efluentes aqui produzidos são encaminhados para a unidade de recuperação SRU.

Na MREF existem 5 máquinas de impressão por rotogravura designadas por IR1, IR2, IR3, IR4 e IR5. A IR2 e a IR4 são máquinas de rotogravura que tem capacidade de imprimir até 8 cores. A IR3 e IR5 são máquinas que imprimem até 10 cores. Já a máquina IR1 apenas tem capacidade de imprimir até 6 cores.

Em cada uma das máquinas IR1, IR2 e IR3 operam 2 trabalhadores por turno. Por sua vez, na IR4 e IR5 operam 3 trabalhadores por turno, em cada uma. Assim, no total dos 3 turnos diários, há 36 colaboradores expostos às emissões diárias destes equipamentos. Os principais locais onde os colaboradores atuam é junto aos tinteiros, onde os enchem com tinta e no local do painel de controlo da máquina. Contudo, movimentam-se também ao longo da máquina de forma a controlar o processo.

2.3. Processos de complexagem

Os filmes flexíveis devem possuir boas propriedades barreira, uma vez que se destinam maioritariamente à indústria agroalimentar. As propriedades barreira das embalagens flexíveis são de extrema importância uma vez que são destacadas as características de proteção de forma a evitar o contacto com o meio externo e possíveis perdas de propriedades. Assim, é necessário garantir que o produto é protegido contra ação de fatores ambientais como gases, vapor de água, luz e odores (Poças, Selbourne, & Delgado, 2013).

Desta forma, no que diz respeito à barreira de transferência de massa do exterior para o interior, as embalagens devem desempenhar uma barreira ao oxigénio e ao vapor de água, como também às substâncias voláteis presentes no meio ambiente tais como; fumos, aromas, etc. que possam alterar o gosto ou o odor dos alimentos. Relativamente à barreira de transferência do interior para o exterior, deve ser feita de forma a evitar a perda de aroma do produto e garantir a conservação do produto através de misturas gasosas que podem ser introduzidas (Poças, Selbourne, & Delgado, 2013).

Assim, as propriedades barreira mais importantes são a impermeabilidade ao oxigénio, azoto e vapor de água, assim como a aromas. Portanto, os filmes flexíveis quando vendidos ao cliente final, podem ser provenientes da junção de vários filmes, até um máximo de 4. Este processo de união designa-se complexagem.

Existem diversos tipos de complexagem nomeadamente com e sem solvente, sendo que na MREF são aplicados ambos. Os filmes são unidos através da utilização de adesivos, que podem requerer ou não a utilização de solvente.

Caso os filmes necessitem de união através da utilização de solvente, o mesmo é o acetato de etilo e os efluentes aqui produzidos são encaminhados para a SRU à semelhança dos efluentes provenientes das unidades de impressão por rotogravura.

2.3.1. Complexagem com solvente

A complexagem com solvente possui uma estufa para poder secar o solvente e a aplicação do adesivo é feita de forma específica. A complexagem com solvente implica a utilização de proporções corretas, previamente estabelecidas pelo fabricante, entre a cola, os aditivos e o solvente.

Na Figura 2-6 é possível observar um esquema de uma unidade, idêntica à existente na MREF, que permite complexar filmes flexíveis através de um processo que requer o uso de solventes.

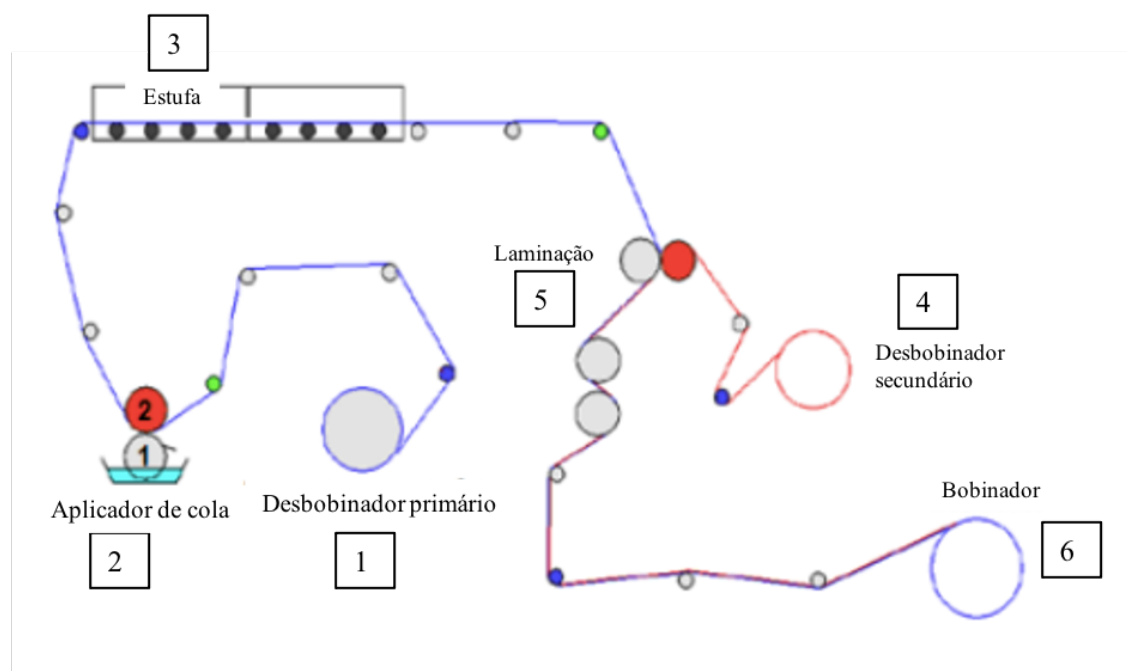


Figura 2-6: Representação esquemática de uma complexadora com solvente (Luís, 2013)

Neste tipo de complexagem o filme no qual se efetua a aplicação é desenrolado pelo desbobinador primário (1) e numa fase inicial ocorre a preparação do adesivo com as proporções definidas pelo fabricante.

A mistura de cola, solvente e aditivos está contida num recipiente, e através de uma bomba é bombeada até ao local de aplicação da mesma. Esta mistura é transferida para o filme que se pretende complexar, com a ajuda de um rolo pressor, no designado aplicador de cola (2). O excesso é removido com auxílio de uma lâmina. Depois, o filme é dirigido para a estufa (3)

onde se inicia a evaporação do solvente. O segundo filme, a laminar com aquele onde foi feita a aplicação, é desenrolado pelo desbobinador secundário (4). Na laminação (5) dá-se a união dos dois filmes, que se encontram na calandra, onde existe um rolo aquecido com água quente. Este rolo funcionará como um pressor e permitirá a união dos dois filmes. E, por último, o filme resultante atinge o bobinador (6).

Na MREF existem 4 máquinas de complexagem com solvente designadas por C2, C5, C6 e C7. Nas máquinas C5, C6 e C7 operam 2 trabalhadores em cada uma, por turno e na C2 apenas opera 1 trabalhador por turno. Assim, há um total de 21 colaboradores expostos às emissões diárias destes equipamentos. Os principais locais onde os colaboradores atuam encontram-se representados na Figura 2-6 pelo número 2 onde se localizam as painéis da cola e a meio do equipamento onde se localiza o painel de controlo, mas movimentam-se também ao longo da máquina de forma a controlar o processo.

2.3.2. Complexagem sem solvente

A principal diferença entre os dois tipos de complexagem é que as complexadoras sem solvente não possuem uma estufa, pois como não há adição de solvente não existe necessidade de haver secagem antes da junção dos dois filmes. Na Figura 2-7 é possível observar um esquema de uma unidade que permite complexar filmes flexíveis sem a utilização de solvente.

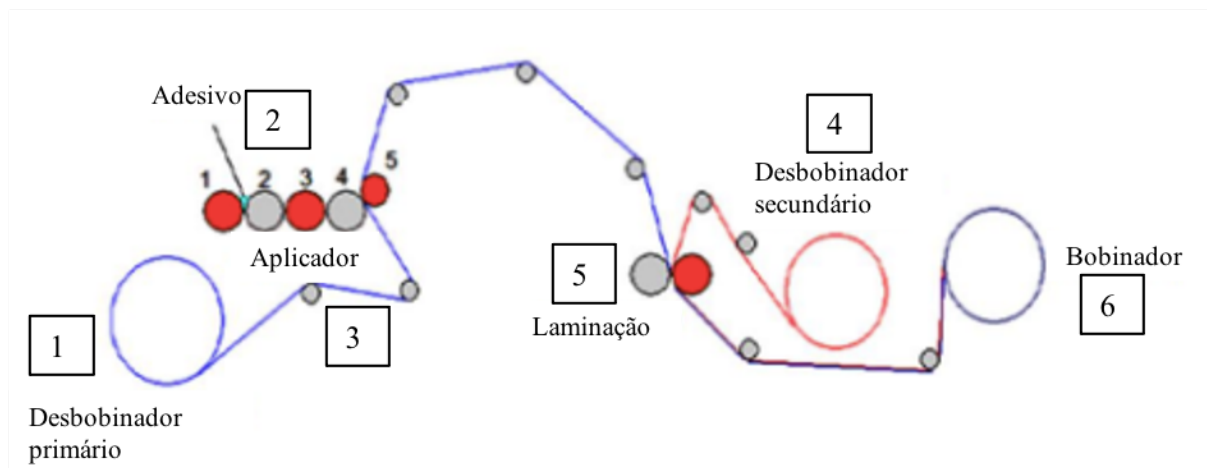


Figura 2-7: Representação esquemática de uma complexadora sem solvente (Luís, 2013)

Assim, neste tipo de complexagem o filme no qual se efetua a aplicação é desenrolado pelo desbobinador primário (1), sendo que os componentes dos adesivos são bombeados para uma panela. Nesta etapa, existe a necessidade de aquecimento da panela, e consequentemente aquecimento do adesivo a fim de reduzir a sua viscosidade. Novamente, tal como na complexagem com solvente, a dosagem dos componentes é pré-definida pelo fabricante.

Através da Figura 2-7 é possível verificar que o adesivo (2) passa para o filme que pretende unir. A aplicação da cola no filme é efetuada pelo grupo aplicador (3). A cola cai entre os dois primeiros rolos, sendo estes aquecidos com água quente. O segundo rolo encontra-se em movimento e permite a transferência do adesivo para o filme flexível, também com ajuda da pressão exercida pelo rolo pressor.

O segundo filme, a laminar com aquele onde foi feita a aplicação, é desenrolado pelo desbobinador secundário (4). Os dois filmes (primário e secundário) são unidos através do grupo laminador (5), que à semelhança do processo com solvente, é aquecido através do uso de água quente que circula no interior dos rolos e deste modo, este rolo funciona como pressor. Finalmente o filme é transportado para a secção seguinte onde atinge o bobinador (6) que aloja a bobine em rebobinamento e aguarda a troca automática quando esta acaba, garantindo desta forma um processo de sem interrupções.

Na MREF existem 2 máquinas de complexagem sem solvente designadas por C3 e C4. Na máquina C3 apenas opera 1 trabalhador por turno, já na complexadora C4 são necessários 2 trabalhadores por turno. Assim, há um total de 9 colaboradores expostos às emissões diárias destes equipamentos. Os principais locais onde os colaboradores atuam encontram-se representados na Figura 2-7 pelos números 2, 5 e 6.

3. Emissões Difusas de COV

Neste capítulo é apresentada uma breve descrição dos aspetos gerais relativamente às emissões difusas na indústria, nomeadamente as emissões difusas de COV nos processos de impressão e fabrico de embalagens flexíveis, e em particular na MREF.

Além disso, são apresentados os solventes mais utilizados no processo adotado pela MREF, as principais fontes das emissões difusas de COV e o seu enquadramento legal na indústria das embalagens flexíveis. São também apresentados mecanismos de avaliação e propostas medidas de minimização destas emissões.

3.1. Aspetos gerais sobre emissões difusas na indústria

Apesar de desempenharem um papel fundamental no desenvolvimento económico de um país, as atividades industriais podem ter um impacto nefasto no ambiente.

Na Europa, os processos de produção industrial representam uma parcela considerável da poluição total devido às emissões de poluentes atmosféricos, descargas de águas residuais e produção de resíduos. Os processos produtivos de alguns tipos de indústrias resultam em emissões de poluentes para o ar, como é o caso dos setores químico, indústria mineral, tratamento de superfícies, entre outros (European Commission, s.d.).

No que diz respeito às emissões gasosas, é possível distinguir dois tipos diferentes que contribuem para a poluição: as emissões difusas e as emissões fixas. As emissões fixas são emissões que partem de um ponto específico, como determinados processos dentro das indústrias, que apresentam dispositivos para controlar e direcionar o fluxo. As emissões difusas, por sua vez incluem emissões acidentais, fugas e as emissões não confinadas para o ambiente exterior, através de janelas, portas e aberturas afins, bem como de válvulas e empanques. Estas emissões podem ser causadas por atividades de produção, processamento, transmissão, armazenamento e utilização de combustíveis. Existem emissões difusas que são produzidas no interior dos espaços industriais e colocam os trabalhadores expostos às mesmas (Laconde, 2022).

As grandes instalações industriais que desenvolvem tipos específicos de atividades são obrigadas a utilizar as melhores técnicas disponíveis (MTD) para reduzir as emissões tanto para o ar como para a água e para o solo. Na sequência da crescente preocupação ambiental, foram reunidas as MTD, que representam as melhores técnicas disponíveis para prevenir ou minimizar as emissões e os impactos ambientais. Os documentos de referência das MTD, designados por BREF, incluem técnicas a serem aplicadas para diferentes tipos de indústria (GOV.UK, s.d.).

3.2. Emissões industriais de COV

Algumas indústrias são responsáveis por significativas emissões de COV, devido à evaporação de solventes, derramamentos acidentais ou evaporação de produtos durante os processos industriais. Cerca de 31% das emissões totais de COV para a atmosfera correspondem às emissões provenientes da indústria e do setor de produção de energia. Dentro da atividade industrial, aquelas a que se atribuem maiores responsabilidades são as grandes unidades industriais da química orgânica e de polímeros, e unidades mais pequenas como as de lavagens a seco, impressões, pinturas, etc. (Tintas & Pintura, 2022).

Para controlar essas emissões, foram estabelecidas diretivas europeias que visam reduzir os efeitos das emissões de COV no ambiente. A Diretiva 2016/2284 do Parlamento Europeu e do Conselho, transposta pelo Decreto-Lei n.º 84/2018 fixa os compromissos nacionais de redução das emissões de certos poluentes atmosféricos. No âmbito nacional, o Decreto-Lei n.º 127/2013 regula as emissões industriais e transpõe para a legislação interna a Diretiva n.º 2010/75/EU. Esse DL abrange as instalações listadas na parte 1 do Anexo VII deste diploma e que operam acima dos limites de consumo de solventes definidos na parte 2 do mesmo anexo que para atividades de impressão de rotogravura, flexografia, laminagem ou envernizamento o VLE em gases residuais é de 100 mgC/m³N (DL n.º 127/2013).

Além disso, a Diretiva n.º 2004/42/CE transposta pelo DL n.º 181/2006 estabelece limites para o teor de COV em determinadas tintas e vernizes (DL n.º 181/2006).

3.2.1. Definição e classificação de COV

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), os COV são caracterizados por apresentarem uma elevada pressão de vapor em condições de temperatura e pressão ambiente, o que faz com que se volatilizem facilmente quando em contacto com ar.

Os COV podem ser classificados em diferentes grupos de compostos químicos, de acordo com as suas características químicas (como hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos halogenados, álcoois, ésteres e glicóis, cetonas, aldeídos, amidas, entre outros), características físicas (ponto de ebulição, pressão de vapor, número de átomos de carbono, etc.) ou os seus potenciais riscos para a saúde (Oliveira, 1993).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) classificou os COV, em 1989, de acordo com o seu ponto de ebulição à pressão de 1 atm em compostos muito voláteis (COMV) e compostos orgânicos semi-voláteis (COSV), tal como se apresenta na Tabela 3-1 (APA, 2021).

Tabela 3-1: Classificação de COV segundo a OMS (APA, 2021)

Descrição	Abreviatura	Gama de pontos de ebulição (°C)
Compostos Orgânicos Muito Voláteis	COMV	<0 a 50-100
Compostos Orgânicos Voláteis	COV	50-100 a 240-260
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis	COSV	240-260 a 380-400

Os COV incluem uma ampla gama de poluentes atmosféricos, nomeadamente o benzeno, tolueno, xileno, hexano, heptano, tricloroetano, percloroetano e ciclohexano. Estes compostos estão presentes em diversos materiais naturais ou sintéticos como solventes, tintas, colas, combustíveis, produtos de limpeza, entre outros. No entanto, devido à dificuldade de identificação individual dos COV, foi desenvolvido o conceito de COV totais (COVT). As medições de COVT registam o total de COV presentes, sem distinguir os diferentes compostos (APA, 2021).

Os materiais que contêm na sua composição algum COV possuem um odor característico. Os vapores desses compostos, especialmente dos solventes, penetram nas vias respiratórias, até aos alvéolos pulmonares, onde se dissolvem no sangue. Consequentemente, os COV, quando presentes em altas concentrações, podem causar uma variedade de efeitos adversos, como desconforto, irritação e dificuldades respiratórias, além de alguns deles terem efeitos mutagénicos e carcinogénicos (APA, 2021) (Lerner, 2012).

3.2.2. Panorama nacional

Como estado-membro da UE (União Europeia), Portugal é obrigado a cumprir as exigências legais emitidas pela UE. Em Portugal, os limites de emissão de COV para as indústrias são estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 127/2013, de 30 de agosto. Esse Decreto-Lei estabelece o Regime de Emissões Industriais (REI) e inclui requisitos de controlo de emissões em várias atividades, nomeadamente no que diz respeito ao uso de solventes orgânicos. As instalações industriais devem adotar medidas para controlar as emissões de COV e cumprir os valores limite de emissão estabelecidos. Alternativamente, podem cumprir os requisitos de um

plano de redução autorizado que garanta um desempenho equivalente em termos de emissões de COV e condições operacionais (DL n.º 127/2013).

Neste contexto, as instalações abrangidas pelo DL n.º 127/2013 têm a obrigação de apresentar planos de gestão de solventes (PGS) à respetiva Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) competente até ao dia 30 de abril de cada ano, referentes ao ano anterior. Esses planos devem fornecer dados e informações que comprovem o cumprimento do regime estabelecido no Decreto-Lei. Os PGS têm como objetivos principais verificar o cumprimento dos valores limite das emissões de gases residuais, valores das emissões difusas e valores limite para a emissão total em kg COV por ano. Permitem ainda identificar opções futuras de redução de emissões e fornecer informações ao público sobre o consumo de solventes. A elaboração do PGS deve seguir as diretrizes estabelecidas na Parte 7 do Anexo VII, do DL n.º 127/2013. Nesse ponto definem-se os princípios a aplicar e orientações para a elaboração do balanço de massa (COV, 2022).

3.2.3. Emissões de COV em processos de impressão e fabrico de embalagens

As indústrias de impressão e fabrico de embalagens flexíveis são especializadas na produção de rótulos impressos em alta resolução. O seu processo produtivo envolve o uso de quantidades consideráveis de produtos químicos, como tintas, solventes entre outras substâncias que emitem COV (Galickaja & Kliauugaite, 2018).

O processo de impressão de embalagens flexíveis pode ter implicações ambientais, que vão desde o consumo de energia e recursos de matérias-primas até a produção de resíduos e emissões de poluentes, principalmente de COV. Esses compostos são gerados a partir da utilização de diferentes solventes no processo de impressão (rotogravura e flexografia) e complexagem. Além disso, solventes de limpeza e diluentes com taxas de evaporação variadas são utilizados para lavar tinteiros e outras peças de máquinas, o que provoca a existência de emissões difusas de COV (Galickaja & Kliauugaite, 2018).

Embora a maioria dos COV seja emitida durante o processo de secagem da tinta, é importante referir que grande parte dessas emissões são capturadas pelos sistemas de exaustão e direcionadas para os sistemas de recuperação e tratamento adequados. No entanto, outros COV provenientes de fontes difusas representam um desafio adicional em termos de controlo e redução (Galickaja & Kliauugaite, 2018).

3.2.4. Emissões de COV na MREF

Na MREF são geradas emissões de COV, decorrentes da utilização de solventes, tanto na etapa de impressão como na de complexagem com solvente.

Na impressão os solventes mais comumente utilizados são o etanol e o acetato de etilo. Além disso, nas unidades de flexografia, são utilizados solventes como etoxipropanol, enquanto nas unidades de rotogravura se utiliza metoxipropanol.

O fluxograma da Figura 3-1 ilustra, de uma forma geral, a entrada dos principais solventes utilizados nas diferentes etapas do processo de impressão e complexagem das embalagens flexíveis adotado pela Monteiro, Ribas.

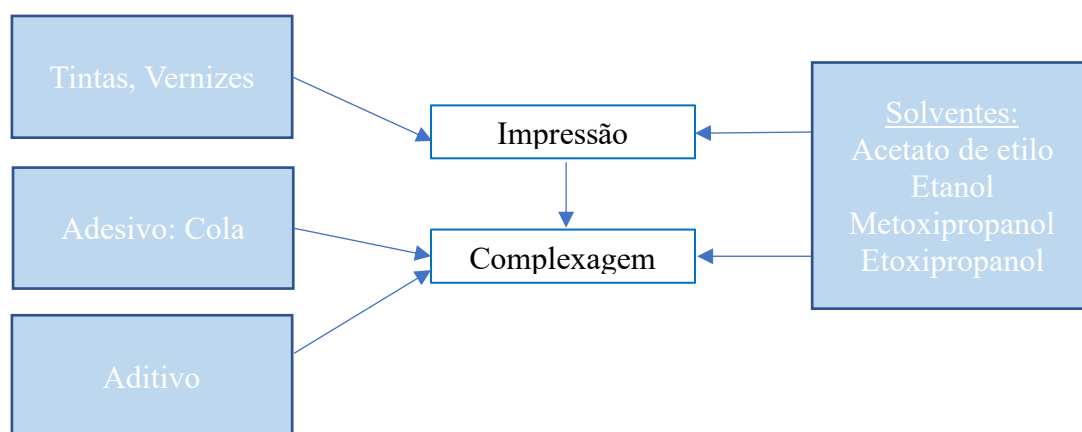


Figura 3-1: Diagrama ilustrativo das entradas de solventes na atividade de fabrico de embalagens adotado pela MREF (Monteiro Ribas)

O acetato de etilo (CAS 141-78-6) é o principal solvente utilizado na MREF e apresenta riscos consideráveis, sendo inflamável, tóxico e capaz de causar lesões oculares graves. É um líquido com um odor forte, obtido pela reação do ácido acético com o etanol. Pertence à família dos ésteres e é miscível com a maioria dos solventes orgânicos e parcialmente miscível com água (PubChem, 2023).

O etanol (CAS 64-17-5), outro solvente amplamente utilizado no processo de fabrico da MREF, apresenta um ponto de ebulição à pressão atmosférica de 78,2 °C. À semelhança do acetato de etilo, o etanol é um líquido inflamável, tóxico e capaz de provocar lesões oculares graves. Algumas propriedades de ambos os solventes estão indicadas na Tabela 3-2 (PubChem, 2023).

Tabela 3-2: Propriedades do acetato de etilo e do etanol (PubChem, 2023)

Propriedades	Acetato de Etilo	Etanol
Peso Molecular	88,11 g/mol	46,07 g/mol
Ponto de Ebulição (Pressão = 1 atm)	76-78 °C	78,2 °C
Pressão de vapor a 20 °C	10 kPa	5,8 kPa
Densidade do vapor	3 (ar = 1)	1,6 (ar = 1)
Viscosidade dinâmica a 20°C	0,45 cP	1,20 cP

De acordo com a classificação da OMS (Tabela 3-1), os principais solventes utilizados na MREF podem ser classificados com base no seu ponto de ebulição (Tabela 3-3). O acetato de etilo e etanol são considerados compostos orgânicos muito voláteis e evaporam facilmente em condições normais de pressão atmosférica. Por outro lado, o metoxipropanol (CAS 107-98-2) e o etoxipropanol (CAS 1569-02-4) são classificados apenas como compostos orgânicos voláteis. Estes solventes apresentam valores de ponto de ebulição superiores à pressão atmosférica (120 e 130 °C, respetivamente), o que significa que requerem temperaturas mais elevadas para evaporar completamente.

Tabela 3-3: Classificação dos principais solventes utilizados na MREF de acordo com o ponto de ebulição pela OMS (PubChem, 2023) (APA, 2021)

Solvente	Ponto de Ebulição (°C) (à pressão de 1 atm)	Classificação de COV (Segundo OMS)
Acetato de etilo	76 – 78	COMV
Etanol	78,2	COMV
Metoxipropanol	120	COV
Etoxipropanol	133	COV

O investimento em unidades de recuperação de solventes tornou-se fundamental devido ao aumento do uso de solventes na indústria nos últimos anos. Essa medida não só representa uma solução economicamente interessante, como também contribui para a resolução de problemas ambientais, uma vez que promove a reutilização de solventes.

Na MREF, a unidade de Recuperação de Solventes (SRU) desempenha um papel fundamental na recuperação dos solventes utilizados, principalmente nas unidades de impressão por rotogravura e nas unidades de complexagem de filmes flexíveis. No entanto, nas unidades de impressão por flexografia, onde são utilizados retardantes como o etoxipropanol, o ar

contaminado é encaminhado para o sistema de RTO para ser oxidado. Isso ocorre devido ao elevado ponto de ebulição desse composto, cerca de 120 °C, o que torna a sua separação por destilação um processo difícil e dispendioso (Valente e Ribeiro, Lda, 2014).

3.2.5. Legislação aplicável e enquadramento legal da MREF

Em Portugal, como referido anteriormente não existe uma legislação específica que estabeleça valores limite de concentração para as emissões difusas de COV no interior de unidades fabris. No entanto, existem regulamentações nacionais e locais que se aplicam a empresas do setor industrial, incluindo a Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis S.A. A empresa está inserida no setor de fabricação de matérias plásticas (secção C das Indústrias Transformadoras) e possui o código CAE (Rev.3) 22220.

No que diz respeito à legislação aplicável à atividade da MREF, destaca-se o Decreto-Lei n.º 127/2013 de 30 de Agosto, já referido, que estabelece o Regime das Emissões Industriais aplicável à Prevenção e Controlo Integrado da Poluição (PCIP). Segundo o Anexo I deste decreto, a MREF é classificada na categoria 6.7, relativa a instalações de tratamento de superfície de matérias, objetos ou produtos, que utilizem solventes orgânicos, nomeadamente para operações (...) impressão, colagem (...). O consumo de solventes na empresa, em 2022 foi de 3 025 983 kg, o que a torna sujeita a requisitos específicos. De acordo com o Anexo VII do DL 127/2013, o valor limite de emissão de COV nos gases residuais das unidades de rotogravura, flexografia e complexagem é de 100 mg C/m³N e a percentagem máxima de emissões difusas, em relação ao consumo total de solventes, é de 20% para consumos superiores a 15 toneladas por ano, tal como evidenciado na tabela da Figura 3-2 (DL n.º 127/2013).

	Actividade — Limiar de consumo e solvente, expresso em toneladas/ano	Limiar (limiar de consumo de solvente, expresso em toneladas/ ano)	Valores limite de emissão em gases residuais (mg C/m ³ N)	Valores de emissão difusa (porcentagem do consumo de solventes)		Valores limite para a emissão total		Disposições específicas
				Novas	Existentes	Novas	Existentes	
1	Impressão rotativa <i>off-set</i> com secagem a quente (1 15).	15-25 1 25	100 20	30 ⁽¹⁾ 30 ⁽¹⁾				⁽¹⁾ Os resíduos de solventes nos produtos acabados não devem considerar-se emis- sões difusas.
2	Rotogravura para publicações (1 25) ...		75	10	15			
3	Outras unidades de rotogravura, flexo- grafia, serigrafia rotativa, laminagem ou envernizamento (1 15), serigrafia rotativa sobre têxteis/cartão (1 30).	15-25 1 25 1 30 ⁽¹⁾	100 100 100	25 20 20				⁽¹⁾ Limiar para a serigrafia rotativa sobre tecido ou car- tão.
4	Limpeza de superfícies ⁽¹⁾ (1 1)	1-5 1 5	20 ⁽²⁾ 20 ⁽²⁾	15 10				⁽¹⁾ Utilização dos compostos referidos nos n.ºs 6 e 8 do artigo 7.º ⁽²⁾ O limite é expresso em massa dos compostos, em mg/m ³ N, e não em carbono total.

Figura 3-2: Limiares de consumo e valores de referência aplicáveis às emissões (DL n.º 127/2013)

No âmbito da qualidade do ar em ambientes interiores, existe a Norma Portuguesa 1796:2014, que segue as diretrizes da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)* que estabelece os critérios para avaliar a qualidade do ar interior, incluindo a concentração de COV. Esta norma define os valores limite de COV para diferentes tipos de ambientes internos, como escritórios (0,3 mg/m³) e ambientes de cuidados de saúde (0,1 mg/m³). No entanto, é importante realçar que esses valores não devem ser considerados como uma separação entre ambientes seguros e perigosos, mas sim como um guia para controlo de riscos à saúde. Existem duas categorias de valores limite (Prevenir, 2023):

- **Valor limite de exposição – curta duração (VLE – CD):** representa a concentração à qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar repetidamente expostos por curtos períodos de tempo sem que ocorram efeitos adversos.
- **Valor limite de exposição – concentração máxima (VLE – CM):** concentração média ponderada ao longo do tempo, que nunca deve ser excedida durante um determinado período de exposição, frequentemente 8 horas. Este limite é estabelecido para controlar a qualidade do ar em condições extremas.

O relatório EUR 17675, intitulado de *European Collaborative Action Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in indoor air quality investigations report n.º 19*, publicado pelo *Office for Official Publications of the European Communities* no Luxemburgo, é geralmente utilizado como um documento de referência para os valores de referência relacionados com os COVT, em investigações de qualidade do ar interior. Esses valores de referência são apresentados na Tabela 3-4, para um período de oito horas à temperatura de 20 °C (Molhave, et al., 1997).

Tabela 3-4: Valores de referência dos COVT (Molhave, et al., 1997)

Classificação da Zona	Valores de referência das concentrações de COVT
Zona de conforto	< 0,2 mgC /m ³
Zona de exposição	0,2 a 3 mgC /m ³
Zona de desconforto	3 a 25 mgC /m ³
Zona tóxica	> 25 mgC /m ³

Os ocupantes dos espaços interiores estão expostos a uma ampla gama de poluentes em variadas concentrações, por períodos frequentemente superiores a 40 horas por semana. Nesse sentido, a Comunidade Europeia estabeleceu como objetivo para COVT um valor de 0,3 mg/m³, no qual nenhum COV individual deve exceder os 10% da concentração de COVT (Matos, Brantes, & Cunha, 2010).

Além disso, o Decreto-Lei n.º. 1/2021 de 06 de janeiro, estabelece as prescrições mínimas para a proteção dos trabalhadores contra os riscos para a segurança e a saúde devido à exposição a agentes químicos no local de trabalho. Esse decreto também estabelece uma lista de valores limite de exposição profissional meramente indicativos a agentes químicos classificados como cancerígenos ou mutagénicos. Entre esses agentes, encontra-se o acetato de etilo e o metoxipropanol, que são solventes utilizados na MREF. A inclusão do acetato de etilo e do metoxipropanol nessa lista destaca a importância de controlar a exposição a esses solventes durante as operações na MREF.

Os valores limite de exposição destes solventes utilizados na MREF estão resumidos na Tabela 3-5, enquanto uma lista detalhada desses valores pode ser consultada no ANEXO A. Essa lista é importante para garantir a segurança e proteção dos trabalhadores em relação à exposição a essas substâncias químicas potencialmente perigosas (DL n.º 1/2021, 2021).

Tabela 3-5: Valores-limite de exposição profissional com caráter indicativo ao acetato de etilo e 1-metoxi-2-propanol (DL n.º 1/2021, 2021)

Nome do agente	N.º CE	N.º CAS	Valores-Limite			
			CM (8 horas)		CD (15 min)	
			mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm
Acetato de etilo	205-500-4	141-78-6	734	200	1468	400
Metoxipropanol	203-539-1	107-98-2	375	100	568	150

No Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, são estabelecidos requisitos para a Qualidade do Ar Interior (QAI) em edifícios comerciais e de serviços, de forma a garantir a saúde e o bem-estar dos ocupantes durante o período laboral. Esses requisitos englobam valores mínimos de caudal novo de ar por unidade de volume do espaço, tendo em consideração fatores como a ocupação, as características do edifício e os seus sistemas de climatização (DL n.º 101-D/2020), bem como os limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, estes publicados na Portaria n.º 138-G/2021. Para os COV, em particular, é estabelecido como limiar de proteção o valor de 0,6 mg/m³.

Os valores estabelecidos para o caudal de ar fresco permitem garantir uma adequada renovação do ar interior, de forma a priorizar uma ventilação eficiente que contribua para a preservação da saúde dos ocupantes. É importante realçar que, embora as indústrias não sejam abrangidas por esses requisitos é fundamental garantir a QAI nesses locais também

A ventilação adequada, juntamente com outras medidas de controlo ambiental, é essencial para garantir um ambiente de trabalho saudável. A ventilação consiste no processo de renovação do ar interior pela introdução de ar fresco proveniente do exterior. A taxa de renovação de ar é dada pela Equação 3.1:

$$R_{ph} = \frac{Q}{V} \quad \text{Equação 3.1}$$

em que:

R_{ph} – Número de renovações de ar por hora [h⁻¹]

Q – Caudal de ar [m³/h]

V – Volume do espaço [m³]

3.3. Estimativa da percentagem de emissões difusas através do PGS

É de extrema importância obter informações detalhadas sobre o uso e a emissão de solventes, incluindo a quantidade de solvente utilizado, onde é utilizado e a quantidade de solvente que é emitido e onde.

Existem várias fontes de emissões de solventes orgânicos, sendo que as emissões difusas, entre outras emissões, são particularmente difíceis de determinar. Para estimar as emissões difusas, é normalmente utilizado um balanço de massa ao(s) solvente(s).

Um balanço de massa ao(s) solvente(s) é uma ferramenta que utiliza e fornece informações quantitativas sobre as entradas e as saídas de solventes. Além disso, desempenha um papel importante no plano de gestão de solventes, que inclui objetivos, responsabilidades, processos e medidas de controlo. Esta ferramenta permite comprovar o cumprimento de regulamentações e licenças ambientais, bem como identificar e corrigir possíveis excessos nos limites de emissão.

A aplicação do balanço de massa ao(s) solvente(s) segue as diretrizes do ANEXO VII do Decreto-Lei n.º 127/2013 de 30 de agosto, que especifica a nomenclatura das variáveis apresentadas e calculadas, conforme descritas na Tabela 3-6. Além disso, o BREF STS – *Reference Document on Best Available on Surface Treatment Using Organic Solvents* (August 2007) foi analisado, especificamente os Anexos 24.2 (*Calculation of VOC emissions and the units used*) e 24.4 (*The common cases for mass balances*) (Directive, Industrial Emissions, 2020).

Para a aplicação do balanço de massa aos solventes adotou-se o esquema da Figura 3-3, como representativo dos processos da instalação da MREFA uma vez que mostra todas as opções habituais de entrada e saída de solventes.

Tabela 3-6: Correntes envolvidas na determinação das emissões difusas através do balanço de massa a COV (Directive, Industrial Emissions, 2020)

Corrente	Descrição da corrente	Metodologia de Cálculo
E1	Quantidade total de solventes orgânicos utilizados nos processos durante o período de cálculo do balanço de massa, incluindo os solventes puros ou os solventes contidos em preparações.	Baseado nas quantidades de solventes (puros e em preparações) consumidas no período correspondente ao PGS, consulta das fichas de segurança para determinar conteúdo em solvente e composição.
E2	Solventes orgânicos recuperados e reutilizados como solventes num processo, na instalação.	Quantidade de solventes recuperados internamente e reutilizados na instalação, quer no processo produtivo, quer em operações de limpeza de equipamentos.

Corrente	Descrição da corrente	Metodologia de Cálculo
S1	Emissões de solventes em gases residuais (COV).	Com base em resultados de medições das emissões dos efluentes gasosos emitidos pelo SRU e pelo RTO. "N.º de horas anuais de emissão" (h) × "caudal mássico de COV" (kg/h)
S5	Solventes orgânicos e ou compostos orgânicos perdidos em resultado de processos químicos ou físicos (tratamento de COV – RTO).	Solventes orgânicos destruídos por via da oxidação térmica, RTO. Nº de horas (h) × Caudal de COV _{Entrada RTO} (kg/h) × Eficiência RTO em que: $\text{Eficiência} = \frac{\text{Caudal COV}_{\text{Entrada}} - \text{Caudal COV}_{\text{Saída}}}{\text{Caudal COV}_{\text{Entrada}}}$
S6	Solventes orgânicos contidos nos resíduos industriais gerados anualmente e encaminhados para destino final.	Resíduos que vão ser eliminados, têm que ser declarados no SIRAPA com código D (eliminação).
S8	Solventes orgânicos contidos em preparações recuperadas para reutilização no exterior, mas que não dão entrada no processo.	Quantificação da mistura de solventes recuperados resultantes do SRU, que são reutilizados no exterior da instalação.

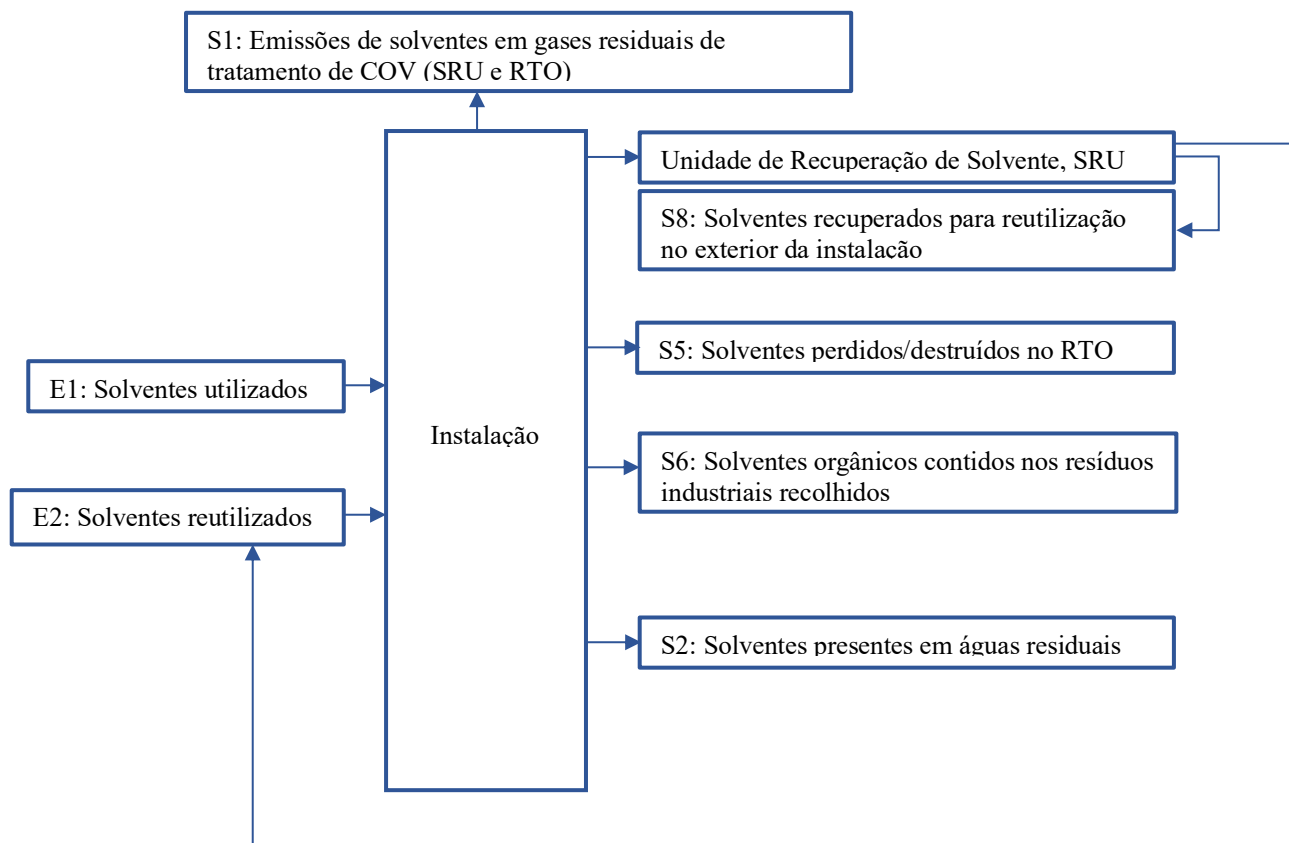


Figura 3-3: Processo representativo para aplicação do balanço de massa ao solvente (Directive, Industrial Emissions, 2020)

O balanço representado pela Equação 3.2 permite estimar a quantidade de emissões difusas, F, expressa em quilogramas. A percentagem de emissões difusas, relativamente à quantidade total de solventes utilizada é dada pela Equação 3.3 (CCDRC, 2022).

$$F = E1 - S1 - S5 - S6 - S2 - S8 \quad \text{Equação 3.2}$$

$$\% F = \frac{F}{E1+E2} \quad \text{Equação 3.3}$$

Desta forma, é possível conhecer a percentagem total de emissões difusas no ambiente fabril, podendo estabelecer objetivos de redução das mesmas, e consequente melhoria da qualidade do ar interior. A legislação estabelece o valor limite de emissão de COV nos gases residuais das unidades de rotogravura, flexografia e complexagem é de 100 mg C/m³N e a percentagem máxima de emissões difusas, em relação ao consumo total de solventes, é de 20% para consumos superiores a 15 toneladas por ano.

3.4. Monitorização de COV em espaços interiores

Independentemente dos resultados do PGS em termos da percentagem de emissões difusas relativamente à quantidade total de solventes usados no processo, é importante verificar de que forma essas emissões se podem traduzir em concentrações mais ou menos prejudiciais para a saúde dos trabalhadores de acordo com o tipo de exposição. Para avaliar a qualidade do ar, bem como identificar as fontes de poluição, desenvolver estratégias para reduzir as emissões e melhorar a qualidade do ar, a monitorização de emissões difusas é amplamente utilizada. Este tipo de monitorização envolve a medição e controlo de poluentes provenientes de várias fontes difusas.

A monitorização das emissões difusas pode ser realizada por meio de diversas técnicas. Na medição de emissões difusas de COV, ou seja, as amostragens dos COV podem ser utilizadas métodos ativos e passivos. A amostragem ativa geralmente ocorre ao longo de períodos de minutos a horas, enquanto a amostragem passiva pode levar horas ou dias. Estas abordagens são fundamentais para garantir a conformidade com as regulamentações ambientais mencionadas anteriormente (Matos, Brantes, & Cunha, 2010).

Nesta dissertação, foi adotada uma abordagem específica para a determinação de COV no ar interior da MREF, que consiste na utilização de um sistema de deteção químico que não se baseia na separação individual dos compostos da mistura. Foi utilizado um instrumento portátil da marca GrayWolf, modelo IQ-610, representado na Figura 3-4. Esse medidor de COV portátil

é equipado com uma sonda DirectSense, que permite quantificar os principais poluentes específicos, como COVT, CO₂, CO, O₃, NO₂, bem como partículas, taxa de ventilação, pressão diferencial entre outros. O instrumento regista as leituras, que podem ser armazenadas e posteriormente exportadas em ficheiro Excel para posterior análise em computador (GrayWolf, 2022).



Figura 3-4 - Instrumento de medição da qualidade do ar interno (GrayWolf, 2022)

Este equipamento utiliza o método de deteção por fotoionização (PID) para medir os COV. Este método não seletivo, é capaz de detetar uma ampla variedade de COV que são capazes de ionizar no detetor quando expostos a uma fonte de luz ultravioleta.

O sensor de deteção PID consiste numa lâmpada ultravioleta e um eléctrodo de ionização. Quando a amostra gasosa entra no sensor, a fonte de luz ultravioleta ioniza os COV presentes na amostra, libertando electrões livres. Os electrões são captados pelo eléctrodo de ionização, e geram um sinal eléctrico que é proporcional à concentração dos COV presentes na amostra. Esse sinal eléctrico é processado pelo equipamento GrayWolf e convertido numa leitura de concentração. É fundamental verificar se o equipamento está configurado corretamente para a aplicação específica e realizar calibrações regulares para garantir medições precisas e confiáveis (GrayWolf, 2022).

Desta forma, a etapa de calibração é crucial e deve ser realizada antes de se iniciar as medições. O instrumento é calibrado com dois gases padrão com concentrações conhecidas de 0 e 8 ppm de isobutileno, o que resulta num sinal de saída que representa todos os componentes da mistura em análise como um equivalente de isobutileno. Consequentemente, o sinal obtido da mistura de COV é sempre expresso em termos de concentração equivalente do isobutileno,

independentemente da composição qualitativa da mistura (Molhave, et al., 1997) (GrayWolf, 2022).

3.5. Medidas de prevenção de emissões difusas

Conscientes dos impactos que as atividades de impressão e complexagem têm no ambiente, é fundamental implementar medidas de controlo que permitam melhorar tanto as condições de trabalho quanto a qualidade do ambiente envolvente. A prevenção de emissões difusas é uma abordagem que pode ser adotada em diversas indústrias e setores, de forma a minimizar o impacto ambiental das suas atividades.

No setor industrial das embalagens flexíveis, as empresas devem ter especial atenção à minimização do consumo de solventes orgânicos e realizar caracterizações periódicas das emissões pontuais das chaminés, a fim de garantir o cumprimento dos valores legais permitidos e reduzir as concentrações de poluentes no ar ambiente (Directive, Industrial Emissions, 2020).

No entanto, o desafio consiste em definir medidas de controlo através da avaliação da exposição a COV. Esse processo envolve a avaliação do perigo representado pelo contacto com a substância e o grau de exposição a essa mesma substância durante a execução das tarefas laborais. Essa avaliação é o primeiro passo para determinar as medidas de controlo adequadas, pois é através delas que se pode decidir qual atividade que será implementada para reduzir a exposição.

Embora o ideal seja eliminar completamente qualquer agente ou fator de risco que possa afetar a saúde nos ambientes de trabalho, nem sempre isso é possível. Portanto, a proposta ao implementar um sistema efetivo de controlo da exposição aos agentes químicos no ambiente de trabalho, é procurar reduzir ao máximo a exposição, e consequentemente, o risco. Durante o processo de avaliação, é fundamental ter em consideração a seguinte hierarquia de controlo:

Eliminação	É possível evitar ou eliminar o uso do produto que contém COV? É possível modificar o processo ou a maneira de trabalhar?
Substituição	É possível substituir o produto por outro? Ou ainda utilizar o mesmo, mas sob outra forma, de modo que não haja mais risco inaceitável?
Controlo	É possível controlar de maneira eficaz a exposição dos trabalhadores?

As medidas adequadas para controlar as emissões e minimizar o impacto ambiental devem ser baseadas nas MTD. A Comissão Europeia desenvolve Documentos de Referência (BREFs) que contém informações sobre técnicas e processos usados em setores industriais específicos na UE. (European Commission, s.d.).

No setor do tratamento de superfícies com utilização de solventes orgânicos, o documento de referência setorial é o BREF STS. O BREF STS aborda as instalações de tratamento de superfície de substâncias, objetos ou produtos que utilizam solventes orgânicos, especialmente para acabamento, impressão, revestimento, impermeabilização, colagem, pintura, limpeza, entre outros (European Commission, s.d.).

A MREF, uma vez que se enquadra nesse setor, já tem implementadas medidas preventivas adequadas para controlar as emissões fixas e difusas de COV, através da utilização de algumas MTD recomendadas no BREF STS. Isso inclui o uso de sistemas de ventilação e exaustão combinados com outras tecnologias de controlo de emissões, como a adsorção e a oxidação térmica (SRU e RTO). O armazenamento de tintas, solventes e produtos de limpeza é realizado em áreas bem ventiladas. As máquinas possuem unidades de medição da concentração (LEL) que permitem direcionar os efluentes de forma mais eficiente para as unidades de oxidação térmica e de recuperação (RTO e SRU). A MREF também implementou planos de manutenção preventiva semestrais para garantir o bom funcionamento dos equipamentos e a limpeza regular, para evitar a acumulação de resíduos que possam gerar emissões de COV durante a operação.

No entanto, estas medidas ainda não são suficientes para controlar totalmente as emissões difusas de COV, o que torna necessário implementar medidas adicionais para reduzir essas emissões.

Com base nas MTD e no BREF STS, existem várias opções que a MREF pode considerar para prevenir e minimizar as emissões difusas de COV, nomeadamente (CCDRC, 2022) (Guerra, 2021) (Directive, Industrial Emissions, 2020):

- Adoção de tecnologias mais avançadas, como a impressão sem contacto, que gera menos emissões de solventes. Isso pode ser realizado através de técnicas como impressão a jato de tinta e impressão a laser.
- Implementação de novas tecnologias de controlo das emissões difusas, como sistemas de ventilação e exaustão mais eficientes, que aumentam a ventilação em áreas específicas, a fim de reduzir a concentração de COV no ar e eliminar outros poluentes.

É importante garantir que a extração do ar seja feita o mais próximo possível do ponto de aplicação, de forma a reduzir as emissões difusas. Para os solventes em questão e atendendo à sua densidade, será vantajosa a extração ao nível do solo.

- Melhorias no armazenamento e no manuseamento de materiais, especialmente solventes, para garantir que sejam armazenados adequadamente e manuseados com cuidado para evitar vazamentos e perdas de solventes.
- Substituição das tintas e adesivos à base de solventes orgânicos por versões à base de água, que possuem teores de solventes muito mais baixos.
- Reduzir a utilização de solventes voláteis na limpeza dos pavimentos. Atualmente, as atividades de limpeza junto às máquinas são feitas com acetato de etilo, o que pode contribuir para a emissão de COV. Optar por alternativas mais sustentáveis.
- Consciencialização dos funcionários envolvidos no processo para que possam identificar e reduzir as emissões de COV. É importante promover a consciencialização relativamente à importância da redução da poluição e a adoção de boas práticas ambientais.

É importante destacar que muitas empresas, especialmente nos novos estados membros da EU, ainda optam por utilizar métodos de tratamento de COV “end-of-pipe” para lidar com as emissões fixas. Esses métodos, como absorção, oxidação térmica, adsorção, condensação e biodegradação, são aplicados no final do processo de produção, depois das emissões já terem sido geradas, e têm como objetivo remover ou destruir os poluentes presentes nas correntes gasosas. Embora os métodos de tratamento de COV “end-of-pipe” possam ser eficazes na redução das emissões de COV, a utilização exclusiva destes métodos não é sustentável a longo prazo (Directive, Industrial Emissions, 2020).

É essencial que as empresas priorizem medidas de prevenção e controlo na origem das emissões, de forma a reduzir ou eliminar a produção de difusas de COV desde o início do processo produtivo.

É importante realçar que, atualmente, há poucos casos de estudo que abordam a forma integrada a prevenção e o tratamento da poluição por emissões difusas de COV nos processos de embalagens flexíveis. Portanto, é importante que a MREF esteja atenta a essas oportunidades

de inovação e procura constante de novas praticas e tecnologias para reduzir as emissões difusas de COV. Desta forma, permitirá à empresa alcançar melhores resultados ambientais e a contribuir para a proteção do meio ambiente.

4. Resultados e discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a discussão dos mesmos de acordo com os objetivos inicialmente propostos.

Durante o processo de medição, foram encontradas algumas dificuldades devido à natureza do ambiente industrial, onde existem várias variáveis que afetam o processo. Essas variáveis incluem a diversidade de trabalhos e a sua configuração nas máquinas, o tipo de tinta e filme utilizados, o tamanho da mancha de impressão, os tempos de produção, a temperatura ambiente, presença ou ausência de verniz, entre outros.

É importante destacar que todos os fatores mencionados anteriormente têm um impacto nas medições e as suas respectivas repetições, o que torna desta forma desafiador garantir condições idênticas para fins de comparação.

4.1. Monitorização das emissões difusas na MREF

No âmbito do objetivo principal desta dissertação, foram repetidas as medições que já tinham sido realizadas em 2018 devido à proposta ref^a SEGAMB/295/18, de 2 de Março de 2018 de forma a determinar a concentração de COVT nas instalações da Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.

A Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis labora continuamente desde as 8h00 da manhã de segunda-feira até às 8h00 de sábado, contando com 3 turnos diários. Na Tabela 4-1 é possível verificar o número de horas efetivas de operação de cada equipamento produtivo e quantidade de trabalhadores presentes em cada máquina durante cada turno. É importante realçar que, ocasionalmente existem períodos em que é necessário estender a produção durante o fim de semana ou em que é feita a paragem em feriados.

Foram realizadas medições em contínuo a duas alturas distintas do solo, durante o período normal de laboração, nos locais de trabalho selecionados.

Tabela 4-1: Equipamentos produtivos, horas efetivas de produção e n.º de trabalhadores por turno

Etapa Produtiva	Equipamentos produtivos	Horas efetivas	Nº Trabalhadores p/turno	Turnos
Complexagem sem solvente	C3	24	2	3
	C4	24	2	
Complexagem com solvente	C2	24	1	
	C5	24	2	
	C6	24	2	
	C7	24	2	
Impressão: Rotogravura	IR1	/	2	
	IR2	/	2	
	IR3	16	2	
	IR4	24	3	
	IR5	24	3	
Impressão: Flexografia	IF1	24	2	
	IF2	24	2	
	IF3	16	2	
	IF4	24	3	

4.1.1. Análise preliminar

Numa primeira visita à fábrica, foi possível ter logo uma visão geral do processo produtivo e identificar os principais pontos críticos de emissões de COV. Através das análises preliminares realizadas antes das medições das emissões difusas de COV na unidade fabril da MREF, foram identificadas possíveis fontes de emissões. As fontes identificadas como as mais prováveis de emissões foram:

- Máquinas de Impressão: visto que a operação de colocação de tinta nos tinteiros nas impressoras por rotogravura consiste em colocar a tinta diretamente do recipiente no tinteiro e de seguida o colaborador com auxílio de uma pequena vara envolve e homogeneiza a tinta. Nesta operação pode ocorrer também a adição de pequenas quantidades de diluente até que a tinta atinja a densidade correta.

Nos processos de impressão por flexografia, das máquinas IF1, IF2, IF3, IF4 a tinta não é colocada nos tinteiros de forma direta. Neste caso, a tinta é retirada de uma lata com auxílio de um batedor. O batedor utiliza uma mangueira para absorver a tinta da lata e transferi-la para o tinteiro. Desta forma, podem ocorrer derrames e assim, são utilizados panos para os trabalhadores limparem os resíduos de tinta. Assim, são encontrados em volta das máquinas de impressão, bidões abertos com

panos sujos e tintas permitindo a exposição a COV, tal como representado na Figura 4-1.

Ainda, cada unidade de impressão possui uma estufa com duas aberturas na zona inferior, de modo a permitir a circulação do filme polimérico impresso, o que permite a saída de gases, e desta forma trata-se de uma das principais fontes de fugas de solvente nas máquinas de impressão.

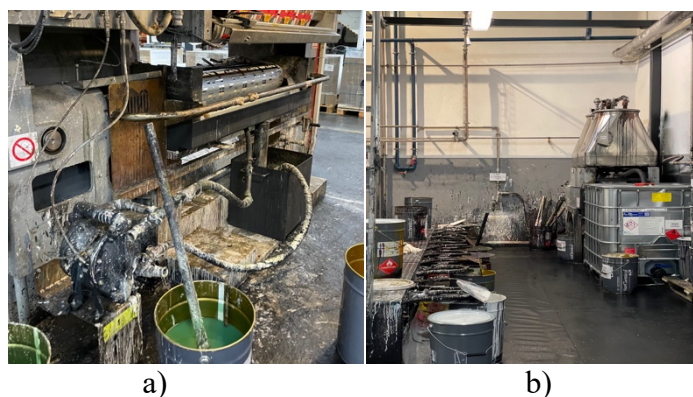


Figura 4-1: a) Unidade de verniz de uma máquina de rotogravura; b) zona de fornecimento de tintas numa máquina de flexografia

- Lavagem de Tinteiros: uma vez que, após cada utilização, os tinteiros utilizados nas máquinas de impressão por rotogravura devem ser despejados e lavados para colocação de novas cores para utilizações futuras. A lavagem de tinteiros é realizada através uma limpeza automática, numa máquina, tal como a representada na Figura 4-2, em detrimento de limpeza manual. Esta máquina tem associado um processo de recolha e destilação do solvente sujo de limpeza com o seu posterior reaproveitamento novamente na limpeza de acessórios na máquina "lavadora de tinteiros".

Este processo permite uma redução da utilização de solvente em limpezas assim como a redução dos resíduos perigosos gerados nesta etapa auxiliar. Contudo, após este período de submersão, ao retirarem os tinteiros da máquina são libertadas grandes quantidades de acetato de etilo resultantes da limpeza.

Além disso, a limpeza de peças mais pequenas é feita de modo manual, sendo que neste processo o operador coloca diluente na peça e, com auxílio de uma espátula e de um pano, esfrega e raspa de forma a arrancar todas as sobras de tinta que esta possua. No final, retira o diluente com a sujidade para uma lata de tinta velha e o mesmo com os panos sujos.



Figura 4-2: Sala de lavagem de tinteiros

- Máquinas de Complexagem: estas máquinas são outra potencial fonte de emissões difusas uma vez que se dá a união dos produtos impressos com filmes e esta união é feita através da utilização de adesivos, que podem requerer ou não a utilização de solventes.

Desta forma, as tecnologias que requerem a utilização de solventes resultam nas emissões de gases uma vez que esses solventes muitas vezes são armazenados em bidões abertos, tal como ilustrado na Figura 4-3, o que aumenta ainda mais as chances de emissões difusas serem libertadas para o ar.



Figura 4-3: Zona de cola nas máquinas de complexagem com solvente

- Sala dos Brancos: local onde estão localizados contentores de 1000 L de tinta branca, como representado na Figura 4-4. A tinta é bombeada diretamente para as máquinas e para as ilhas de produção espalhadas pela fábrica, facilitando o trabalho dos colaboradores uma vez que a cor branca é usada em quase todos os trabalhos. É importante realçar que a sala possui um odor muito forte.

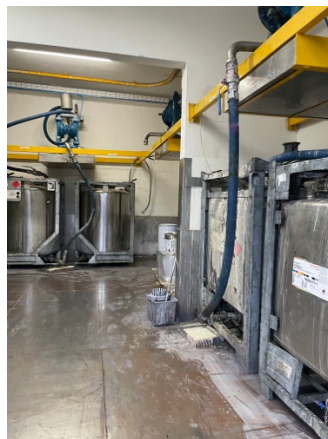


Figura 4-4: Sala com contentores de tinta branca

4.1.2. Planta com a indicação dos pontos de amostragem

A MREF encontra-se dividida em 10 pavilhões interligados entre si, sendo uma planta ilustrativa desta divisão apresentada na Figura 4-5.

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Figura 4-5: Planta ilustrativa dos diferentes pavilhões da unidade fabril

O primeiro pavilhão (P1) é utilizado como armazém de matérias-primas.

No segundo pavilhão (P2), encontram-se as máquinas: IF1, IF3, IF2, IR1 e IR2. No terceiro pavilhão (P3) existem as máquinas: IR3, IR4, C2, C5 e C6. No quarto pavilhão situam-se as máquinas: IF4, IR5, C3, C4 e C7 e uma zona destinada a produtos impressos pré corte.

Os pavilhões 5 (P5) e 7 (P7) possuem máquinas de corte e rebobinagem.

O pavilhão 6 (P6) é destinado à produção de sacos.

No pavilhão 8 (P8) localiza-se o armazém de cilindros.

No nono pavilhão (P9) encontra-se o armazém de produto acabado.

E por último o pavilhão 10 (P10) é destinado ao armazenamento de PE.

Na Figura 4-6 é apresentado o atual *layout* da empresa onde se encontram representados os pontos de amostragem das medições realizadas para análise nesta dissertação.

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Figura 4-6: Locais de amostragem de emissões difusas de COV

4.1.3. Resultados da monitorização

As medições foram realizadas a três alturas distintas do solo, a 20 cm, a 90 cm e a 130 cm, durante o período normal de laboração, nos locais de trabalho selecionados previamente. As medições foram realizadas em contínuo, durante um período mínimo de 10 minutos, com recurso ao equipamento de leitura direta, marca Graywolf, modelo IQ-610.

Os valores de concentração apresentados no Anexo B.1 são resultado da média de todos os valores de concentração lidos durante um período de 10 minutos. Além disso, e uma vez que estas medições são de natureza estática, os valores de concentração obtidos não são representativos da exposição ocupacional dos trabalhadores, sendo que estas devem ser encaradas como valores meramente indicativos da concentração no ar, de COVT.

Dado que não há um valor limite conhecido para a exposição ocupacional aos COVT em ambientes industriais, a abordagem adotada a fim de comparar os resultados obtidos consistiu na comparação deste parâmetro com os valores de referência relativos aos COVT apresentados no relatório EUR 17675, para um período de 8 horas. Devido à variedade de valores acima do limite dessa escala (25 mg/m^3) encontrados durante as medições realizadas foi necessário adotar uma escala de valores arbitrados com intervalos de 50 mg/m^3 aliada com a utilização do software AutoCAD para auxiliar na análise e visualização dos resultados, conforme ilustrado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Esta estratégia permite avaliar o potencial risco de exposição dos trabalhadores aos COVT e ainda permite orientar na adoção de medidas preventivas e de controlo de exposição. Recordar-se que a concentração de COVT é expressa em mg de isobutileno (equivalente) $/\text{m}^3$ e todos os resultados apresentados encontram-se nestas unidades.

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Figura 4-7: Planta representativa das medições de COV efetuadas em 2023 a 130 cm do solo

A análise visual dos dados está de acordo com o facto de os COVT possuírem uma densidade superior à do ar, o que leva a concentrações maiores em alturas menores, como a 20 cm do solo. Essa densidade superior é responsável pela tendência dos COVT a acumularem-se próximo do solo, conforme indicado pelas cores representativas de concentrações mais elevadas na planta, tal como representado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada. a).**

Essa tendência pode ser observada em áreas como as máquinas de impressão e complexagem com solvente, a sala dos brancos e a máquina de lavagem de tinteiros, que apresentam as maiores concentrações de COVT. É importante destacar que os trabalhadores que atuam nessas áreas estão expostos a níveis mais elevados de COVT durante as 8h diárias de produção. Estes resultados corroboram as observações feitas durante a primeira visita à fábrica, o que indica que essas áreas são particularmente críticas em termos de risco ocupacional.

Nas máquinas de complexagem com solvente, os recipientes de cola representam o ponto crítico, pois, as concentrações atingem cerca de 276 mg/m^3 (DP: $\pm 0,1$) a uma distância de 90 cm do solo. Trata-se de um local onde os trabalhadores que nela operam precisam de aceder a estas áreas constantemente de modo a garantir o funcionamento adequado do equipamento. É fundamental encontrar uma solução generalizada para reduzir as concentrações elevadas de forma eficaz.

Outra área crítica identificada foi o corredor junto à máquina IR3, onde as concentrações de COVT atingem também valores preocupantes até 279 mg/m^3 . É importante destacar que todos os colaboradores da fábrica atravessam esse corredor, pois faz a ligação dos balneários com o local de passagem do cartão.

Em 2018, uma empresa externa realizou medições da concentração de COVT no ar no interior da unidade fabril, conforme proposto na ref.^a SEGAMB/295/18, de 2 de março de 2018. Ao comparar os resultados obtidos naquele ano com os de 2023, por meio da Figura 4-9 e com maior detalhe no Anexo B.2, pode-se concluir que a concentração de COVT no interior da fábrica aumentou significativamente desde então. Em 2018, a concentração máxima de COV não ultrapassava os 100 mg/m^3 enquanto que em 2023, existem vários locais na fábrica onde a concentração de COVT ultrapassa os 200 mg/m^3 . É importante realçar que em 2018 as medições não foram realizadas em todos os locais da fábrica. No entanto, é possível deduzir que o aumento da produção e a ampliação do número de equipamentos de produção contribuíram para o aumento da concentração de COVT.

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Figura 4-8: Planta representativa das emissões de COV realizadas em 2018 a 20 e 90 cm do solo

Através de um levantamento dos produtos químicos utilizados na empresa, constatou-se que todos possuem na sua composição acetato de etilo, tal como apresentado no Anexo C.1 pelas fichas de dados de segurança dos mesmos.

Embora a concentração de COVT na MREF seja elevada, mesmo que os COVT fossem todos de acetato de etilo (Anexo C.2), os valores de concentração de COVT encontrados não excedem os limites estabelecidos pelo DL n.º 1/2021 de 6 de janeiro que estabelece os valores-limite de exposição ocupacional aos COVT, tal como ilustrado na Figura 4-10.

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Figura 4-9: Planta representativa dos valores-limite de exposição dos trabalhadores ao Acetato de Etilo (CAS: 141-78-6 e CE: 205-500-4) num período de 8h.

4.1.4. Fatores que influenciam as emissões difusas de COV

As emissões difusas de COV em processos de impressão são influenciadas por diversos fatores. Cerca de 75-90% das emissões de COV dependem da velocidade de impressão, frequência de impressão, solventes presentes nas tintas, temperatura e humidade relativa do ar e da eficiência dos sistemas de secagem e exaustão.

A maior parte das emissões difusas de COV são provenientes da evaporação do solvente nos tinteiros, da evaporação do solvente no produto impresso e dos sistemas de secagem nas unidades de impressão.

É importante realçar que os resultados apresentados nesta secção são baseados nas medições realizadas a uma altura de 20 cm do solo. Embora nem todos os resultados sejam discutidos aqui, os restantes são apresentados no Anexo B.3. Estas medições foram realizadas durante um período de 10 min para cada leitura, e os dados foram normalizados para permitir uma comparação mais precisa entre eles.

Desta forma, é evidente que existe uma complexidade e diversidade de fatores que podem influenciar as emissões difusas de COV nos processos de impressão de embalagens flexíveis. A compreensão destes fatores é fundamental para implementar medidas adequadas de controlo das emissões de forma, a minimizar os impactos ambientais e promover um ambiente de trabalho saudável.

- Efeito da temperatura:

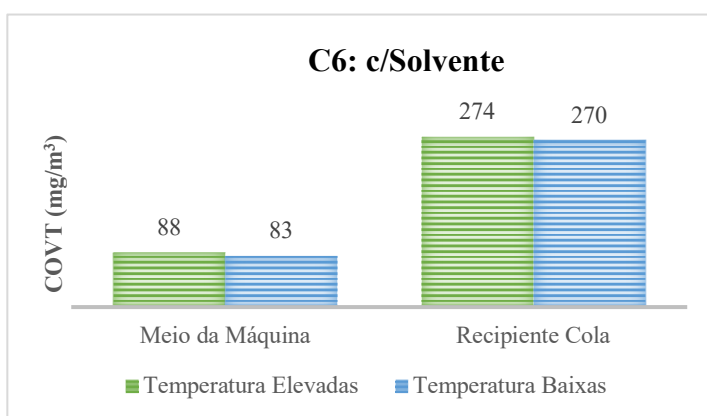
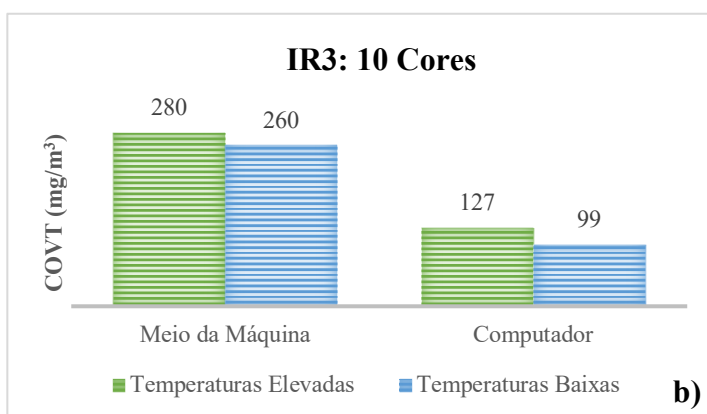
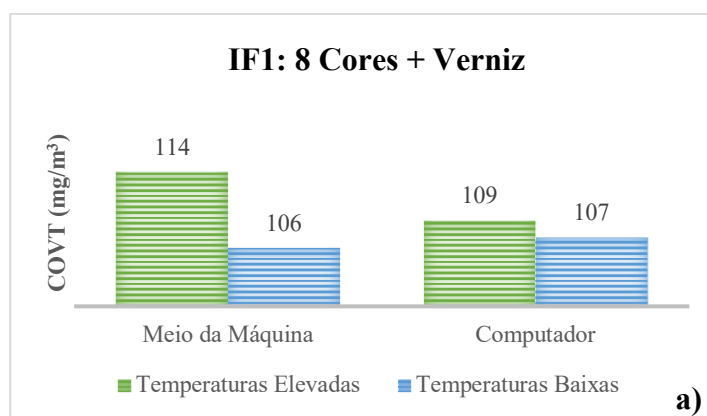
A temperatura é um fator importante a ser considerado na emissão de COV em instalações industriais. Estudos indicam que temperaturas elevadas podem aumentar a quantidade de COV emitidos. No entanto, informações sobre o efeito da temperatura na emissão de COV são limitadas na literatura (Wencek & Pradynski, 2013).

Para avaliar a influência da temperatura nas medições difusas de COVT, foi necessário considerar as variações sazonais nas condições de temperatura dentro das instalações da fábrica. Geralmente, as temperaturas são mais elevadas durante o verão e mais baixas durante o inverno. Com o objetivo de avaliar essa variação, as medições foram realizadas em diferentes pavilhões, tal como representado na Figura 4-10 a), b), c) e d), respetivamente: no P2 na máquina de flexografia (IF1), no P3 na máquina de rotogravura (IR3) e na máquina de complexagem (C6) e ainda no P4 na máquina de rotogravura (IR5).

Durante as medições realizadas em junho, denominadas de “Temperaturas Elevadas”, no interior da fábrica, a temperatura média registada foi de aproximadamente entre 28 a 30°C.

Por outro lado, as medições de “Temperaturas Baixas” foram realizadas em março, com uma faixa de temperatura média entre 22 a 25°C.

É fundamental realçar que todas as medições foram repetidas sob as mesmas condições de funcionamento, nos mesmos locais e à mesma altura. Estas medições foram realizadas enquanto as máquinas se encontravam em pleno funcionamento, a uma velocidade média de operação de 230 m/min. Estes parâmetros fornecem um contexto essencial para compreensão das condições nas quais as medições foram realizadas, de modo a garantir uma consistência dos resultados obtidos.



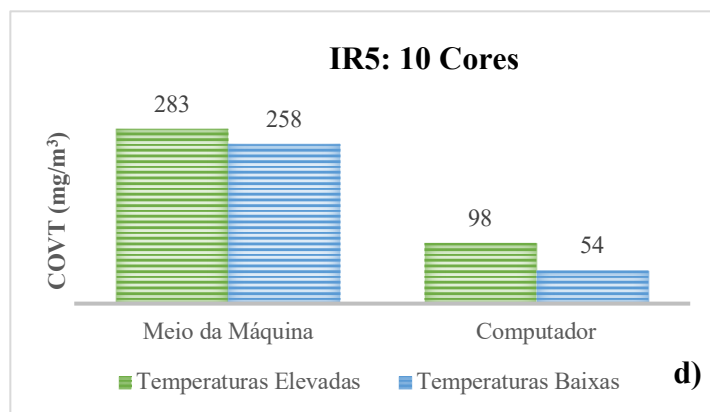


Figura 4-10: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm a temperaturas baixas e elevadas nas máquinas: a) IF1; b) IR3, c) C6 e d) IR5

Com base nos resultados apresentados na Figura 4-10, é possível comprovar que, de um modo geral, há um aumento na concentração de COVT à medida que a temperatura aumenta.

Esse aumento é especialmente perceptível nos pavilhões 3 (IR3, C6, Figura 4-10 b) e c)) e 4 (IR5, Figura 4-10 d)), devido ao maior número de máquinas em funcionamento. O aumento da temperatura nessas áreas resulta num odor mais intenso e é evidente o aumento na concentração de COV. No pavilhão 2 (IF1, Figura 4-10 a)) esse efeito não é tão acentuado, uma vez que, embora possua 5 máquinas, apenas 3 estão em funcionamento normal.

Estas observações são reflexo de que em todas as máquinas dos pavilhões 3 e 4 há locais em que as concentrações de COVT ultrapassam os 200 mg/m³, enquanto que nas máquinas do pavilhão 2 isto não acontece.

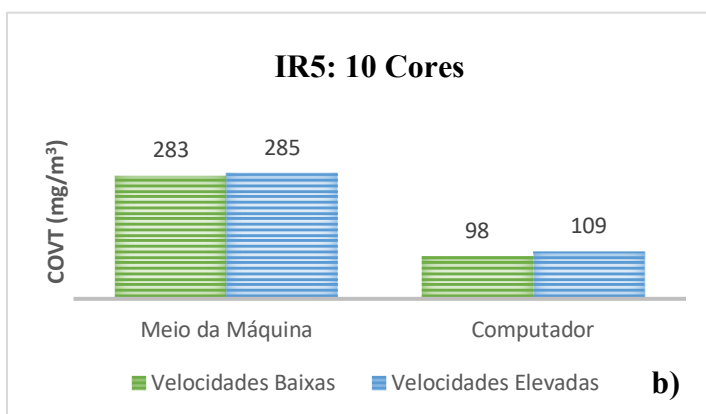
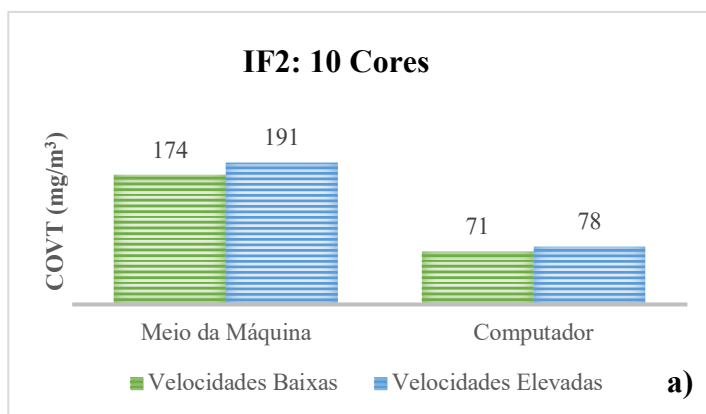
Além disso, é notório que as concentrações de COV são mais elevadas nos pontos de medição próximos do centro das máquinas, quando em comparação com as medições realizadas na zona do computador. Isso ocorre porque no meio da máquina a exposição aos compostos orgânicos voláteis é maior, devido às estufas que se encontram no interior das máquinas e atingem temperaturas na ordem dos 70 °C. No entanto, nas máquinas de complexagem com solvente, as maiores concentrações são localizadas nas zonas dos recipientes de cola, denominados de panelas.

Desta forma, é evidente o impacto das condições de temperatura na concentração de COV no interior da unidade fabril.

- Efeito da velocidade de impressão:

A velocidade de impressão é outro dos parâmetros que pode ter um impacto significativo nas emissões difusas de COV durante o processo de impressão. Com o objetivo de avaliar a influência da velocidade de impressão nas medições difusas de COVT, foram realizadas medições em 3 máquinas diferentes: uma máquina de flexografia (IF2), uma máquina de rotogravura (IR5) e uma máquina de complexagem (C7), conforme evidenciado na Figura 4-11 a), b) e c), respetivamente. As medições foram realizadas, a uma altura de 20 cm do solo, em dois locais onde os operadores se encontram frequentemente: meio da máquina e computador.

Foram consideradas duas faixas de velocidade de operação em cada máquina: velocidades elevadas na faixa de 280 a 350 m/min e velocidades baixas na faixa de 150 a 280 m/min.



b)

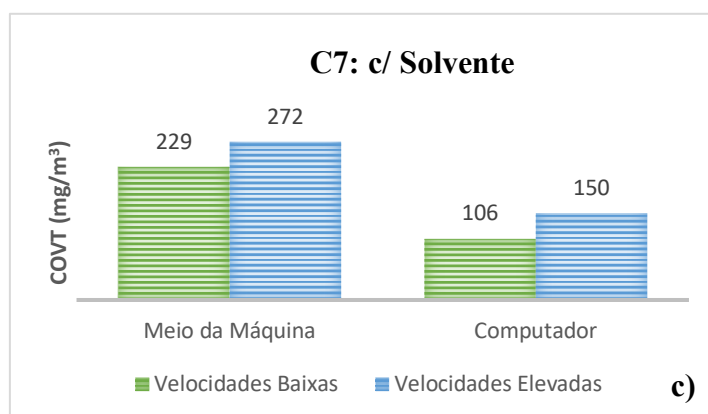


Figura 4-11: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm a velocidade baixas e elevadas nas máquinas: a) IF2; b) IR5 e c) C7

Pelos resultados obtidos pela Figura 4-11 é notório que, a velocidades mais elevadas, há uma tendência de aumento na concentração de COV. Assim, pela análise dos resultados das medições realizadas na máquina de complexagem com solvente, C7, apresentados na Figura 4-11 c), é possível observar que as concentrações de COVT são mais elevadas a velocidades mais altas, tanto na zona do computador como no meio da máquina, tal como nas medições nas máquinas IF2 e IR5, Figura 4-11 a) e b), respetivamente. Esse aumento pode ser atribuído principalmente à maior taxa de evaporação de solvente em velocidades de produção mais elevadas, o que resulta desta forma, numa maior emissão difusa de COVT.

De um modo geral, o aumento da velocidade de impressão está associado à libertação de maiores concentrações de COV, devido a fatores como uma maior fricção entre os materiais, aumento na produção de calor e maior taxa de evaporação de solventes. A velocidades mais elevadas, é necessário que ocorra uma secagem mais rápida, o que pode implicar a libertação mais intensa de COV durante o processo.

- Efeito dos solventes utilizados na limpeza da fábrica:

Como referido anteriormente, a limpeza da unidade fabril é realizada com solventes nomeadamente o acetato de etilo. Assim, de forma a avaliar o impacto dos solventes utilizados durante a limpeza da unidade fabril, foram realizadas medições na sala de manutenção antes e depois da limpeza desta sala com a utilização de acetato de etilo como solvente, conforme apresentado na Figura 4-13.

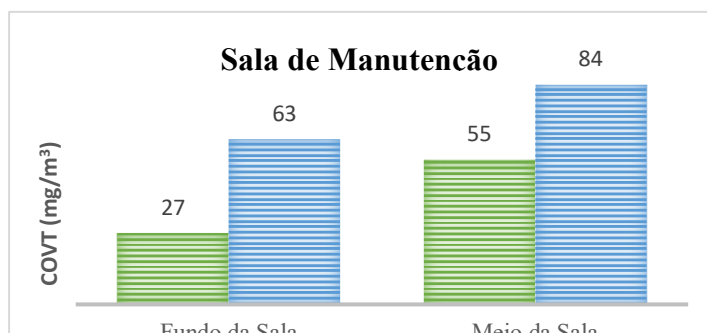


Figura 4-12: Resultados obtidos das medições efetuadas na Sala de Manutenção uma altura de 20 cm a antes e depois da limpeza do espaço com acetato de etilo

Com base nos resultados das medições realizadas na sala de manutenção antes e depois da limpeza com acetato de etilo, fica evidente que o uso deste solvente tem uma influência significativa na concentração de emissões difusas de COVT no interior da unidade fabril.

As medições revelam que as concentrações de COVT, antes da limpeza, tanto no meio da sala como no fundo, foram significativamente mais baixas em comparação com as medições efetuadas umas horas depois da limpeza. O que revela que a utilização de acetato de etilo como produto de limpeza traduz concentrações de emissões difusas de COVT muito superiores no interior da unidade fabril.

Estas observações realçam a importância de considerar os impactos das práticas de limpeza e dos produtos químicos utilizados com emissões de COV.

- Efeito do sistema de ventilação:

De forma a avaliar a influência da eficiência dos sistemas de ventilação foram realizados dois testes, um na sala de lavagem de tinteiros e outro na máquina IF3, conforme representado na Figura 4-14 e na Figura 4-14 respetivamente. Estas medições foram realizadas a uma altura de 20 cm do solo e quando as máquinas se encontravam em funcionamento a uma velocidade média de 230 m/min.

Numa primeira medição realizada na sala de lavagem de tinteiros, o sistema de ventilação estava a operar em condições normais, enquanto que numa segunda repetição das medições, o sistema apresentava algumas falhas e desligava-se constantemente. Desta forma, está a avaliar-se a influência da aspiração do ar contaminado da sala.

Nas medições realizadas na máquina IF3 é possível perceber a influência do sistema de ventilação, no que diz respeito à insuflação de ar para climatização, que se encontra na parte superior das máquinas, quando este se encontra desligado.

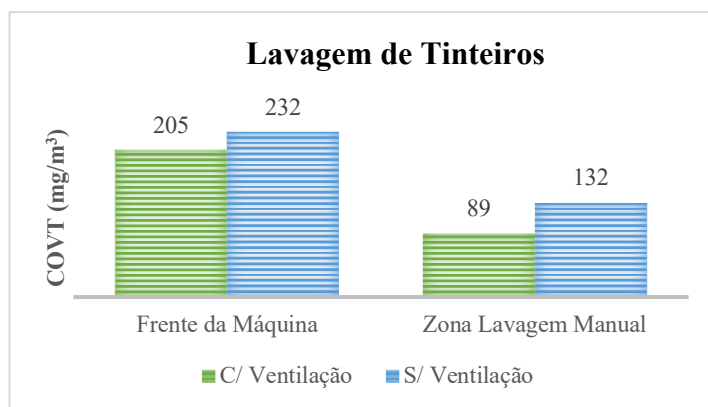


Figura 4-13: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm com e sem falhas no sistema de ventilação na sala de Lavagem de Tinteiros

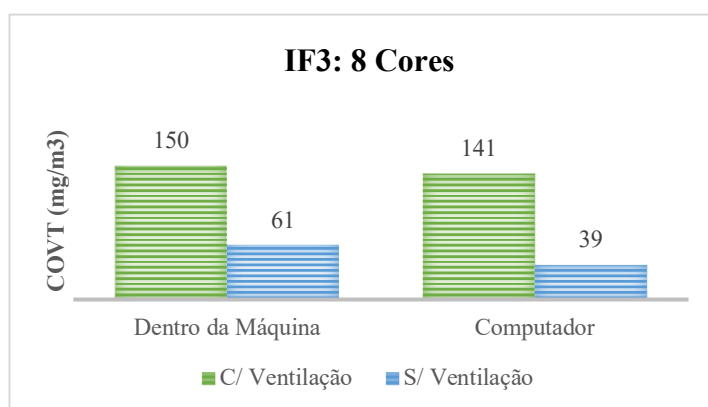


Figura 4-14: Resultados obtidos das medições efetuadas a uma altura de 20 cm com e sem falhas no sistema de ventilação na máquina IF3

Com base nos dados apresentados pelo gráfico da Figura 4-14 é possível concluir que a presença de falhas no sistema de ventilação resultou em concentrações de COVT mais elevadas tanto na área à máquina de lavagem de tinteiros como na zona de lavagem manual. Nessas áreas, a insuficiência de aspiração do ar contaminado resulta na acumulação e consequentemente maiores concentrações de COV.

Por outro lado, ao analisar as concentrações de COVT na máquina IF3, Figura 4-14, observou-se um aumento significativo quando o sistema de ventilação estava ligado. Este fenómeno pode ser explicado pela localização de uma das mangas extensíveis da unidade de fornecimento de ar fresco (UTA, Unidade de Tratamento do Ar) acima da estufa da máquina, onde os filmes impressos saem e emitem substâncias voláteis que se dispersam e acumulam nas áreas mais inferiores, aumentando assim a concentração de COVT junto ao solo.

No entanto, de um modo geral, é fundamental garantir um sistema de ventilação adequado para a redução das concentrações das emissões difusas. É importante considerar que a recirculação do ar não deve ocorrer em locais onde a dissipação das emissões de COV, seja agravada, como é o caso observado na máquina IF3.

Estas observações evidenciam a importância de projetar e manter sistemas de ventilação eficazes, tendo em consideração a disposição das fontes de emissões difusas e a necessidade de dissipar as emissões de COVT adequadamente. Assim, o controlo adequado do fluxo de ar e a consideração das características específicas e individuais de cada área de trabalho são fundamentais para minimizar as concentrações de COVT e potencializar um ambiente de trabalho saudável.

4.2. Climatização na MREF

As diversas máquinas de impressão utilizam o ar interior da nave fabril para os processos de secagem dos produtos. Esse ar saturado resultante da secagem é extraído para os sistemas de tratamento de efluente, especificamente para o SRU e o RTO. Cada máquina de impressão possui estufas onde circula ar quente para secar as tintas, e as temperaturas no interior das estufas variam entre 50 °C e 70 °C, aproximadamente. Todas as máquinas fazem recirculação de uma parte do ar quente extraído das estufas, permitindo assim reduzir a quantidade de ar novo introduzido no circuito. No caso das máquinas de complexagem, estas utilizam vapor para aquecer o ar utilizado no processo de complexagem dos filmes. As temperaturas do ar nestas máquinas variam entre 60 °C e 85 °C.

A remoção de potenciais contaminantes gasosos presentes no ar, como os COV, não pode ser conseguida através de filtração. A insuflação de ar novo em conjugação com a extração de ar pelos sistemas mencionados anteriormente promove um efeito de diluição, permitindo a diminuição da concentração desses compostos e a renovação do ar interior. No entanto, devido à variação de extração de ar pelas máquinas de impressão, dependendo do nível de intensidade produtiva, verificou-se em diferentes estudos realizados por entidades externas, que durante períodos de maior produção existe um défice significativo de ar.

Relativamente às correntes de insuflação de ar elas são provenientes das UTA instaladas nos pavilhões 1, 2, 3, 4, 6 e 7 que na sua maioria são unidades de caudal constante que debitam 20 000 m³/h cada uma e ainda de 2 arrefecedores adiabáticos presentes no pavilhão 3, com um caudal de 40 000 m³/h cada.

A fábrica possui várias UTA que, na sua maioria são unidades VAC, com insuflação de 100% de ar novo. A rede de UTA é constituída por 11 unidades, às quais estão associadas condutas e mangas têxteis de circulação de ar, que permitem a distribuição final do ar aquecido ou arrefecido, para as diversas áreas úteis dos diferentes pavilhões da MREF, tal como

representado na Figura 4-16. Já o caudal de extração é estabelecido pelos sistemas de exaustão que encaminham os efluentes para o SRU e/ou RTO.



Figura 4-15: Conduitas e mangas têxteis das UTAs da instalação

Para analisar as condições interiores de ar na unidade fabril recorreu-se à determinação da diferença entre os caudais de ar de insuflação e extração em cada pavilhão, tal como representado na Tabela 4-2, sendo que nos Anexos D.1 e D.2 encontram-se valores mais detalhados.

Tabela 4-2: Balanço de caudais de ar aos pavilhões 1, 2, 3, 4, 6 e 7

Pavilhão	UTA (m ³ /h)	AA (m ³ /h)	Caudal de Insuflação (m ³ /h)	Caudal de Extração (m ³ /h)	Dif. (m ³ /h)
P1	20 000	-	20 000	-	20 000
P2	60 000	-	60 000	69 088	- 9 088
P3	40 000	80 000	120 000	98 956	21 044
P4	60 000	-	60 000	75 183	- 15 183
P6	20 000	-	20 000	-	20 000
P7	20 000	-	20 000	-	20 000

AA: Arrefecedor Adiabático

A partir da análise dos resultados obtidos, é possível observar que se verifica défice de ar no P2 e no P4. Verifica-se que a insuflação de ar pelas UTA nestes espaços não está a satisfazer as necessidades de ventilação adequada.

Para avaliar se os sistemas de tratamento de ar atualmente instalados na unidade industrial são adequados, calculou-se a taxa de renovação de ar, a partir da Equação 3.1. Os valores que estão a ser aplicados no interior da fábrica em cada pavilhão, são apresentados na

Tabela 4-3. Este cálculo é realizado com o objetivo de compreender se a quantidade de ar que está a ser renovada na unidade industrial é suficiente para manter condições de qualidade do ar internamente.

Tabela 4-3: Taxa de renovação de ar nos pavilhões 1,2,3,4,6 e 7

Pavilhão	Caudal Insuflação (m ³ /h)	Volume (m ³)	Taxa de Renovação de ar (h ⁻¹)
1	20 000	16 275	1,2
2	60 000	8 826	6,8
3	120 000	8 928	13,4
4	60 000	12 549	4,8
6	20 000	5 520	3,6
7	20 000	11 513	1,7

Com base na literatura, apenas existem valores estabelecidos para o número mínimo de renovações de ar em ambientes de comércio e serviço, conforme estabelecido pelo DL n.º 101-D/2020. O DL estabelece que, em ambientes em que há fontes atípicas de poluentes, como é o caso da MREF, este valor deve ser entre 30 e 60 renovações de ar por hora (DL n.º 101-D/2020).

Portanto, se se considerar que no mínimo deveria haver entre 10 a 15 renovações de ar por hora, é evidente que a unidade industrial apresenta um défice de renovação de ar. Isso significa que a insuflação de ar pelas UTA não satisfaz as necessidades de caudal de ar das diferentes máquinas de impressão, o que resulta num ambiente com subpressão excessiva e não desejável.

Além disso, a taxa de renovação de solventes está diretamente relacionada com a capacidade de exaustão, pois na evaporação de solventes há libertação de gases que precisam de ser capturados e extraídos adequadamente para garantir a segurança e a qualidade do ar interior no ambiente de trabalho.

Na Tabela 4-4, são apresentados os valores da taxa de evaporação de acetato de etilo no interior de cada pavilhão da MREF, sendo que no Anexo D.3 são detalhados todos os cálculos envolvidos. Com base nesses valores, pode-se concluir que, em média, são evaporados cerca de 13 000 kg de acetato de etilo ao longo de um ano. Esta quantidade evaporada representa 0,53% do consumo total de acetato de etilo durante o mesmo período. É importante destacar que essa evaporação no ar interior da fábrica para além de apresentar riscos à saúde dos colaboradores, significa uma perda significativa de solvente.

Tabela 4-4: Taxa de evaporação de solvente tendo em conta o número de horas efetivas de funcionamento de cada máquina

Pavilhão	E, total (kg/h)	E, total (kg/ano)
1	0,04	239,1
2	1,18	2 832,0
3	1,55	5 718,8
4	0,91	4 220,7

Com as informações descritas anteriormente, pode concluir-se que os exaustores presentes nas máquinas não são capazes de capturar e extrair de forma adequada todas as emissões difusas de solventes gerados no interior da fábrica. Assim, estes dados reforçam a necessidade de implementação de medidas de redução das emissões difusas e minimização dos impactos na saúde dos trabalhadores.

4.3. Plano de Gestão de Solventes

O consumo anual de solventes associado a operações de impressão e complexagem é de 200 toneladas por ano. No entanto, na MREF este consumo é significativamente maior, o que a coloca abrangida pelo Decreto-Lei 127/2013, de 30 de Agosto.

Tendo em vista a aplicabilidade referida, a empresa desenvolve um PGS anualmente com o objetivo de determinar todos os consumos de solventes e a consequente emissões de COV que é comunicado à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte através do balcão eletrónico da CCDD-N.

O PGS resulta da aplicação de um balanço de massa ao solvente tendo como fronteira o limite da instalação. A aplicação do balanço de massa segue as diretrizes do ANEXO VII do Decreto-Lei n.º 127/2013 de 30 de agosto.

Entradas:

Para a realização do PGS, é necessário ter em consideração dois tipos de entradas, denominadas por E1 e E2, conforme descrito no Capítulo 3. Cada tipo de entrada possui a sua própria fórmula de cálculo.

Através das fichas de dados de segurança dos produtos utilizados na MREF, foi possível obter informações fundamentais para o cálculo do valor de E1, como a percentagem e concentração de solventes no produto e densidade. Ao considerar esses dados em conjunto com o consumo de cada produto, foi possível realizar o cálculo do valor de entrada referido pela Equação 4.1, sendo que no Anexo E.1 estão descritos com mais detalhe.

$$E1 = (\% \text{ Solvente}) / 100 \times \text{consumo anual de solvente} \quad \text{Equação 4.1}$$

Após realizar o cálculo, determinou-se E1 através da soma de todos os valores obtidos. Os dados da Tabela 4-5 revelam que a MREF adquiriu um total de 1 286 070 kg COV de produtos durante o ano de 2022 (no Anexo E são apresentados resultados mais detalhados).

Tabela 4-5: Tabela representativa dos consumos dos produtos utilizados na complexagem e impressão: rotogravura e flexografia

Nome	Consumo (kg)	kg COV
Complexagem	512 021,00	151 064,10
Rotogravura/Flexografia	1 577 867	1 135 006
	Total	1 286 070

O valor da corrente E2 engloba o solvente recuperado no SRU e o solvente destilado na máquina de limpeza de peças e reutilizado novamente nas etapas de limpeza de equipamentos e acessórios. Através dessas informações, foi possível o cálculo desta entrada com aplicação da Equação 4.2, sendo que os valores necessários para esse cálculo encontram-se descritos na Tabela 4-6.

$$E2 = \text{Solvente recuperado SRU} + \text{Solvente Recuperado Máquina Destilação} \quad \text{Equação 4.2}$$

Tabela 4-6: Corrente E2: Solvente total reutilizado internamente

1. Recuperação interna	Quantidade anual de Acetato de Etilo (kg)	Quantidade anual de Álcool Etilo (kg)	Solvente total recuperado SRU (kg)
------------------------	---	---------------------------------------	------------------------------------

Sistema SRU	1 289 383	373 700	1 663 083
	Total, E2. 1		1 663 083
2. Recuperação interna	Quantidade anual (kg)	% Solvente	Quantidade de solvente (kg)
Máquina de destilação MREF	76 830	100	76 830
	Total, E2. 2		76 830

Assim é possível chegar ao valor de E, isto é, de entradas, a partir da soma de E1 com E2, representado pela Equação 4.3.

$$E = E1 + E2 \quad \text{Equação 4.3}$$

Saídas:

Para o cálculo das emissões de solventes em gases residuais (COV), ou seja, S1 é fundamental ter em consideração os resultados das medições das emissões dos efluentes gasosos emitidos pelo SRU e pelo RTO. Através da Equação 4.4 é possível realizar o cálculo do valor de saída S1 com os valores apresentados na Tabela 4-7, sendo que no Anexo E.2 estão descritos com maior detalhe.

$$S1 = \text{Efluente Gasoso SRU} + \text{Efluente Gasoso RTO} \quad \text{Equação 4.4}$$

Tabela 4-7: Corrente S1: Emissões COV em gases residuais (fontes SRU e RTO)

Efluentes Gasosos	Emissão (kgC/ano)	% C na mistura rotogravura
SRU	8472	54,5
Total		15 552
RTO	744	53,5
Total		1 389

Para o cálculo da corrente de saída S5, relativa aos solventes orgânicos e/ou compostos orgânicos perdidos como resultado de processos químicos ou físicos (tratamentos de COV – RTO), é fundamental ter em consideração os solventes orgânicos que acabam por ser destruídos via da oxidação térmica, RTO, apresentados na Tabela 4-8. O cálculo desta corrente é baseado

nos dados de projeto e nas condições operacionais do RTO, tal como apresentado na Equação 4.5.

$$S5 = \text{Entrada de COV na corrente de alimentação ao RTO} - \text{Corrente S1 (Emissões gases residuais)} \quad \text{Equação 4.5}$$

Tabela 4-8: Corrente S5: Compostos Orgânicos Voláteis destruídos no RTO

Entrada de COV na corrente de alimentação ao RTO	IN – (kg COV/ano)	kg C/ ano	kg COV/ ano
Determinado com base em medições 2022:	515 225	275 803	513 836
Corrente S1 – Emissões Gases Residuais	OUT – (kg COV/ ano)		
Dados de medições 2021:	1 389		

A corrente de saída S6 referente aos solventes orgânicos contidos nos resíduos industriais gerados anualmente e encaminhados para o destino final, apresentados na Tabela 4-9, é calculada a partir da quantificação de resíduos que são produzidos anualmente na MREF e pela caracterização dos resíduos em termos de teor de solventes (Equação 4.6).

$$S6 = S8 = \sum \text{Quantidade de solvente} \quad \text{Equação 4.6}$$

Tabela 4-9: Corrente S6: resíduos industriais gerados

Resíduos Industriais Perigosos (RIP)	% Solvente	Quantidade total 2022 (kg)	Quantidade de solvente (kg)
Lamas de destilação LER: 14 06 05*	75	45 459	34 094
Resíduos de Cola LER: 08 01 15*	85	68 852	58 524
Desperdícios Contaminados LER: 15 02 02*	25	109 976	27 494
Totais (S6.1)		224 287	120 112

Resíduos Industriais Perigosos (RIP)		Quantidade total 2022 (kg)	Quantidade de solvente (kg)
Resíduos de tintas p/destilar LER: 08 03 12*		279 610	272 620
	Total (S6.2):	279 610	272 620

Já a corrente de saída S8 é relativa aos solventes orgânicos contidos nas preparações recuperadas anteriormente para reutilização no exterior, mas que não chegam a dar entrada no processo, Tabela 4-10. Para o cálculo desta corrente é fundamental ter em consideração a quantificação da mistura de solventes recuperados resultantes do SRU, que são reutilizados no exterior da instalação, sendo que a fórmula de cálculo é exatamente a mesma da corrente S6, tal como representado na Equação 4.6.

Tabela 4-10: Corrente 8: Solventes que não dão entrada no processo

Resíduos Industriais Perigosos (RIP)		Quantidade total 2022 (kg)	Quantidade de solvente (kg)
Resíduos “High Boillings” (SRU) LER: 14 06 03*		72 384	72 384
	Total S8	72 384	72 384

A equação do balanço e com as variáveis conhecidas obtém-se o cálculo das emissões difusas e da percentagem de emissões difusas, Equação 3.2 e Equação 3.3, referidas no capítulo anterior.

Na Tabela 4-11 são apresentados os resultados obtidos de todas as correntes necessárias para o cálculo da percentagem de emissões difusas.

Tabela 4-11: Balanço de massa a COV

Parâmetros do PGS	Valor Determinado (kg COV/ano)
E1	1 286 070
E2	1 739 913
S1	16 941

S5	513 836
S6	392 732
S8	72 384
E	3 025 983
F	290 177
% F (% Emissões Difusas)	9,59 %
Valor limite de emissões difusas (%)	20 %

Na MREF, a percentagem de 9,59 % de emissões difusas representa o valor dessas emissões em relação ao total de emissões produzidas na fábrica. Esse valor indica que as emissões difusas emitidas estão abaixo do limite estabelecido pela legislação, que é de 20%. O que significa que a fábrica está a operar dentro dos parâmetros regulatórios estabelecidos para as emissões difusas.

Com base nos resultados obtidos, através do PGS o valor de emissões difusas foi de 290 177 kg COV/ ano, o que equivale a aproximadamente 1 ton COV/dia. Ao estimar a taxa de evaporação específica de acetato de etilo (Anexo D.3), que representa 80% do solvente utilizado na MREF, foi obtido um valor de aproximadamente de 10 096 kg/ano. O que demonstra que existem emissões difusas que não foram contabilizadas no cálculo da taxa de evaporação de acetato de etilo e seria necessário realizar uma análise mais abrangente a todos os solventes e em mais locais, nomeadamente no SRU e no RTO.

4.4. Estudo da aplicabilidade de medidas de prevenção e redução de emissões difusas

Nesta secção, será discutida a aplicabilidade de implementação de algumas das medidas recomendadas pelos BREF para reduzir as emissões difusas de COV no processo de impressão e de complexagem de embalagens flexíveis, na empresa MREF.

Além disso, serão apresentadas soluções para reduzir as concentrações elevadas de COV nos locais mais críticos, com base nos resultados das medições realizadas. Com essas medidas, espera-se que a empresa consiga reduzir as emissões difusas de COV e melhorar a qualidade do ar interior.

4.4.1. Implementação de uma nova tecnologia de impressão: impressão sem contacto

A impressão sem contacto é uma técnica de impressão relativamente nova que tem ganho popularidade na indústria de impressão. Esta pode ser realizada por diferentes técnicas, como a impressão a jato de tinta e a impressão a laser. A impressão sem contacto utiliza jatos de tinta ou feixes de laser para imprimir imagens numa ampla variedade de substratos, sem o contacto físico entre a matriz de impressão e o material a ser impresso (Printing flexible packaging, 2019).

Trata-se de uma tecnologia com a principal vantagem de rapidez e flexibilidade em comparação com a rotogravura, o que permite uma produção mais eficiente e personalizada, além de não requerer o uso de cilindros ou matrizes de impressão, o que simplifica os processos de produção e reduz o tempo de configuração. Resulta em menos desperdício de tintas e materiais, já que a tinta é transferida diretamente para o substrato, o que resulta numa redução de custos de produção e, ao mesmo tempo, é uma escolha mais sustentável para as empresas, uma vez que reduz o impacto ambiental. Por esta razão, a tecnologia de impressão sem contato tem-se tornado cada vez mais popular na indústria de embalagens flexíveis, devido às inúmeras vantagens em relação às técnicas de impressão convencionais, como a rotogravura e a flexografia (Printing flexible packaging, 2019).

A Taiwan Lamination Industries, Inc é uma das empresas pioneiras na adoção de técnicas sustentáveis na sua produção de embalagens flexíveis, e, ao mesmo tempo na introdução da tecnologia de impressão digital de última geração. Fundada em 1977, a empresa utilizava a tecnologia de impressão por rotogravura convencional que lhe conferia problemas a nível de descarga de águas residuais e emissões difusas de COV. Recentemente iniciou o seu percurso na adoção de valores ecológicos a fim de alcançar o crescimento sustentável da empresa nomeadamente, a impressão digital de alta qualidade, impressão com tinta “verde” e complexagem sem solvente, para obter um processo de impressão com baixa poluição e livre de emissões de COV (Taiwan Lamination Industries, Inc, 2023).

Nos últimos dois anos, a empresa investiu 14 milhões de euros na introdução de vários equipamentos e tecnologias de fabrico de ponta, onde se inclui a impressora sem contacto, máquinas de complexagem e impressoras que recorrem à tecnologia de flexografia à base de água. As impressoras sem contacto, devido ao seu processo automatizado integrado não necessitam de intervenção do operador e os trabalhos são enviados diretamente do computador para a impressora sem o uso de cilindros e desta forma, os colaboradores são favorecidos e não

necessitam de ter contacto com as emissões difusas de COV. Ainda, a empresa reduz o desperdício e caminha para um desenvolvimento ambientalmente consciente, que lhe permite entrar em novos mercados (Taiwan Lamination Industries, Inc, 2023).

A implementação desta nova tecnologia na MREF pode ser um investimento significativo, mas com benefícios significativos de longo prazo, incluindo uma produção mais eficiente e personalizada, redução de desperdícios, aumento da qualidade de impressão e redução das emissões difusas de COV.

A impressora digital HP Indigo 20000, representada pela Figura 4-17, é um exemplo de uma máquina de impressão sem contacto que pode ser implementada na MREF, uma vez que é amplamente adotada na indústria de embalagens flexíveis. Várias empresas já investiram na adoção desta impressora e revelam testemunhos positivos sobre a sua utilização, nomeadamente a Bemis Company, Inc e a ColorMasters (Labels & Labeling, 2016) (Labels & Labeling, 2016).

Trata-se de uma máquina com uma tecnologia que oferece benefícios significativos, desde permitir imprimir qualquer trabalho, a qualquer momento, sem a necessidade de uma preparação prévia e consequentemente com o mínimo de desperdício (HP, 2012).

Apesar desta máquina só permitir imprimir até sete cores, incluindo tinta branca, pode imprimir numa ampla gama de substratos, incluindo filme, papel, alumínio e materiais biodegradáveis. A instalação desta impressora permite reduzir o tempo de operação, ter tempos de entrega mais curtos e alcançar uma maior qualidade de impressão. As unidades da HP Indigo 20000 são projetadas para responder até mesmo aos requisitos mais rigorosos, garantindo um elevado desempenho e flexibilidade de produção (HP, 2012).

Uma das vantagens desta impressora é a capacidade de mudança de sequências de cores em tempo real, o que proporciona agilidade durante o processo de impressão. A HP Indigo 20000 é acompanhada de um ecossistema integrado projetado especificamente para o mercado de embalagens (HP, 2012).

Além dos benefícios em termos de desempenho e eficiência, também se destaca pela elevada sustentabilidade. Ao eliminar o uso de cilindros, contribui para a redução do desperdício entre os trabalhos (HP, 2012).



Figura 4-16: Máquina de impressão sem contacto: HP Indigo 20000 Digital Press (HP, 2012)

Para se ter uma ideia mais atualizada dos custos envolvidos, em 2018, pode dar-se o exemplo da empresa ePac, que adquiriu 20 impressoras HP Indigo 20000 por aproximadamente 91,8 milhões de euros, incluindo hardware e serviços. Tal resultou num investimento médio de cerca de 4,6 milhões de euros por equipamento, considerando os extras já mencionados (Industry Analysts, Inc., 2018).

Com base nesses números, se a MREF considerar a substituição das 9 máquinas de impressão de rotogravura e flexografia existentes na fábrica por novas máquinas, semelhantes às mencionadas anteriormente, seria necessário um investimento médio de 41,4 milhões de euros, conforme detalhado na Tabela 4-12. É importante realçar que esses valores são baseados em dados de 2018 e podem não refletir os preços atuais das máquinas e extras mencionados.

Tabela 4-12: Estimativa de custo de investimento em máquinas de impressão novas

Quantidades	9
Estimativa de custo do investimento	41,4 milhões €

4.4.2. Melhoria dos Sistemas de Ventilação

O calor excessivo proveniente das estufas das máquinas e o vapor do solvente resultante dos processos de impressão, são uns dos problemas comumente enfrentados neste tipo de indústria. Como referido anteriormente, a influência de um sistema de ventilação pouco eficiente é evidente, conforme demonstrado pelos resultados das medições realizadas na sala de lavagem de tinteiros, Figura 4-14.

Após analisar o balanço dos caudais de ar nos diferentes pavilhões, verificou-se um déficit significativo de insuflação de ar nos pavilhões 2 e 4. Uma possível solução seria a instalação de arrefecedores adiabáticos (AA) com um caudal de insuflação de 40 000 m³/h, semelhantes aos implementados no pavilhão 3, tal como apresentados na Figura 4-18.



Figura 4-17: Arrefecedor adiabático instalado na MREF

Essa medida iria não só permitir o aumento da taxa de renovação de ar, como também iria evitar o déficit de insuflação de ar nos pavilhões em questão.

Assim, considerando a implementação desta solução, de acordo com os dados apresentado na Tabela 4-13, no pavilhão 2 continuaria a existir um déficit de ar, porém significativamente menor em comparação com a situação atual. Portanto, seria necessário instalar outra unidade de arrefecimento ou aumentar a capacidade da mesma. No caso do pavilhão 4, a adição de um arrefecedor adiabático seria suficiente para resolver o problema.

Tabela 4-13: Balanço de caudais do P2 e P4, considerando a implementação da solução proposta.

		Antes			Depois		
Pavilhão	UTA	In (m ³ /h)	Out (m ³ /h)	Dif. (m ³ /h)	Adição de AA (m ³ /h)	In (m ³ /h)	Dif. (m ³ /h)
P2	60 000	60 000	101 395	- 41 395	+ 40 000	100 000	-1 395
P4	60 000	60 000	75 183	- 15 183	+ 40 000	100 000	24 817

AA: Arrefecedor Adiabático

Assim, no que diz respeito às possíveis melhorias a serem implementadas no sistema de ventilação estas encontram-se ilustradas na Figura 4-19.

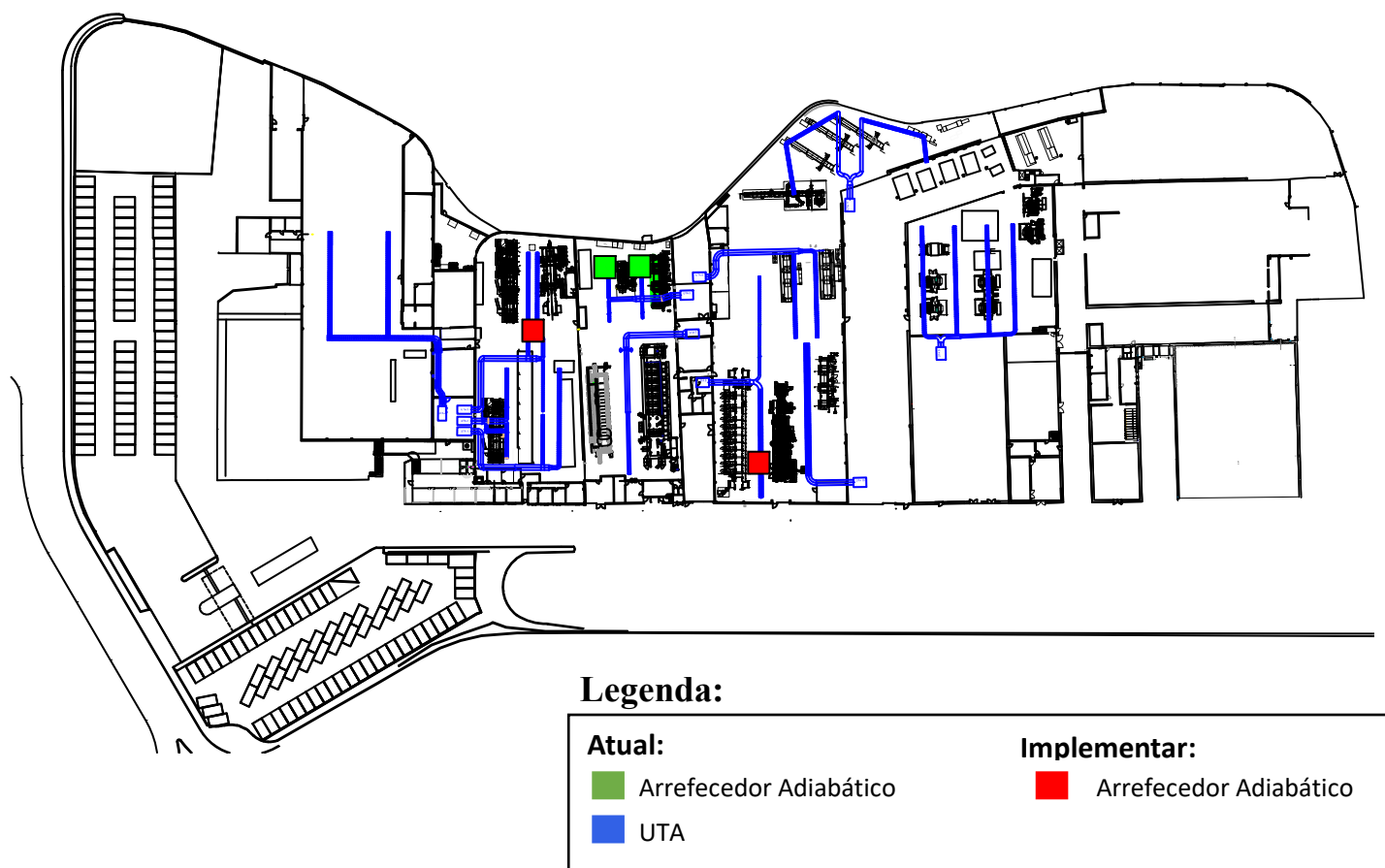


Figura 4-18: Planta com proposta de implementação de AA para melhoria do sistema de ventilação

O custo associado à implementação de dois arrefecedores adiabáticos instalados em 2022, no pavilhão 3 foi de 13 741 €. Se a intenção for prosseguir com esta medida de implementar mais dois arrefecedores adiabáticos e a instalação ficar a cargo da mesma empresa, pode-se considerar que os valores de investimento estarão na mesma ordem de grandeza. Considerando os aumentos que se observam atualmente, é razoável estimar que o custo de investimento rondaria os 15 000 €, tal como descrito na Tabela 4-14.

Tabela 4-14: Estimativa de custo de investimento em dois arrefecedores adiabáticos

Quantidades	2
Estimativa de custo do investimento	15 000 €

Além disso, é necessário abordar o problema das concentrações elevadas de emissões de COV quando a UTA se encontra ligada na máquina IF3, e isso requer considerar diferentes abordagens. Uma possível solução seria reposicionar a manga insuflável de fornecimento de ar

fresco, que atualmente está localizada acima da zona de saída dos filmes da estufa. Ao fornecer ar, os orifícios direcionados para a estufa dispersam as emissões voláteis de COV libertadas pelos filmes após saírem da estufa, sendo que esta opção se encontra representada na Figura 4-20. Uma outra alternativa viável seria substituir a manga insuflável por uma conduta fechada, o que permitia eliminar a dissipação do ar contaminado com COV resultante da impressão, o que iria permitir impedir que esse ar desça em direção ao solo e atinja os operadores.

Figura 4-19: Manga insuflável a reposicionar ou eliminar na UTA da máquina IF3

4.4.3. Melhoria dos Sistemas de Exaustão

De forma a minimizar desequilíbrios e aumentar a eficiência de extração de poluentes, a melhoria destes sistemas contribui para a melhoria das condições de conforto, uma vez que permite melhorar a remoção da carga térmica concebida pelas máquinas e equipamentos.

Para reduzir as concentrações de COV no ar e eliminar outros poluentes do interior da unidade fabril, uma possível medida seria a implementação de um sistema de exaustão localizado, ou seja, capturar os contaminantes na fonte ou muito perto dela. Essa iniciativa aumenta a exaustão numa determinada área específica, nomeadamente na área envolvente às máquinas de impressão e nas máquinas de complexagem com solvente, permitindo a redução da concentração de COV e diminuir as emissões difusas. É importante que a extração do ar seja realizada o mais próximo possível do solo, uma vez que os COV apresentam maior concentração nessa região.

A MREF já se encontra a desenvolver medidas de melhoramento da qualidade do ar interior e redução das emissões difusas de COV. Atualmente, a empresa encontra-se à espera de projeto para a implementação de um sistema de exaustão no solo na sala de preparação de tintas, o que representa um passo importante nessa direção. Assim, seria interessante proceder à implementação deste sistema de exaustão pelo solo no redor de todas as máquinas de impressão e complexagem com solvente. Uma exemplificação detalhada deste projeto foi realizada para o P4, através da utilização do software AutoCAD e encontra-se representada na Figura 4-21. A representação ilustra a implementação de um piso com um tapete com grelhas de exaustão de ar com ligação pela tubulação de extração de ar aos exaustores localizados numa área superior.

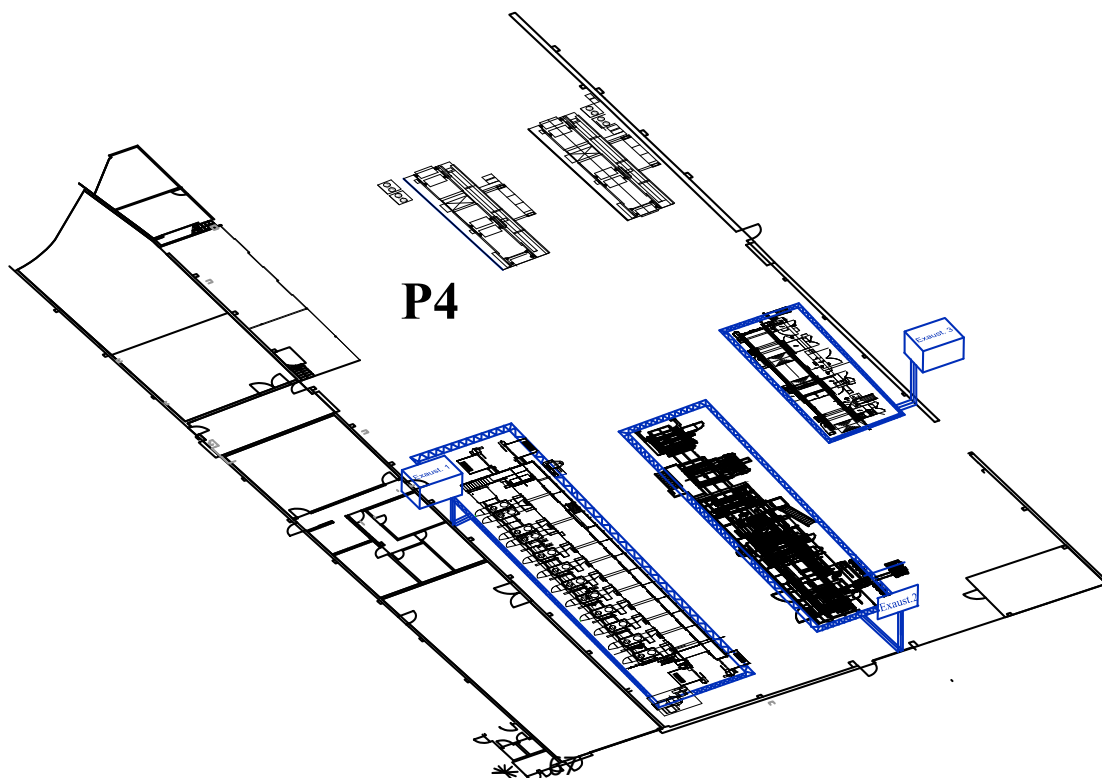


Figura 4-20: Planta ilustrativa da implementação de sistema de exaustão no solo das máquinas do P4

Para determinar a capacidade ideal do sistema de exaustão é necessário ter em consideração diversas características específicas do ambiente e do processo em questão nomeadamente o volume do espaço, a taxa de renovação do ar necessária, a taxa de evaporação de solvente, entre outros requisitos. Pois, um exaustor com uma capacidade insuficiente não será capaz de extrair e capturar todas as emissões, o que resulta numa acumulação no ar do ambiente de trabalho. Por outro lado, um exaustor com uma capacidade excessiva leva ao consumo desnecessário de energia e custos operacionais mais elevados.

Com base nas informações de caudal de extração de cada equipamento atualmente, foi possível estimar possíveis valores para caudais dos exaustores a instalar. Os caudais de exaustão atuais de cada máquina encontram-se detalhados no Anexo D.2.

Ao propor valores de caudal a implementar, é fundamental considerar valores relativamente inferiores aos atuais, de forma a evitar uma extração excessiva de ar. É importante encontrar um equilíbrio adequado entre a remoção eficiente de poluentes e a manutenção de uma ventilação adequada. Além disso, é recomendado realizar uma avaliação mais precisa do sistema de extração, tendo em consideração as características específicas de cada máquina e os requisitos de qualidade do ar. Os valores propostos foram os seguintes:

- Máquinas de rotogravura de 10 cores e com verniz (IR3, IR4, IR5), a máquina de flexografia com unidade de rotogravura (IF4) e a máquina de flexografia com verniz (IF1): caudal de exaustão de 9 000 m³/h.
- Máquinas IF2 e IF3 com 10 e 8 cores, respetivamente: caudal de exaustão de 7 000 m³/h.
- Máquinas de complexagem com solvente C2, C5: caudal de exaustão de 2 500 m³/h
- Máquinas de complexagem com solvente C6 e C7: caudal de exaustão de 5 000 m³/h.

Assim, considerando a implementação dos novos sistemas de arrefecimento adiabáticos nos pavilhões P2 e P4 e tendo em consideração a implementação do sistema de exaustão localizado em cada máquina com os respetivos caudais foi possível elaborar a Tabela 4-15, que determina a diferença entre os caudais de ar de insuflação e extração em cada pavilhão.

Tabela 4-15: Balanços aos caudais de ar com as novas implementações no P1, P2, P3, P4, P6 e P7

Atualmente				Com as novas implementações		
Pavilhão	Caudal de Insuflação (m ³ /h)	Caudal de Extração (m ³ /h)	Dif. (m ³ /h)	Adição AA (m ³ /h)	Adição Extração Localizada (m ³ /h)	Dif. (m ³ /h)
P1	20 000	-	20 000	-	-	20 000
P2	60 000	101 395	- 9 088	40 000	23 000	7 911
P3	120 000	98 956	21 044	-	28 000	- 6 956
P4	60 000	75 183	- 15 183	40 000	23 000	1817
P6	20 000	-	20 000	-	-	20 000
P7	20 000	-	20 000	-	-	20 000

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que seria ideal realizar algumas implementações extras nos pavilhões de forma a garantir uma ventilação adequada e a remoção de poluentes eficiente.

No P2 e no P4, a adição de um arrefecedor adiabático juntamente com sistemas de extração em cada máquina, seria uma solução adequada para manter uma insuflação de ar ideal e garantir que as emissões de poluentes são tratadas e capturas de forma eficiente.

No P3, seria necessário considerar a possibilidade de adicionar mais um arrefecedor adiabático. Isto deve-se ao facto de que, a implementação do sistema de extração localizado, forneceu um défice de insuflação de ar de 6 956 m³/h. A adição de outro arrefecedor adiabático ajudaria a equilibrar a ventilação e a garantir uma renovação adequada do ar.

É importante realçar que o investimento necessário para atender às necessidades do espaço seria significativo. Além dos custos diretos da instalação, é necessário ter em consideração todos os elementos estruturais como, a preparação da superfície, os cortes das chapas e aplicação da cola para fixação das mesmas além de todos os elementos do sistema de exaustão propriamente dito.

Em 2022, foram aplicadas placas de chapa no pavimento junto à máquina C6 no P3, com um custo de 3 559 €, incluindo a cola, as placas e mão de obra. No entanto, é importante realçar que os valores para a implementação da medida proposta seriam superiores devido ao

número de pavilhões, do número de máquinas envolvidas e da complexidade do sistema de exaustão a ser implementado.

Para uma estimativa aproximada do custo total, é necessário considerar o custo de mão de obra para levantar os tapetes das máquinas, fazer os cortes nas placas e instalá-las adequadamente, além dos custos adicionais do sistema de exaustão. Com base nestas considerações, uma média estimativa do investimento para a implementação do sistema de exaustão no solo ao redor das máquinas seria de 241 000 €, tal como detalhado na Tabela 4-16.

Tabela 4-16: Estimativa de custo de investimento de sistema de exaustão no solo

Máquinas a implementar sistema de exaustão no solo	12
Estimativa custo de cola	4 000 €
Estimativa custo mão-de-obra	30 000 €
Estimativa custo sistema de exaustão	207 000 €
Estimativa de custo total do investimento	241 000 €

Com a implementação do novo sistema de exaustão localizado, é fundamental estimar a quantidade de solvente que poderia ser capturada por esse sistema. Além disso, é importante verificar se seria possível ou não a ligação deste sistema ao SRU para uma recuperação mais eficiente.

Atualmente, o caudal de extração administrado ao SRU, é de 574 kg/h, proveniente da exaustão das máquinas de complexagem com solvente e de rotogravura. Com o novo caudal de exaustão de 74 000 m³/h proveniente do sistema de exaustão localizado, juntamente com a concentração média de COV de 106 mg/m³ no interior da fábrica, foi possível estimar uma quantidade de 7,84 kg/h de COV capturado, tal como detalhado na Tabela 4-17.

Com a adição deste sistema e a ligação ao SRU, o solvente seria então direcionado para o SRU, o que resultaria numa entrada de solvente de 582,84 kg/h. É importante realçar que a capacidade de caudal do SRU é de 500 kg/h, com capacidade para picos de 740 kg/h, quando todas as máquinas estão em funcionamento em simultâneo e desta forma seria eficiente ligar o novo sistema de exaustão ao SRU. Contudo, em termos de caudal de ar não seria suficiente uma vez que, o SRU tem uma capacidade nominal de 160 000 m³/h e com as novas implementações passaria a um caudal total de 238 060 m³/h. Assim, seria necessário aumentar a capacidade do SRU atual.

Tabela 4-17: Estimativa de caudal de solvente capturado pelo novo sistema de exaustão e ligação com o SRU

Caudal exaustão máquinas ligadas ao SRU (m³/h)	Concentração de solvente à saída da estufa (mg/m³)	Caudal de solvente à saída da estufa (kg/h)	Caudal novo de exaustão (m³/h)	Concentração média de COV interior da fábrica (mg/m³)	Caudal de solvente do sistema de exaustão (kg/h)
164 060	3 500	574	74 000	106	7,84

Caudal Total (m³/h)	Caudal Nominal (m³/h)	Caudal Total de Solvente (m³/h)	Caudal Nominal de Solvente (m³/h)
238 060	160 000	500	582,24

Com base nos dados do investimento anterior para aumentar a capacidade do SRU, seria necessário um investimento de aproximadamente, 4 108 421 € para aumentar a capacidade para 238 060 Nm³/h.

É fundamental avaliar a viabilidade do investimento através da comparação do custo no acréscimo de recuperação de solvente no SRU com o custo em adquirir solvente novo. Na Tabela 4-18 são apresentados os custos de aquisição de solvente novo e o custo de recuperação de solvente.

Tabela 4-18: Custo de aquisição de solvente novo e custo de recuperação de solvente

Custo de aquisição (€/kg)	Custo de recuperação (€/kg)
1,40	0,39

De acordo com os dados e os cálculos apresentados no Anexo D.4, o *payback* estimado seria de 80 anos. Trata-se de um valor exorbitante o que indica que o investimento demoraria 80 anos para ser recuperado. Portanto, é possível concluir que o investimento não seria viável neste cenário e seria necessário considerar outras opções ou alternativas à ligação do novo sistema de exaustão ao SRU.

No entanto, ainda é necessário encontrar uma solução adequada para reduzir as concentrações elevadas no corredor localizado atrás da máquina IR3, que se trata de uma passagem obrigatória dos colaboradores ao saírem e entrarem da unidade fabril.

Uma possível abordagem seria a instalação de um sistema de exaustão na parede, semelhante ao utilizado na sala de lavagem de tinteiros, para reduzir a concentração dos COV presentes no ar nessa área. A implementação de um sistema de exaustão na parede do corredor de passagem por trás da máquina IR3 teria um custo associado. Assim, para este caso em concreto e considerando o espaço em questão seria necessário um exaustor com um caudal de 2 000 m/h³, em que o orçamento seria de 15 000 €, incluindo mão de obra adicional para a instalação adequada do sistema.

Contudo, é importante ter em consideração que estes valores apenas são estimativas aproximadas e podem variar de acordo com as circunstâncias específicas do projeto e de empresa para empresa.

Independentemente disso, seria importante considerar a possibilidade de alterar o local de passagem dos colaboradores de entrada e saída da fábrica para picarem o cartão, de forma a evitar a passagem por corredores com elevadas concentrações de COV, tal como representado na Figura 4-22. Neste sentido, uma alternativa seria utilizar o corredor entre as máquinas IR1 e IR2, uma vez que estas máquinas atualmente raramente estão em funcionamento.

Esta alteração do corredor de passagem permitiria que os colaboradores fizessem um trajeto com menor exposição a poluentes.



Figura 4-21: Alternativa do corredor de passagem obrigatória dos colaboradores

4.4.4. Substituição de tintas à base de solventes orgânicos

As tintas à base de solventes revelam grande popularidade já há alguns anos uma vez que proporcionam excelentes resultados. No entanto, devido ao desenvolvimento e à crescente consciencialização ambiental, as opções em descartar os resíduos que representam riscos são cada vez mais aplicadas, tanto pelos fabricantes de embalagens flexíveis como pelos próprios consumidores.

Atualmente, tanto os clientes como os fornecedores de embalagens flexíveis têm interesse em utilizar tintas à base de água. Os clientes procuram mercados mais verdes e ecológicos, os fabricantes procuram as tintas à base de água para reduzir as emissões de COV, uma vez que estas apresentam teores de COVT relativamente inferiores quando comparadas com as tintas à base de solventes orgânico, como é possível visualizar pela Tabela 4-19.

Tabela 4-19: Comparação a nível de COV entre tintas à base de solventes orgânicos e tintas à base de água

Tipo de Tinta	% COVT
BS (Olympic Inks, 2013)	50-60
BA (DYEPAC LIQUID INKS PTY, 2015)	10-30

BS: Tinta à base de solvente orgânico; BA: Tinta à base aquosa

A substituição de tintas à base de solvente por tintas à base de água pode levar a uma redução de 20% a 70% na emissão total de COV, tornando-as uma solução sugerida para reduzir o impacto ambiental causado pelas tintas (Wang & Sun, 2023).

Na MREF a média de percentagem de COV nas tintas à base de solvente utilizada nas unidades de rotogravura e flexografia é de 69%, a substituição por tintas de base aquosa com

uma percentagem de COV de 30% resultaria numa redução no consumo de COV de 238 833 kg, ou seja, aproximadamente 56,5%, conforme apresentado na Tabela 4-20.

Tabela 4-20: Estimativa de redução de consumo de COV com a utilização de tintas BA

Tipo de Tinta	% COV	Consumo MP (kg)	Consumo COV (kg)
BS (Utilizadas na MREF)	69	610 466	421 973
BA	30	610 466	183 140
Redução:			238 833

BS: Tinta à base de solvente orgânico; BA: Tinta à base aquosa

Além disso, a adoção de tintas aquosas possui uma vantagem adicional de reduzir a utilização de solventes puros, como acetato de etilo, em 80 %. As tintas de base aquosa não requerem a adição de solventes puros para reduzir a viscosidade das tintas, contribuindo para a diminuição do uso destes solventes.

Contudo, a adoção dessas tintas varia de acordo com o processo de impressão e o tipo de filme utilizado. Na rotogravura, as tintas à base de solventes são predominantemente utilizadas, enquanto na flexografia tanto se pode utilizar tintas à base de água como à base de solventes orgânicos (Cairo, 2007).

A principal fornecedora de tintas de impressão da MREF, tem desenvolvido uma oferta de tintas à base de água para impressão flexográfica em substratos flexíveis, com o objetivo de promover a sustentabilidade das embalagens. As gamas SunSpectro, SunStrato, englobam as tintas à base de solvente ou água, projetadas para impressão de superfícies de embalagens flexíveis numa ampla variedade de filmes, incluindo PE, PP e PET (Sun Chemical, 2023).

Contudo, o principal fornecedor de tintas da MREF atualmente recomenda o uso dessas tintas à base de água apenas em impressões flexográficas em papel ou cartão, devido aos desafios que elas apresentam ao serem aplicadas em substratos de filme flexíveis. Além disso, exigem uma limpeza completa e rápida dos rolos de anilox quando a cor é alterada. Portanto, substituir as tintas à base de solventes por tintas de base aquosa, mesmo que estas últimas apresentem um custo inferior no mercado, pode ser problemático (Cairo, 2007) (Sun Chemical, 2023).

Na Tabela 4-21 encontram-se enumeradas vantagens e desvantagens na utilização de tintas de base aquosa na impressão de embalagens flexíveis:

Tabela 4-21: Vantagens e desvantagens da utilização de tintas de base aquosa na impressão (Cairo, 2007) (Sun Chemical, 2023)

Vantagens	Desvantagens
Reduzir o impacto ambiental durante o processo de impressão e posteriormente evitar a libertação de solventes retidos (COV)	Necessitam de maior tempo de secagem das tintas, devido ao maior calor latente de vaporização da água em comparação com outros solventes.
Melhorar as condições de trabalho, reduzindo o risco para a saúde do pessoal que trabalha diretamente com os equipamentos e manuseia as tintas através das emissões de COV	Maior consumo energético, uma vez que é necessária mais energia para a secagem de tintas à base de água
Evita os efeitos negativos na perceção do aroma e do sabor dos produtos embalados devido à retenção de COV	Absorção mais lenta das tintas à base de água no substrato

Na MREF, a adoção desta medida seria extremamente desafiadora devido a várias razões. Além das desvantagens apresentadas na tabela anterior, como tempos de produção mais longos e maior consumo energético, as tintas aquosas não são adequadas para trabalhos que exigem a complexagem e, na MREF, mais de 80% dos trabalhos são complexados, o que torna a utilização de tintas aquosas ineficiente.

Além disso, a MREF utiliza diversos tipos de filme na impressão, o que implicaria a necessidade de uma tinta específica para cada tipo de filme ao usar tintas aquosas. Isso exigiria um stock significativo de tintas e seria necessário adaptar as máquinas para a utilização desse tipo de tinta, o que envolveria um investimento bastante elevado.

4.4.5. Implementação de boas práticas de trabalho e consciencialização dos colaboradores

A consciencialização dos trabalhadores de uma unidade fabril é um passo fundamental para reduzir as emissões difusas de COV e ainda proteger os trabalhadores para que o contaminante não invada o seu organismo através da implementação de boas práticas de trabalho (IGAS, 2018), (COBA Group, 2022), (IAPMEI, 2020):

- Implementação de boas práticas na rotina de trabalho, como a redução do tempo de operação de equipamentos que emitem COV, a manutenção adequada dos equipamentos, entre outras.
- Sinalizar os riscos, advertindo para os perigos e precauções a adotar, através da instalação de placas de sinalização em áreas críticas da unidade fabril, para alertar os trabalhadores sobre as emissões difusas de COV.
- Manter uma comunicação clara e regular com os trabalhadores, informando-os sobre as medidas tomadas para reduzir as emissões difusas de COV e incentivá-los a contribuir com sugestões e ideias.
- Assegurar a formação, informação e treino dos trabalhadores dos riscos possíveis que advêm da exposição aos COV e o modo de os reduzir. Implica organizar as medidas necessárias para que os operadores recebam formação sobre a temática da informação toxicológica básica sobre os COV a que estão expostos.
- Destacar a importância da responsabilidade social, incentivando os trabalhadores a preocuparem-se com o impacto ambiental das suas atividades e a trabalhar em conjunto para minimizar as emissões difusas de COV.
- Oferecer incentivos para trabalhadores que apresentem sugestões para reduzir as emissões difusas de COV, com prémios ou reconhecimentos.
- Evitar o uso desnecessário de solventes.
- Realizar uma monitorização regular das emissões difusas de COV na unidade fabril, e informar os trabalhadores dos resultados obtidos, destacando os impactos positivos das medidas adotadas.

Através da consciencialização dos trabalhadores é possível promover uma cultura de segurança no local de trabalho e aumentar a responsabilidade individual pelo bem-estar de todos os envolvidos. Isso não só torna o ambiente de trabalho mais saudável e seguro para os trabalhadores, como também contribui para a redução das emissões difusas de COV, que prejudicam o meio ambiente.

5. Conclusões

Após a realização do trabalho na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, ficou evidente a complexidade envolvida na produção de embalagens flexíveis e a importância de alcançar um produto final de alta qualidade. O processo envolve diversas etapas até que o produto final chegue ao mercado. Todas as etapas do processo, como impressão, complexagem e corte, são de extrema importância e devem ser rigorosamente controladas.

A utilização de solventes orgânicos em inúmeras etapas do processo requer o controlo e monitorização das emissões difusas de COV. Sendo este o principal objetivo desta dissertação foi possível avaliar e identificar os pontos mais críticos das emissões difusas de COV através da utilização do equipamento GrayWolf, modelo IQ-610. Com base nas recomendações do BREF STS, foram avaliadas as MTD mais relevantes para serem aplicadas na MREF.

Com o desenvolvimento do trabalho experimental, foi claro o desafio em controlar todos os parâmetros num ambiente industrial, devido às inúmeras variáveis no processo. Verificou-se que as áreas onde o odor sentido era mais intenso que eram as áreas que apresentavam maior concentração de COV, nomeadamente a sala dos brancos, a sala de lavagem dos tinteiros, nos recipientes de cola das máquinas de complexagem com solvente e nas unidades das máquinas de impressão.

Verificou-se também que as concentrações de COV tendem a ser mais elevadas a níveis mais próximos solo. Além disso, as medições realizadas neste trabalho revelaram um aumento da concentração de COV no interior da unidade fabril quando comparadas com as medições realizadas em 2018 por uma empresa externa, principalmente devido ao aumento da produção e do número de máquinas.

Foram avaliados diversos fatores sendo que se constatou que a utilização de acetato de etilo na limpeza das superfícies, velocidades de impressão elevadas, temperaturas no interior da fábrica altas, têm um impacto significativo na concentração de COV no interior da fábrica. Além disso, os sistemas de climatização desempenham também um papel importante na concentração de COV na fábrica, sendo que as disposições destes sistemas podem ter uma influência significativa como foi demonstrado pela manga extensível por cima da estufa da máquina IF3.

Com base nas análises realizadas, ficou claro que a implementação de diversas medidas, juntamente com a adoção de algumas MTD recomendadas pelo BREF STS, permitiriam controlar e minimizar as emissões difusas de COV na MREF. Entre as medidas sugeridas, a adoção de uma nova tecnologia de impressão sem contacto, a implementação de um sistema de

ventilação mais eficiente, como a instalação de dois arrefecedores adiabáticos adicionais nos P2 e P4, e a instalação de um sistema de exaustão localizado nas áreas próximas às máquinas com ligação ao SRU, tendo em consideração que é junto ao solo que as concentrações de COV são mais elevadas, são as medidas que numa primeira abordagem são as mais eficientes e na prática poderiam ser aplicadas na MREF.

Além das medidas técnicas, é fundamental consciencializar e dar formações aos funcionários sobre os riscos associados aos COV e a importância de práticas sustentáveis na indústria, uma vez que são estes que têm contacto direto com o processo e estão expostos diariamente a altas concentrações de COV.

No entanto, é importante referir que a substituição de tintas orgânicas por tintas aquosas, apesar de ser também uma das medidas comumente sugeridas pelo BREF STS e permitir uma redução do consumo de COV de 56,5%, a sua implementação seria um desafio bastante significativo para a MREF devido à ampla gama de filmes utilizados na impressão específica da empresa, o que exigiria um tipo de tinta específico para cada tipo de filme. Isso implicaria uma grande variedade de tintas e um stock enorme destas.

Além disso, é fundamental ter em consideração que todas as medidas apresentadas implicam custos significativos para a sua implementação prática. É importante referir que os valores apresentados ao longo do trabalho apenas são estimativas, e seria necessário solicitar orçamentos a empresas especializadas para os projetos pretendidos.

É importante realçar que, embora existam custos e desafios envolvidos neste processo, os benefícios a longo prazo superariam essas dificuldades. A redução das emissões difusas de COV não contribui apenas para o cumprimento de regulamentações ambientais que apesar de atualmente não serem muito específicas no que diz respeito a limites de emissões difusas de COV em ambientes interiores industriais, mas também contribui para fortalecer a reputação da empresa como uma organização comprometida com a sustentabilidade e responsabilidade social.

Desta forma, e apesar das dificuldades e dos custos envolvidos, é evidente que estas medidas são confiáveis no que diz respeito à minimização das emissões difusas de COV e que proporcionariam um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para os funcionários.

Bibliografia

- (2022). Obtido de Tintas & Pintura: <https://tintasepintura.pt/cov/>
- APA. (2021). *Compostos Orgânicos Voláteis (COV)*. Obtido de Agência Portuguesa do Ambiente: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/compostos-organicos-volateis-cov>
- Cairo, A. A. (2007). *Environmental pollution reduction by using VOC-free water-based gravure inks and drying them with a new drying system based on dielectric heating*. Alemanha.
- Carvalho, N. (2016). *Avaliação do desempenho de uma unidade de recuperação de solventes*. Instituto Superior de Engenharia do Porto: Mestrado em Engenharia Química.
- CCDRC. (2022). Obtido de Quais são as medidas especiais que devo adoptar para prevenir e minimizar as emissões difusas?: http://www.ccdrc.pt/index.php?view=category&cid=2:ambiente&option=com_quickfaq&Itemid=381
- COBA Group. (2022). *Qualidade, Ambiente e Segurança*. Obtido de Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A.: <https://www.cobagroup.com/qualidade-PT.aspx>
- COV. (02 de maio de 2022). Obtido de Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional - CCDR LVT: <https://www.ccdr-lvt.pt/ambiente/emissoes/compostos-organicos-volateis/>
- Directive, Industrial Emissions. (2020). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Surface Treatment Using Organic Solvents including Preservation of Wood and Wood Products with Chemicals*.
- DL n.º 1/2021. (06 de 01 de 2021). Obtido de Diário da República n.º 3/2021, Série I de 2021-01-06: <https://dre.tretas.org/dre/4375637/decreto-lei-1-2021-de-6-de-janeiro>
- DL n.º 101-D/2020. (s.d.). *Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro*. Obtido de Diário da República n.º 237/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-07: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>
- DL n.º 127/2013. (s.d.). Obtido de Diário da República n.º 167/2013, Série I de 2013-08-30: <https://dre.tretas.org/dre/311298/decreto-lei-127-2013-de-30-de-agosto>
- DL n.º 181/2006. (s.d.). Obtido de Diário da República n.º 181/2006, Série I de 2006-09-19: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/187-2006-541635>
- DYEPAC LIQUID INKS PTY. (2015). *WATER SOLUBLE FLEXOGRAPHIC INK*. Obtido de Material Safety Data Sheet: <http://www.dyepac.com.au/wp-content/uploads/WATER-SOLUBLE-FLEXOGRAPHIC-INK-DEC2015.pdf>
- European Commission. (s.d.). Obtido de Industrial Emissions Directive : <https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm>
- Galickaja, I. K., & Kliuugaite, D. (2018). *VOC emission reduction and energy efficiency in the flexible packaging printing processes: analysis and implementation*.
- GOV.UK. (s.d.). Obtido de Industrial emissions standards and best available techniques: <https://www.gov.uk/guidance/industrial-emissions-standards-and-best-available-techniques>

- GrayWolf. (2022). Obtido de Indoor Air Quality (IAQ) Meters Monitors:
<https://graywolfsensing.com/iaq/>
- Guerra, N. M. (2021). *Rotulagem Ecológica - Compostos Orgânicos Voláteis (COV) nos produtos de construção*. Coimbra.
- HP. (2012). *HP Indigo 20000 Digital Press*. Obtido de HP:
https://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2012/HPdrupa12/HP_Indigo_20000.pdf
- IAPMEI. (2020). *Guia da Indústria Responsável*. Obtido de Sistema de Indústria Responsável:
https://www.iapmei.pt/PRODUTOS-E-SERVICOS/Industria-e-Sustentabilidade/Licenciamento-Industrial/Documentos-LI/Guia_SIR_21042020.aspx
- IGAS. (2018). *Manual de Segurança e Saúde no Trabalho*.
- Industry Analysts, Inc. (2018). *HP Sells 20 HP Indigo 20000 Presses To Single Customer*. Obtido de Industry Analysts, Inc.: <https://www.industryanalysts.com/hp-sells-20-hp-indigo-20000-presses-to-single-customer/>
- Jurkevicz, S. S. (2020). *Controle das Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na Atividade de Pintura de Carroceria Automotiva - Veículos Leves*.
- Labels & Labeling. (2016). *Bemis Company investe na impressora digital HP Indigo 20000*. Obtido de Labels & Labeling: <https://www.labelsandlabeling.com/news/installations/bemis-company-invests-hp-indigo-20000-digital-press>
- Labels & Labeling. (2016). *HP Indigo details further adoption of its 20000 digital press platform*. Obtido de Labels & Labeling: <https://www.labelsandlabeling.com/news/installations/hp-indigo-details-further-adoption-its-20000-digital-press-platform>
- Laconde, T. (2022). Fugitive emissions: a blind spot in the fight against climate change. *Fugitives Emissions*, 106-116.
- Lerner, C. J. (2012). Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina. Em *Atmospheric Environment* (pp. 440-447).
- Luís, V. (2013). *Embalagens Flexíveis: estudo do processo de reticulação de adesivos e do coeficiente de atrito*.
- Matos, J., Brantes, J., & Cunha, A. (2010). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente.
- Molhave, L., Clausen, G., Berglund, B., Ceaurriz, J., Kettrup, A., Lindvall, T., . . . Younes, M. (1997). *Total Volatile Organic Compounds Quality Investigations*. European Community.
- Monteiro Ribas, E. F. (s.d.). *Manual interno de acolhimento e formação*.
- Oliveira, A. P. (1993). *Controlo de Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis - Aplicação ao Caso Português*. Lisboa.
- Olympic Inks. (2013). *Flexo Inks - Material Safety Data Sheet*. Obtido de Olympic Inks. Ltd: <https://olympicinks.com/wp-content/uploads/2021/04/FLEXO-INKS-MSDS-.pdf>
- Poças, M. d., Selbourne, M. d., & Delgado, T. (2013). *Embalagens Plásticas*.
- Prevenir . (2023). *Manual de Boas Práticas: Indústria dos Produtos Químicos - Segurança e Saúde no Trabalho*. AEP - Associação Empresarial de Portugal.

Printing flexible packaging. (25 de Março de 2019). Obtido de Innovative Packaging Solutions:
<https://www.wipf.ch/blog/blog-detailview/printing-flexible-packaging-these-processes-are-popular-now.html>

PubChem. (2023). *PubChem*. Obtido de National Center for Biotechnology Information:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Rotogravura. (2022). Obtido de Chambril: <https://www.portalchambril.com.br/artigos-tecnicos/rotogravura/>

Smartgum. (21 de Agosto de 2020). Obtido de Tipos de impressão para embalagens:
<https://smartgum.com.br/tipos-de-impressao-para-embalagem/>

Sun Chemical. (2023). *Packaging + Graphic Solutions*. Obtido de Sun Chemical:
https://www.sunchemical.com/products/packaging-graphic-solutions/?filter_application=flexible-film

Taiwan Lamination Industries, Inc. (27 de fevereiro de 2023). *Traditional yet digital - Taiwan Lamination pioneers flexible and 'green' packaging solutions*. Obtido de Digital printing:
<https://www.twn-lami.com.tw/en/topic>

Tipos de Impressão. (2022). Obtido de http://selosordinariosdobrasil.blogspot.com/p/blog-page_58.html

Valente e Ribeiro, Lda. (2014). *DIL Retard VR 1007*.

Wang, H., & Sun, S. (2023). *A review of whole-process control of industrial volatile organic compounds in China*. Journal of Environmental Sciences.

Wencek, A. S., & Pradynski, W. (2013). *The effect of temperature on the emission of volatile organic compounds from furniture coatings*.

Anexos:

Anexo A: Valores-limite de exposição pelo DL n.º 1/2021

Tabela A. 1: Exemplo de alguns agentes e respetivos valores de exposição profissional com carácter indicativo pelo DL n.º1/2021

valores-limite de exposição profissional com caráter indicativo

(a que se refere o n.º 3 do artigo 4.º)

Nome do agente	N.º CE (¹)	N.º CAS (²)	Valores-limite				Notação (³)
			8 horas (⁴)		Curta duração (⁵)		
			mg/m³ (⁶)	ppm (⁷)	mg/m³ (⁶)	ppm (⁷)	
Acetato de t-amilo.	203-933-3 205-500-4	625-16-1	270	50	540	100	—
Acetato de 2-butoxietilo		112-07-2	133	20	333	50	Cutânea.
Acetato de etilo.		141-78-6	734	200	1 468	400	—



Diário da República, 1.ª série

N.º 3

6 de janeiro de 2021

Pág. 11

Nome do agente	N.º CE (¹)	N.º CAS (²)	Valores-limite				Notação (³)
			8 horas (⁴)		Curta duração (⁵)		
			mg/m³ (⁶)	ppm (⁷)	mg/m³ (⁶)	ppm (⁷)	
Acetato de 2-etoxietilo	203-745-1	111-15-9	11	2	—	—	Cutânea.
Acetato de isobutilo		110-19-0	241	50	723	150	—
Acetato de isopentilo		123-92-2	270	50	540	100	—
Acetato de 1-metilbutilo	210-946-8	626-38-0	270	50	540	100	—
Acetato de sec-butilo	203-300-1	105-46-4	241	50	723	150	—
Acetato de 1-metil-2-metoxietilo	203-603-9	108-65-6	275	50	550	100	Cutânea.
Acetato de 2-metoxietilo	204-658-1	110-49-6	—	1	—	—	Cutânea.
Acetato de n-butilo		123-86-4	241	50	723	150	—
Acetato de 3-pentilo		620-11-1	270	50	540	100	—
Acetato de pentilo	211-047-3	628-63-7	270	50	540	100	—
Acetato de vinilo	200-662-2	108-05-4	17,6	5	35,2	10	—
Acetona		67-64-1	1 210	500	—	—	—
Acetonitrilo		75-05-8	70	40	—	—	Cutânea.
Ácido acético	200-580-7	64-19-7	25	10	50	20	—
Ácido acrílico; ácido prop-2-enoico	201-177-9	79-10-7	29	10	(¹⁰) 59	(¹⁰) 20	—
Ácido bromídrico	233-113-0	10035-10-6	—	—	6,7	2	—
Ácido clorídrico	231-595-7	7647-01-0	8	5	15	10	—
Ácido fluorídrico	231-634-8	7664-39-3	1,5	1,8	2,5	3	—
Ácido fórmico	200-579-1	64-18-6	9	5	—	—	—
Ácido nítrico	231-714-2	7697-37-2	—	—	2,6	1	—
Ácido ortofosfórico	231-633-2	7664-38-2	1	—	2	—	—

Anexo B: Resultados das emissões difusas de COV

Anexo B.1. – Medições realizadas entre março e abril de 2023

Tabela B.2. – Resultados obtidos através das medições realizadas às emissões difusas de COV entre março e abril de 2023

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Anexo B.2. – Medições realizadas entre março e abril de 2018

Tabela B.3 - Resultados obtidos através das medições realizadas por uma empresa externa às emissões difusas de COV entre maio e julho de 2018

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Anexo B.3. – Medições realizadas tendo em conta diversas variáveis

- Efeito Temperatura:

Tabela B. 4: Medições para avaliar o efeito da temperatura

Informação retirada por questões de confidencialidade.

- Efeito da Velocidade de Impressão:

Tabela B. 4: Medições para avaliar o efeito da velocidade de impressão

Informação retirada por questões de confidencialidade.

- Efeito dos Solventes na Limpeza da Fábrica:

Tabela B. 6: Medições para avaliar o efeito dos solventes na limpeza da fábrica

Informação retirada por questões de confidencialidade.

- Efeito Sistema de Ventilação:

Tabela B. 7: Medições para avaliar a influência dos sistemas de ventilação

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Anexo C: Valores-limite de exposição dos trabalhadores ao acetato de etilo

Anexo C.2. – Valores-limites de exposição de solventes pelas FDS

Tabela C. 1: Exemplos de solventes utilizados na MREF com os respectivos valores-limite de exposição de acordo com a FDS e o DL n.º 1/2021 de 6 de janeiro

Tipo	Nome	Composição	Limites de Exposição			
Mangueiras Ilhas	Diluyente A-45 (9010)	Etanol CAS: 64-17-5 EC: 200-578-6	VLE (FDS)	VLE-CM	-	950 mg/m ³
				VLE-CD	-	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	-	734 mg/m ³
				VLE-CD	-	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
	Dil Retard VR 1007	Metoxipropanol CAS: 107-98-2 EC: 203-539-1	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	375 mg/m ³
				VLE-CD	150 ppm	568 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	100 ppm	375 mg/m ³
				VLE-CD	150 ppm	568 mg/m ³
	Etoxi Propanol	Etoxiopropanol CAS: 1569-02-4 EC: 216-374-5	VLE (FDS)	VLE-CM	-	211 mg/m ³
				VLE-CD	-	500 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Metoxipropanol CAS: 107-98-2 EC: 203-539-1	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	375 mg/m ³
				VLE-CD	150 ppm	568 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	100 ppm	375 mg/m ³
				VLE-CD	150 ppm	568 mg/m ³
	Acetato de Etilo	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
Cola C6/C	CA 12	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³

	NC 270 A	EC: 205-500-4	VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
		Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
Branco 2 componentes	2KB White	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
		Acetato de Isopropilo CAS: 108-21-4 EC: 203-561-1	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	-
				VLE-CD	200 ppm	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
	WR4002YI01	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
Tintas Flexografia	HDUK-90024 – TF BLACK	Etoxipropanol CAS: 1569-02-4 EC: 216-374-5	VLE (FDS)	VLE-CM	-	211 mg/m ³
				VLE-CD	-	500 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Propan-1-ol CAS: 71-23-8 EC: 200-746-9	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	268 mg/m ³
				VLE-CD	-	1723 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Propan-2-ol CAS: 67-23-0 EC: 200-661-7	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	500 mg/kg
				VLE-CD	400 ppm	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Etanol CAS: 64-17-5	VLE (FDS)	VLE-CM	-	950 mg/m ³
				VLE-CD	-	-

Tintas Rotogravura	HDIK-20028 – TF YELLOW	EC: 200-578-6	VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
		Propan-1-ol CAS: 71-23-8 EC: 200-746-9	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	268 mg/m ³
				VLE-CD	-	1723 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Propan-2-ol CAS: 67-23-0 EC: 200-661-7	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	500 mg/kg
				VLE-CD	400 ppm	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Etanol CAS: 64-17-5 EC: 200-578-6	VLE (FDS)	VLE-CM	-	950 mg/m ³
				VLE-CD	-	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
	HDUL-10014: TG WHITE	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
		Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
	HDOO- 900007 –PG PRETO	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
		Etanol CAS: 64-17-5	VLE (FDS)	VLE-CM	-	950 mg/m ³
				VLE-CD	-	-

		EC: 200-578-6	VLE	VLE-CM	-	-
			(DL 06.01.2021)	VLE-CD	-	-
Verniz	6204; 3047	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
	2KB Gloss Roto AE	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
	Matt – WQ80025F01	Acetato de Etilo CAS: 141-78-6 EC: 205-500-4	VLE (FDS)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	200 ppm	734 mg/m ³
				VLE-CD	400 ppm	1468 mg/m ³
		Etanol CAS: 64-17-5 EC: 200-578-6	VLE (FDS)	VLE-CM	-	950 mg/m ³
				VLE-CD	-	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Propan-1-ol CAS: 71-23-8 EC: 200-746-9	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	268 mg/m ³
				VLE-CD	-	1723 mg/m ³
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-
		Acetato de isopropilo CAS: 108-21-4 EC: 203-561-1	VLE (FDS)	VLE-CM	100 ppm	-
				VLE-CD	200 ppm	-
			VLE (DL 06.01.2021)	VLE-CM	-	-
				VLE-CD	-	-

*VLE-CD: Valores limite de Exposição de Curta Duração; VLE-CM: Valores Limite de Exposição de Concentração Máxima

Anexo C.2. – Estimativa de concentração de COVT se fossem todos de Acetato de Etilo

Para se efetuar a estimativa de concentração de COVT se fossem todos de acetato de etilo primeiramente seria necessário converter a concentração das medições efetuadas expressas como isobutileno para concentração expressa em acetato de etilo. Assim:

$$C_{\text{em acetato de etilo}} (\text{mg/m}^3) = C_{\text{em isobutileno}} (\text{mg/m}^3) \times \frac{\rho_{\text{acetato de etilo}}}{\rho_{\text{isobutileno}}}$$

Sendo que: $\rho_{\text{acetato de etilo}} = 3,6 \text{ mg/m}^3$ e $\rho_{\text{isobutileno}} = 2,3 \text{ mg/m}^3$, a 20 °C e 1 atm.

A Tabela C. 2 representa as concentrações médias de COVT expressas em acetato de etilo.

Tabela C. 2: Concentrações médias de COVT expressas em acetato de etilo

Informação retirada por questões de confidencialidade.

Anexo D: Climatização MREF

Anexo D.1. – Cálculo da Taxa de Renovação do Ar

Para o cálculo da taxa de renovação do ar utilizou-se a Equação 3.1:

$$R_{ph} = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{h)}}{V \text{ (m}^3\text{)}}$$

E os valores dos caudais de ar de climatização das UTA encontram-se detalhados na Tabela D.1. Assim, como exemplo de cálculo para de NR no P1 é dado por:

$$R_{ph} = \frac{20\,000}{16\,275} = 1,2 \text{ h}^{-1}$$

Tabela D. 1: Valores de caudais de ar de climatização das UTA e das respetivas mangueiras insufláveis

Pavilhão	Volume do Pavilhão (m³)	Sistemas de Ventilação	Mangueiras Insufláveis	Caudal (m³/h)	Taxa de renovação do ar (h⁻¹)
P1	16 275	UTA 4	C1	10 000	1,2
			C2	10 000	
P2	8 826	UTA 2	C1	1500	6,8
			C2	9250	
			C3	9250	
		UTA 3	C1	9300	
			C2	8300	
			C3	2400	
		UTA 1	C1	6000	
			C2	1400	
P3	8 928	UTA 5	C1	6500	13,4
			C2	2500	
			C3	7500	
			C4	3500	
		UTA 7	/	20 000	
		AA	/	40 000	
		AA	/	40 000	
P4	12 549	UTA 6	C1	2 500	4,8
			C2	7 500	
		UTA 8	C1	10 000	

		UTA 10	C2	10 000	
			/	20 000	
P7	11 513	UTA 9	C1	6 667	1,7
			C2	6 667	
			C3	6 666	
P6	5 520	UTA 11	/	20 000	3,6

AA: Arrefecedor Adiabático – caudal máximo é de 40 000 m³/h

UTA: Unidade de Tratamento do ar – caudal máximo é de 20 000 m³/h

Anexo D.2. – Cálculo do Caudal Total de Extração

Tabela D. 2: Valores de caudais de extração das máquinas e o cálculo total do caudal de extração em cada pavilhão

Pavilhão	Volume do Pavilhão (m ³)	Equipamento	Caudal Exaustão (m ³ /h)	Caudal Total de Extração (m ³ /h)
P2	8 826	IF1	12 740	69 088,6
		IF2	12 676	
		IF3	9 367	
		IR2	19 000	
		Lavagem de Tinteiros	15 305	
P3	8 928	C2	8 000	98 956
		C5	16 564	
		C6	14 314	
		IR3	30 836	
		IR4	29 242	
P4	12 549	IR5	37 407	75 183
		IF4	26 816	
		C7	8 697	
		C4	1 153	
		C3	1 110	

Anexo D.3. – Estimativa da Taxa de Evaporação de Acetato de Etilo

Para o cálculo da taxa de evaporação do acetato de etilo inicialmente foi efetuado um ensaio experimental onde se pesou um balde, com um diâmetro de 0,27 m, de acetato de etilo puro. Na Tabela D.3 encontram-se os valores experimentais obtidos, sendo que passadas 24h ocorreu uma evaporação de 0,2 kg e passado uma semana deu-se uma evaporação de 1,1 kg.

Tabela D. 3: Valores experimentais para o cálculo da taxa de evaporação de acetato de etilo

						E, total (kg/h)
Massa Inicial (kg)	3,7	Massa passado 24h (kg)	3,5	E, total (kg/dia)	0,2	0,0083
		Massa passado 1 semana (kg)	2,6	E, total (kg/semana)	1,1	0,0065

O ensaio com o período mais longo é mais representativo uma vez que, enfrentou uma variedade maior de condições e fatores adversos. Assim, utilizaram-se os resultados desse ensaio como base para determinar a taxa de evaporação total de acetato de etilo nas diferentes áreas.

Para calcular a taxa de evaporação, é necessário ter em consideração o número de horas efetivas de operação das máquinas e a média de cores utilizadas nos trabalhos produzidos ao longo de um ano. Desta forma, foram identificadas todas as áreas em que ocorre contato entre o solvente e o ar, como os baldes de tinta, cola e acetato, que estão abertos em diferentes locais da fábrica, além dos tinteiros, a máquina de lavagem de tinteiros e mangueiras.

Além disso, para a realização do cálculo, é necessário considerar a percentagem média de acetato de etilo presente nas tintas, colas e lamas sendo que, essas informações foram obtidas a partir das fichas de dados de segurança desses produtos. Assim, as tintas contem em média 24% de acetato de etilo, a cola 23% e as lamas 75%.

A Tabela D.4, apresenta em detalhe todas as informações descritas anteriormente, incluindo as áreas de contacto, os números de baldes abertos e o cálculo final da taxa de evaporação em cada máquina. Com base nos cálculos realizados para cada máquina, foi possível extrapolar esses dados para determinar a taxa de evaporação em cada pavilhão. A Tabela D.5 resume essas informações.

Tabela D. 4: Valores de áreas de contacto e respetivos taxas de evaporação do acetato de etilo

Equipamento	Horas efetivas p/ ano	Média Cores Utilizadas	Média de baldes de tinta	Média de baldes de acetato	Média de baldes de Cola	Tinteiros	Área total exposição (m ²)	E, total (kg/h)	E, total (kg/ano)
C3	1954	/	/	/	1	/	0,016	0,002	3,63
C4	5289	/	/	/	1	/	0,004	0,0004	2,26
C2	5243	/	/	/	1	/	0,023	0,003	13,54
C5	5666	/	/	/	1	/	0,023	0,003	14,63
C6	5077	/	/	/	1	/	0,043	0,005	25,25
C7	5681	/	/	/	1	/	0,043	0,005	28,26
IR1	/	/	0	0	/	0	0	0	0
IR2	1014	7,1	7	3	/	7	4,641	0,531	538,38
IR3	2912	8,1	9	5	/	8	5,431	0,621	1809,65
IR4	4491	6,7	7	5	/	7	5,119	0,586	2630,30
IR5	4781	7,1	8	6	/	7	5,206	0,596	2848,07
IF1	3743	8	9	4	/	1	1,035	0,118	443,33
IF2	3342	7,4	8	4	/	/	0,418	0,048	159,93
IF3	2696	6,2	7	2	/	/	0,260	0,030	80,20
IF4	4003	7,3	8	3	/	1	0,948	0,108	434,01
Lavagem de Tinteiros	4368	0	0	6	/	2	1,754	0,201	876,45
Sala dos Brancos	4368	1	9	0	/	0	0,038	0,004	19,07
Sala Preparação Tintas	6240	7,2	14	0	/	0	0,237	0,027	169,48

Tabela D. 5: Valores de taxa de evaporação de acetato de etilo em cada pavilhão

	E, total (kg/h)	E, total (kg/ano)
P1	0,03	188,55
P2	0,93	2098,30
P3	1,22	4493,37
P4	0,71	3316,23
Total:		10096,44

A título de exemplo, a seguir é apresentado um cálculo exemplificativo da taxa de evaporação por hora no redor da máquina IR5:

$$E, \text{ total (kg/h)} = \frac{A_{\text{exposição}} \times E, \text{ total}_{\text{Experimental}}}{A_{\text{experimental}}} \quad \text{Equação D.1}$$

Sendo que:

$$A_{\text{experimental}} = 0,057 \text{ m}^2$$

$$E, \text{ total}_{\text{Experimental}} = 0,0065 \text{ kg/h}$$

O cálculo da área de exposição consiste na seguinte equação:

$$A_{\text{exposição}} (\text{m}^2) = 0,24 \times n.^{\circ} \text{ baldes de tinta} \times A_{\text{Balde}} + 1 \times n.^{\circ} \text{ baldes de acetato} \times A_{\text{balde}} + 0,23 \times n.^{\circ} \text{ baldes de cola} \times A_{\text{Balde}} + n.^{\circ} \text{ tinteiros} \times A_{\text{Tinteiros}} \quad \text{Equação D.2}$$

$$A_{\text{exposição, IR5}} (\text{m}^2) = 0,24 \times 8 \times 0,0707 + 6 \times 0,0707 + 7 \times 0,6638 = 5,206 \text{ m}^2$$

Então:

$$E, \text{ total (kg/h)} = \frac{5,206 \times 0,0065}{0,057} = 0,596 \text{ kg/h}$$

Anexo D.4. – Cálculo do payback associado à ligação do novo sistema de exaustão ao SRU

Para se avaliar a viabilidade do investimento na ligação do novo sistema de exaustão ao SRU, é necessário comparar o custo de recuperação do solvente com o custo de adquirir o solvente novo. Com base nas informações fornecidas, é possível calcular o payback através da Equação D.3.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Benefício}} \quad \text{Equação D.3}$$

De acordo com os dados fornecidos pela empresa, o investimento a realizar para aumentar a capacidade do SRU, seria de aproximadamente 4 108 421 €.

O benefício é calculado a partir da Equação D.4, tendo em conta o custo de recuperação relativamente a um caudal de 7,84 kg/h de solvente e o custo de aquisição de solvente novo, sendo que o preço destes em €/kg é mencionado na Tabela 4-18.

$$\text{Benefício} = (\text{Custo aquisição solvente novo} - \text{Custo de recuperação de solvente no SRU}) \times \text{Caudal de solvente adicional ao SRU num ano} \quad \text{Equação D.4}$$

O custo de recuperação de solvente no SRU é dado pela multiplicação do caudal de solvente adicional ao SRU (7,84 kg/h) pela eficiência (90 %) e pelo custo de recuperação (0,39 €/kg) e obtém-se 2,75 €/h.

Já o custo de aquisição de solvente novo é dado pela multiplicação do caudal de solvente adicional ao SRU (7,84 kg/h) e pelo custo de aquisição (1,40 €/kg) e obtém-se 10,98 €/h.

Uma vez que o caudal de solvente adicional ao SRU num ano é de 48 946 kg, o benefício é de 51 345 €/ano.

Assim, o payback seria de:

$$\text{Payback} = \frac{4\,108\,421}{51\,345} = \mathbf{80 \text{ anos}}$$

Anexo E: Plano de Gestão de Solventes

Anexo E.1. – Cálculo das Correntes de Entrada

Cálculo de E1:

A corrente E1 trata-se da soma em kg de COV de acordo com as fichas de dados de segurança de todos os solventes puros ou solventes contidos em preparações utilizadas na flexografia, rotogravura e na complexagem num ano. Esses valores encontram-se na Tabela E.1.

Tabela E. 1: Consumo total de solventes nos processos de flexografia, rotogravura e complexagem

	Consumo (kg)	kg COV (FDS)
Flexografia	962 456	746 599
Rotogravura	615 411	388 407
Complexagem	512 021	151 064,10

$$E1 = 746\,599 + 388\,407 + 151\,064,10 \leftrightarrow$$

$$E1 = 1\,286\,070 \text{ kg COV}$$

Cálculo de E2:

Para o cálculo da corrente E2, ou seja, o solvente recuperado no SRU e o solvente destilado na máquina de limpeza de peças e reutilizado novamente nas etapas de limpeza de equipamentos e acessórios, é necessário ter em consideração a seguinte equação:

$$E2 = \text{Solvente Recuperado SRU (E2,1)} + \text{Solvente Recuperado na Máquina Destilação (E2,2)}$$

A quantidade de solvente total recuperado no SRU, corrente E2,1, é de 1 663 083 kg, sendo que este valor consiste na soma da quantidade anual recuperada de acetato de etilo e álcool em kg. Desta forma, pela Equação E.1:

$$E2,1 = \text{Quantidade anual recuperada de (Acetato de Etilo (kg) + Álcool (kg)) no SRU} \leftrightarrow$$

$$E2,1 = 1\,289\,383 + 373\,700 \leftrightarrow$$

Equação E.1

$$E2,1 = 1\,663\,083 \text{ kg}$$

A quantidade de solvente, designada por corrente E2,2, representada pela Equação E.2, consiste na quantidade de solvente recuperado na máquina de destilação da MREF. Sendo que este valor é obtido através da quantidade anual e a percentagem de solvente que são depositados.

Assim:

$$E_{2,2} = \text{Quantidade anual (kg)} \times \% \text{ Solvente} \leftrightarrow \text{Equação E.2}$$

$$E_{2,2} = 76\,830 \times 100 \% \leftrightarrow$$

$$E_{2,2} = 76\,830 \text{ kg}$$

Assim,

$$E_2 = E_{2,1} + E_{2,2} \leftrightarrow$$

$$E_2 = 1\,663\,083 + 76\,830 \leftrightarrow$$

$$E_2 = 1\,739\,913 \text{ kg}$$

Cálculo de E:

Através da Equação 4.3, é possível chegar ao valor de E, isto é, da massa total de entradas, a partir da soma de E1 com E2:

$$E = E_1 + E_2 \leftrightarrow \text{Equação 4.3}$$

$$E = 1\,286\,070 + 1\,739\,913 \leftrightarrow$$

$$E = 3\,025\,983 \text{ kg}$$

Anexo E.2. – Cálculo das Correntes de Saída

Cálculo de S1:

Para o cálculo da corrente que engloba as emissões de solventes em gases residuais é fundamental ter em consideração os resultados de medições das emissões dos efluentes gasosos emitidos pelo SRU e RTO, em kg COV, tal como representado na Equação 4.4:

$$S_1 = \text{Efluentes gasosos emitidos pelo (SRU (S1,1) + RTO (S1,2))} \quad \text{Equação 4.4}$$

Para o cálculo dos efluentes gasosos emitidos pelo SRU (S1,1), Equação E.3, este consiste na divisão entre a quantidade total de emissões de carbono por ano pela percentagem total de carbono presente nos solventes utilizados no processo de rotogravura.

$$S1,1 = \frac{\text{Emissão (kgC/ano)}}{\% \text{ C na mistura roto}} \quad \text{Equação E.3}$$

A Equação E.4 representa a quantidade total de emissões de carbono por ano no SRU:

$$\text{Emissão (kgC/ano)} = \text{Média do Caudal de COT} * \text{nº de horas de funcionamento do ponto de emissão} \quad \text{Equação E.4}$$

A média do caudal medido de carbono orgânico total (COT) no SRU, entre abril e setembro de 2022, foi de 1,321 kg/h e o ponto de emissão esteve em funcionamento 6414h durante o ano em questão.

Assim:

$$\text{Emissão (kgC/ano)} = 1,321 * 6414 = 8\,472 \text{ kgC/ano}$$

A percentagem de carbono presente nos solventes utilizados na rotogravura consiste no produto da % de carbono no solvente pela % de solvente no conjunto total de solventes. Assim, as percentagens destes encontram-se detalhados na Tabela E.2.

Tabela E. 2: Percentagem de carbono nos solventes utilizados no processo de rotogravura

Solventes utilizados na rotogravura	% C
Acetato de Etilo (CAS 141-78-6)	48,13
Etanol (CAS 64-17-5)	4,41
Ac. Propílico (CAS 109-60-4)	0,43
N-Propanol (CAS 71-23-8)	0,02
Metoxipropanol (CAS 107-98-2)	0,05
Álcool Isopropílico	1,37
Ac. Isso-Propilo (CAS 108-21-4)	0,07
Etóxipropanol (CAS 1569-02-4)	0,00025
Total:	54,5

Desta forma,

$$S_{1,1} = \frac{8\,472}{\frac{54,5}{100}} \leftrightarrow$$

$$S_{1,1} = 15\,552 \text{ kg COV}$$

Já para o cálculo dos efluentes gasosos emitidos pelo RTO (S1,2), Equação E.5, trata-se da mesma expressão que se utilizou para o SRU sendo a única diferença é que neste caso tem-se em consideração a percentagem de carbono presente nos solventes utilizados no processo de flexografia.

$$S_{1,2} = \frac{\text{Emissão (kgC/ano)}}{\% \text{ C na mistura flexo}} \quad \text{Equação E.5}$$

A quantidade total de emissões de carbono por ano no RTO foi de 744 kgC/ano uma vez que, a média do caudal de COT no RTO foi de 0,137 kg/h e o ponto de emissão esteve em funcionamento 744h durante o ano em questão.

Assim:

$$\text{Emissão (kgC/ano)} = 0,137 * 5\,442 = 744 \text{ kgC/ano}$$

Novamente, a percentagem de carbono presente nos solventes utilizados na flexografia consiste no produto da % de carbono no solvente pela % de solvente no conjunto total de solventes, as percentagens destes encontram-se detalhados na Tabela E.3.

Tabela E. 3: Percentagem de carbono nos solventes utilizados no processo de rotogravura

Solventes utilizados na rotogravura	% C
Acetato de Etilo (CAS 141-78-6)	16,24
Etanol (CAS 64-17-5)	23,23
Acetato de Isopropilo (CAS 108-21-4)	0,27
N-Propanol (CAS 71-23-8)	4,10
Metoxipropanol (CAS 107-98-2)	0,75
Álcool Isopropílico	0,31
Etoxipropanol (CAS 1569-02-4)	7,76
Acetato de N-Propilo (CAS 109-60-4)	0,87
Total:	53,5

Desta forma,

$$S_{1,2} = \frac{744}{\frac{53,5}{100}} \leftrightarrow$$

$$S_{1,2} = 1\,389 \text{ kg COV}$$

Assim,

$$S_1 = S_{1,1} + S_{1,2} \leftrightarrow$$

$$S_1 = 15\,552 + 1\,389 \leftrightarrow$$

$$\mathbf{S_1 = 16\,941 \text{ kg COV/ano}}$$

Cálculo de S5:

Esta corrente envolve os solventes orgânicos destruídos através do RTO. Deste modo, esta corrente consiste na diferença entre a corrente de entrada de COV alimentado ao RTO e a corrente de saída (S_{1,2}), Equação 4.5. Assim,

$$\mathbf{S_5 = \text{Quantidade entrada de COV no RTO (kg)} - \text{Quantidade de gases residuais emitidos no RTO (S}_{1,2}\text{) (kg)}} \quad \text{Equação 4.5}$$

A quantidade de COV alimentado ao RTO foi de 515 225 kg COV/ano. E como calculado anteriormente a quantidade de efluentes gasosos emitidos pelo RTO (S_{1,2}) foi de 1 389 kg COV/ano.

Assim,

$$\mathbf{S_5 = 513\,836 \text{ kg COV/ano}}$$

Cálculo de S6:

A corrente que quantifica os solventes orgânicos contidos nos resíduos industriais produzidos na MREF é a corrente S6. Esta corrente engloba os resíduos com determinada percentagem de solvente e respetivas quantidades descritas na Tabela E.4. A quantidade de

solvente de cada resíduo é calculada pela multiplicação da percentagem de solvente pela quantidade total.

Tabela E. 4: Quantidade de solventes orgânicos nos resíduos industriais produzidos na MREF

Resíduos Industriais Perigosos	% Solvente	Quantidade Total (kg)	Quantidade de Solvente (kg)
Lamas de destilação LER: 14 06 05*	75%	45 459	34 094
Resíduos de Cola LER: 08 01 15*	85%	68 852	58 524
Desperdícios Contaminados LER: 15 02 02*	25%	109 976	27 494
Resíduos de tintas para destilar LER: 08 03 12*			272 620

Assim, S6 consiste na soma das quantidades de solventes de todos os resíduos industriais perigosos produzidos:

$$S6 = 34\,094 + 58\,524 + 27\,494 + 272\,620 \leftrightarrow$$

$$S6 = 392\,732 \text{ kg COV/ano}$$

Cálculo de S8:

A corrente S8 quantifica a mistura de solventes recuperados resultantes do SRU, que são reutilizados no exterior da instalação. Sendo que o resíduo recuperado apresenta uma quantidade de 72 384 kg e a percentagem de solvente deste é de 100 então a corrente **S8** apresenta um valor de **72 384 kg COV/ano**.

Anexo E.3. – Cálculo das Emissões Difusas

Depois de obtermos o cálculo de todas as correntes de entrada e saída para se efetuar o balanço é possível determinar as emissões difusas (F), Equação 3.2:

$$F = E1 - S1 - S5 - S6 - S7 - S8 \leftrightarrow$$

$$F = 290\,177 \text{ kg COV/ano}$$

Equação 3.2

A percentagem de emissões difusas é dada pela Equação 3.3, que consiste na divisão das emissões difusas pelo consumo de solvente.

$$\% F = \frac{F}{E}$$

Equação 3.3

$$\%F = \frac{290\,177}{3\,025\,983}$$

Onde se obtém um valor total de **%F = 9,59%**.