



Ana Margarida dos Santos Freixo

Licenciada em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica

**Normalização de um processo de extração de
óleos vegetais. Análise de variáveis críticas do
processo.**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Doutor Renato Henriques de Carvalho
Co-orientador: Professor Doutor Mário Eusébio

Júri

Presidente: Professora Doutora Maria Madalena Andrade
Arguente: Professor Doutor José Paulo Mota
Vogal: Doutor Renato Henriques de Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2018

Normalização de um processo de extração de óleos vegetais. Análise de variáveis críticas do processo.

Copyright © Ana Margarida dos Santos Freixo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Não poderia terminar esta etapa sem agradecer a todas as pessoas que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a sua concretização.

Antes de mais, quero agradecer ao meu orientador, Doutor Renato Carvalho, pela oportunidade, por toda a disponibilidade e ensinamentos partilhados ao longo deste meses.

Ao Professor Doutor Mário Eusébio, meu coorientador, por todo o interesse demonstrado e pela preocupação que teve comigo e com este projeto.

Ao Engenheiro Carlos Zeferino, pela boa disposição e pelo tempo disponibilizado para o esclarecimento de dúvidas do processo e para correção das normas.

Quero também deixar um agradecimento muito especial a todos os operadores das secções de Preparação e Extração, por partilharem comigo a vossa experiência, mostrando sempre muita paciência e simpatia. Aos restantes trabalhadores da empresa quero agradecer pela forma como me receberam e por toda a simpatia e diversão.

À Mónica, minha colega de estágio, por se ter tornado uma amiga, pelo apoio que me deu ao longo destes meses, pelas conversas e ideias empreendedoras partilhadas.

A todos os meus amigos, por terem feito parte da minha vida, em especial, à Francisca e à Ana Lúcia.

Ao Flávio pela pessoa incrível que é, por nunca me deixar desistir, por me mostrar sempre o lado positivo de cada pormenor e por me apoiar em todas as decisões. À Raquel, por ser irmã mais velha e ao mesmo tempo melhor amiga, por me ajudar a crescer como pessoa e por ser um exemplo a seguir. Ao Nuno por se ter tornado um irmão e por estar sempre disponível para ajudar os outros. À minha sobrinha Matilde por ser a luz e alegria de toda a família. Às minhas avós por cuidarem de mim e me ensinarem que sem esforço nada pode ser alcançado. Ao meu Padrinho que estará sempre comigo em pensamento e por ter contribuído para a minha formação enquanto pessoa.

Por último, o maior agradecimento do mundo aos meus pais, Anabela e Felismino. Obrigada por sempre terem acreditado em mim, por todos os sacrifícios que fizeram por mim e para que a concretização desta etapa fosse possível, pela educação que me deram e pelas pessoas extraordinárias que são.

RESUMO

O aumento da competitividade dos mercados tem levado a que empresas das mais diversas áreas apostem em metodologias que visam a melhoria contínua dos seus processos, sem que para isso sejam necessários investimentos monetários consideráveis. É neste contexto que a empresa de extração de óleos vegetais e produção de biodiesel em estudo opta pela introdução da filosofia *Kaizen* em todos os seus processos. Neste âmbito será introduzida a normalização dos procedimentos (terceiro nível de *Kaizen*) nas secções que apresentam a maior variabilidade do processo. Foi então realizado um conjunto de normas que contém a sequência de tarefas mais eficaz e segura para a laboração com as sementes de soja e colza, nas secções de preparação das oleaginosas e de extração de óleos vegetais. Para a realização das normas recorreu-se a *Gemba Walks*, reuniões de *brainstorming*, regra dos 5 porquês e a diagramas de *Ishikawa*. A principal vantagem da introdução destas normas é a redução da variabilidade, o que leva a uma redução do produto não conforme e, conseqüentemente, a um ganho de margem.

Foram ainda analisadas variáveis críticas da secção de extração, visto ter sido provado que os defeitos de preparação são inferiores a 1%. Desta análise concluiu-se que o aumento da temperatura de extração permitirá um aumento do rendimento da extração química e que a diminuição da temperatura dos gases à saída do DTS leva a uma redução do consumo de vapor direto.

Da análise de variáveis surgiu ainda a hipótese de implementação de um ciclo de normalização SDCA ao pisos do DTS, no qual se normalizou a operação com uma indicação de nível de material igual a 0%, tendo sido obtida uma redução do consumo de vapor direto no equipamento e uma possível hipótese de melhoria das condições de residual de hexano. De modo a estudar esta hipótese de melhoria foi iniciado um ciclo de melhoria PDCA.

Palavras-chave: *Kaizen*; normalização; extração de óleos; SDCA; PDCA; melhoria contínua

ABSTRACT

The increase in the competitiveness of the markets has led companies from different areas to invest in methodologies that aim at the continuous improvement of their processes, without the need for considerable monetary investments. In this perspective, the company under study (company of vegetable oils extraction and biodiesel production) opts for the introduction of the Kaizen philosophy in all its processes. In this context the standardization of procedures will be introduced (third level of Kaizen) in the sections that present the greatest variability of the process. A set of standards was then established which contains the most effective and safe sequence of tasks for the soya bean and rapeseed in the oilseed preparation and vegetable oil extraction sections. Gemba Walks, brainstorming meetings, 5-why rule, and Ishikawa diagrams were used to carry out the standards. The main advantage of introducing these standards is the reduction of variability, which leads to a reduction of the nonconforming product and, consequently, to a margin gain.

Critical variables of the extraction section were also analysed, since the preparation defects were proved to be less than 1%. From this analysis it was concluded that the increase of the extraction temperature will allow an increase of the chemical extraction yield and that the reduction of the temperature of the gases at the exit of the DTS leads to a reduction of the direct steam consumption.

From the analysis of variables, the hypothesis of the implementation of an SDCA standardization cycle to the DTS floors was also developed, in which the operation was normalized with a material level indication equal to 0%. With such conditions was possible the reduction of direct steam consumption and a possible hypothesis to improve residual hexane conditions. In order to study this hypothesis of improvement a PDCA improvement cycle was started.

Keywords: Kaizen; standardization; vegetable oils extraction; SDCA; PDCA; continuous improvement

ÍNDICE

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Glossário	xix
1 Enquadramento e motivação	1
2 Extração de óleos vegetais	3
2.1 História da extração de óleos vegetais	3
2.2 Sementes oleaginosas	4
2.2.1 Colza	4
2.2.2 Soja	6
2.3 Descrição do processo de produção de óleos vegetais	7
2.3.1 Preparação das sementes para extração do óleo	7
2.3.2 Extração química de óleos vegetais	12
3 Normalização de processos	19
3.1 Filosofia <i>Kaizen</i>	19
3.2 As vantagens da normalização	21
3.3 Níveis da normalização	22
3.4 Características das normas	23
3.5 Implementação da normalização	24
3.5.1 Ciclo de normalização - SDCA	25
3.5.2 Ciclo de melhoria - PDCA	26
4 Metodologia	29
5 Discussão de resultados	33
5.1 Processo de normalização	33
5.2 Comparação entre o <i>modus operandi</i> atual e normalizado	38
5.3 Defeitos de Preparação/Extração	42
5.4 Variáveis operatórias do Extrator	43
5.4.1 Quantidade de óleo à entrada do extrator	43

5.4.2	Temperatura de extração	46
5.4.3	Humidade dos sólidos	48
5.5	Variáveis operatórias do DTS	51
5.5.1	Implementação de um ciclo SDCA aos níveis do DTS	51
5.5.2	Temperatura dos gases no topo do DTS	54
6	Conclusões e propostas de trabalho futuro	59
	Bibliografia	63
I	Resumo das variáveis processuais analisadas	69
II	Variáveis fora de conformidade - processamento de colza	73
III	Variáveis fora de conformidade - processamento de soja	79
IV	Temperatura de extração	87
V	Humidade da soja à entrada do extrator	91
VI	Níveis do DTS	93
VII	Temperatura dos gases no topo do DTS	97

LISTA DE FIGURAS

2.1	Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, no ano de 2015.	4
2.2	Produção de semente, farinha e óleo de colza, na Europa, China, Canadá e nos restantes países, no ano de 2016.	5
2.3	Produção de semente, farinha e óleo de soja, nos EUA, Brasil, Argentina e nos restantes países, no ano de 2016.	7
2.4	Fluxograma simplificado das etapas presentes na preparação da colza (esquerda) e da soja (direita).	8
2.5	Representação esquemáticas de três tipos diferentes de extratores.	12
2.6	Fluxograma simplificado com as etapas presentes na secção de extração química.	14
2.7	Representação esquemática de um DTS <i>De Smet-Schumacher</i>	15
3.1	Ilustração simplificada dos cinco princípios da ferramenta 5S.	20
3.2	Representação esquemáticas dos diferentes níveis de normalização.	22
3.3	Características essenciais de uma norma.	23
3.4	Representação de um ciclo de normalização SDCA.	25
3.5	Interação entre os ciclos de normalização e melhoria.	26
3.6	Representação de um ciclo de melhoria PDCA.	27
4.1	Sequência simplificada dos procedimentos seguidos para a realização e validação das normas.	31
5.1	Diferentes abordagens para duas tarefas a realizar nos condicionadores, antes da introdução da normalização.	34
5.2	<i>Template</i> utilizado para a escrita das normas de ambas as secções.	35
5.3	Legenda incorporada nos documentos normativos.	35
5.4	<i>Regra dos 5 Porquês</i> aplicada.	36
5.5	<i>Diagrama de Ishikawa</i> aplicado aos laminadores.	36
5.6	Esquema das normas elaboradas para a secção de preparação das sementes oleaginosas.	37
5.7	Esquema das normas elaboradas para a secção de extração de óleos vegetais.	37
5.8	Variação da velocidade e do nível de material do secador, para laboração de colza.	39

5.9	Varição da velocidade e do nível de material do secador, para laboração de soja.	39
5.10	Varição da temperatura da colza à saída de um dos condicionadores.	40
5.11	Varição da humidade da colza à saída dos condicionadores.	41
5.12	Relação entre o óleo presente à entrada do extrator e o residual de óleo após extração química.	43
5.13	Varição da velocidade do extrator em função do caudal de colza.	44
5.14	Varição da velocidade do extrator em função do caudal de soja.	44
5.15	Relação entre a velocidade do extrator e o residual de óleo à saída do extrator, quando em laboração colza.	45
5.16	Relação entre a velocidade do extrator e o residual de óleo à saída do extrator, quando em laboração soja.	45
5.17	Varição do consumo de vapor direto no DTS em função da velocidade do extrator, aquando do processamento de colza.	46
5.18	Influência da temperatura do hexano na eficácia da extração de óleo de colza.	48
5.19	Influência da temperatura do hexano na eficácia da extração de óleo de soja.	48
5.20	Influência da humidade na eficácia da extração de óleo de colza.	49
5.21	Influência da humidade na eficácia da extração de óleo de soja.	49
5.22	Influência da humidade dos sólidos à entrada do extrator no consumo de vapor direto no DTS, para a laboração de colza.	50
5.23	Influência da humidade dos sólidos à entrada do extrator no consumo de vapor direto no DTS, para a laboração de soja.	50
5.24	Planificação seguida na implementação dos ciclos SDCA e PDCA.	51
5.25	Varição do nível dos primeiros pisos do DTS e do consumo de vapor direto, para a laboração com colza	52
5.26	Varição do nível dos primeiros pisos do DTS e do consumo de vapor direto, para a laboração com soja	52
5.27	Influência do nível médio dos primeiros pisos do DTS no consumo de vapor direto, para o processamento de soja.	53
5.28	Influência do nível médio dos pisos de dessolventização do DTS no residual de hexano na farinha, para o processamento de soja.	54
5.29	Relação entre a quantidade de semente de colza laborada e o consumo de vapor direto no DTS.	55
5.30	Relação entre a quantidade de semente de soja laborada e o consumo de vapor direto no DTS.	55
5.31	Relação entre a temperatura dos gases no topo do DTS o consumo de vapor direto no equipamento (colza).	56
5.32	Relação entre a temperatura dos gases no topo do DTS o consumo de vapor direto no equipamento (soja).	57

II.1	Varição da velocidade do peneiro ao longo do período em estudo, quando em operação com colza.	74
II.2	Varição do consumo de corrente elétrica dos rolos dos laminador 704/D, para a laboração de colza.	74
II.3	Varição da consumo de corrente elétrica do ventilador 708/A, correspondente ao condicionador 705/A. Dados relativos ao processamento de colza.	75
II.4	Varição da consumo de corrente elétrica do ventilador 708/B2, correspondente ao condicionador 705/B. Dados relativos ao processamento de colza.	75
II.5	Varição da consumo de corrente elétrica do ventilador 736/C, correspondente ao condicionador 705/C. Dados relativos ao processamento de colza.	76
II.6	Varição da humidade das sementes de colza à entrada do extrator, provenientes do secador.	76
II.7	Varição da velocidade da válvula rotativa VR8, responsável pela introdução de prensado ao extrator. Dados relativos ao processamento de colza.	77
II.8	Varição da velocidade de rotação do extrator, quando em laboração com colza, para o período estudado.	77
II.9	Varição do residual de hexano na farinha de colza, no 8º piso do DTS - fim da etapa de dessolventização.	78
III.1	Varição da velocidade do peneiro ao longo do período em estudo, quando em operação com soja.	80
III.2	Varição do consumo de corrente elétrica do condicionador 705/A, ao longo do período em estudo. Dados correspondentes ao processamento de soja.	80
III.3	Varição do consumo de corrente elétrica do condicionador 705/B, ao longo do período em estudo. Dados correspondentes ao processamento de soja.	81
III.4	Varição do consumo de corrente elétrica do condicionador 705/E, ao longo do período em estudo. Dados correspondentes ao processamento de soja.	81
III.5	Varição da consumo de corrente elétrica do ventilador 708/A, correspondente ao condicionador 705/A. Dados relativos ao processamento de soja.	82
III.6	Varição da consumo de corrente elétrica do ventilador 736/E, correspondente ao condicionador 705/E. Dados relativos ao processamento de soja.	82
III.7	Varição do consumo de corrente elétrica do <i>expander</i> , ao longo do período em estudo.	83
III.8	Varição da velocidade da válvula rotativa VR8, responsável pela introdução de sementes ao extrator. Dados relativos ao processamento de soja.	83
III.9	Varição da consumo de corrente do motor 1A, correspondente à válvula VR8A. Dados relativos ao processamento de soja.	84
III.10	Varição da velocidade de rotação do extrator, quando em laboração com soja, para o período estudado.	84
III.11	Varição da velocidade que garante a alimentação de semente ao DTS - à saída do extrator. Dados relativos à laboração de soja.	85

III.12	Varição do residual de hexano na farinha de soja, no 8º piso do DTS - fim da etapa de dessolventização.	85
IV.1	Varição da temperatura do prensado de colza à entrada do extrator.	87
IV.2	Varição da temperatura dos flocos de soja à entrada do extrator.	88
IV.3	Varição da temperatura do hexano à entrada do extrator, durante o processamento de colza.	88
IV.4	Varição da temperatura do hexano à entrada do extrator, aquando da extração de óleo de soja.	89
V.1	Varição da humidade dos flocos de soja à entrada do extrator.	91
VI.1	Varição do níveis dos primeiros quatro pisos do DTS ao longo do tempo, durante o processamento de colza.	94
VI.2	Varição do níveis dos primeiros quatro pisos do DTS ao longo do tempo, aquando da laboração com soja.	94
VI.3	Varição do níveis dos pisos de dessolventização do DTS ao longo do tempo, durante o processamento de colza.	95
VI.4	Varição do níveis dos pisos de dessolventização do DTS ao longo do tempo, durante o processamento de soja.	95
VI.5	Varição do níveis dos pisos de secagem do DTS ao longo do tempo, durante o processamento de colza.	96
VI.6	Varição do níveis dos pisos de secagem do DTS ao longo do tempo, durante o processamento de soja.	96
VII.1	Varição da temperatura dos gases ao abandonarem o DTS, durante o processamento de colza.	97
VII.2	Varição da temperatura dos gases ao abandonarem o DTS, aquando da laboração com soja.	98

LISTA DE TABELAS

4.1	Métodos de ensaio utilizados para a determinação, em laboratório, do teor em humidade, óleo e hexano nas sementes oleaginosas e derivados.	30
5.1	Influência da temperatura de extração no residual de óleo.	47
I.1	Variáveis operatórias analisadas para o processamento de colza.	70
I.2	Variáveis operatórias analisadas para o processamento de soja.	71

GLOSSÁRIO

CEN *Comité Européen de Normalisation* - Comité Europeu de Normalização.

DTS Dessolventizador-Tostador-Secador .

E.U.A Estados Unidos da América.

IDB *Industrial Data Bridge*.

ISO *International Organization for Standardisation* - Organização Internacional de Normalização.

KPI *Key Performance Indicators* - Indicadores chave de desempenho.

PDCA Ciclo *Plan, Do, Check, Act* - Planear, Executar, Verificar, Agir.

SDCA Ciclo *Standardize, Do, Check, Act* - Normalizar, Executar, Verificar, Agir.

WTO *World Trade Organization* - Organização Mundial do Comércio.

ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

O consumo de biocombustíveis tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos e, em particular, o consumo de biodiesel - aditivo do gasóleo - também tem seguido essa tendência. O consumo mundial do biodiesel cresceu a uma taxa média anual de, aproximadamente, 9%, entre os anos de 2005 e 2012 [1].

O crescimento do consumo de biodiesel deve-se, maioritariamente, à consciencialização da população mundial relativamente aos problemas ambientais provocados pelo consumo excessivo de derivados do petróleo. Esta preocupação também se fez sentir junto das entidades reguladoras mundiais, facto que levou à criação de regulamentos onde se impõem regras e limitações para o uso de produtos petroquímicos, nomeadamente, a Diretiva 2009/28/CE, imposta pelo Parlamento Europeu, que tem como meta a substituição de 20% da energia consumida na União Europeia por energia proveniente de fontes renováveis. A Diretiva 2009/30/CE, também imposta pelo Parlamento Europeu, promove igualmente o consumo de biocombustíveis, uma vez que, estabelece a incorporação até 7% de biodiesel no gasóleo convencional. Portugal também apresenta metas relativas ao consumo de biocombustíveis, nomeadamente ao abrigo da Lei n.º 42/2016, lei esta que promove a incorporação de 6,75%, em volume, de biodiesel no gasóleo [2].

Previsões atuais indicam que o consumo mundial de biodiesel continuará a aumentar até ao ano 2023. Relativamente ao consumo de biodiesel na Europa, prevê-se um aumento até ao ano de 2019 e uma estagnação no consumo entre 2019 e 2023 [3, 4]. A estagnação do consumo de biodiesel deve-se essencialmente à poluição provocada pelos automóveis movidos a *diesel*, sendo que, cerca de 11 cidades europeias pretendem proibir a circulação destes veículos até ao ano de 2025.

Perante esta inversão de tendência, todos os ganhos de margem são fundamentais, margem esta que pode ser maximizada através da redução de desperdícios. É por esta necessidade de valorização do ativo que muitas empresas optam pela adoção de filosofias

que visam a melhoria contínua dos processos envolvidos na manufatura do produto final, sem que sejam necessários grandes investimentos. Particularmente, a filosofia *Kaizen*, originária do Japão e que está cada vez mais presente nas indústrias ocidentais, promove a realização de mudanças positivas por forma a ampliar a produtividade.

Um dos parâmetros mais importantes da filosofia *Kaizen* é a normalização dos processos, no entanto é também aquele que menos vezes é aplicado. A principal vantagem da normalização é a redução da variabilidade do processo, sendo que, esta redução irá originar uma diminuição de desperdícios e, conseqüentemente, um aumento da margem. Outras vantagens introduzidas pela normalização dos processos são a facilidade de integração de novos membros na equipa de trabalho e o aumento da segurança no trabalho [5].

Na unidade fabril em estudo, as duas secções que introduzem uma maior variabilidade em todo o processo são as secções de preparação de sementes oleaginosas, para posterior extração de óleos vegetais, e a própria unidade de extração de óleos, que serão utilizados como matéria-prima do biodiesel. A principal razão da variabilidade destas secções reside no facto de serem utilizadas diferentes sementes, o que leva a especificações diferentes para cada oleaginosa, bem como, a alterações no próprio processo e na forma como os equipamentos devem operar. Este facto provoca ainda que a aprendizagem da metodologia de trabalho, por parte de novos membros na equipa, seja morosa e complexa, prolongando o tempo de instrução o que, conseqüentemente, acarreta mais custos.

Propõe-se então a realização de um conjunto de normas que estabeleçam quais os passos a realizar após o arranque de ambas as secções, para as diferentes sementes atualmente em laboração, a colza e a soja. O período após o arranque é aquele que apresenta uma maior complexidade, sendo também a fase para a qual não é conhecida a melhor prática de operação. É ainda de referir que os passos a realizar nas fases de arranque e paragem das secções já se encontravam normalizados.

Aquando da realização das normas será necessário recorrer a diferentes ferramentas da qualidade de forma a que seja determinada a melhor prática possível. Para esse fim recorrer-se-á a reuniões de *brainstorming*, diagramas de *Ishikawa*, regra dos 5 porquês, entre outros.

Para confirmar a eficácia das normas será ainda aplicada um ciclo de normalização SDCA e, de forma a garantir a melhoria contínua dos processos já normalizados, será ainda realizado um ciclo de melhoria PDCA.

Ainda para validação das normas realizadas e confirmação de que o *modus operandi* atual é de facto a melhor prática possível é meritório que se avalie a maneira como as variáveis críticas do processo se comportam. Especificamente, a variação no tempo e de que forma se relacionam entre si.

Pretende-se então determinar quais os parâmetros que podem ser ajustados, e de que forma, para que se obtenha um maior rendimento de óleo, diminua o consumo de vapor e minimize as perdas de solvente.

EXTRAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS

2.1 História da extração de óleos vegetais

Desde 1650 a.C., pelo menos, que os povos egípcios utilizavam utensílios de pedra ou madeira para esmagar azeitonas maduras com o propósito de aproveitar o azeite extraído como lubrificante. Anos mais tarde, também no Egito, começaram a extrair o óleo proveniente das sementes de sésamo, linhaça e rícino. Estes últimos também eram extraídos manualmente e utilizados como produtos de beleza e para tratamentos de pele [6].

Os romanos, há cerca de 2200 anos atrás, utilizavam o azeite vindo das azeitonas maduras esmagadas para uso alimentar, no entanto, este povo desenvolveu uma técnica mais sofisticada que os egípcios. Estes faziam uso de alavancas, combinadas com força animal, para a moagem do fruto e consequente extração do azeite. Até ao século XVIII a extração de óleos vegetais ocorreu utilizando o método introduzido pelo povo romano [7].

No século XVIII começou a utilizar-se a força do vento e da água como alternativa à força animal, no entanto, é com a introdução da prensa hidráulica, em 1975 por J. Brahmah, que ocorre o maior avanço tecnológico no processo de extração de óleos vegetais até então. Com este novo equipamento eram conseguidos rendimentos de óleo superiores, aproveitando-se cerca de 90% do óleo presente nas sementes [8].

Desde a invenção da prensa hidráulica que a procura por melhorias e avanços no processo de extração aumentou significativamente. Muitas dessas melhorias foram aplicadas na própria prensa o que tornou este aparelho o equipamento padrão na indústria produtora de óleos vegetais, até ao final da década de 50 do século XX. Atualmente, somente fábricas de extração de azeite utilizam esta tecnologia, todas as outras indústrias produtoras de óleos vegetais atualizam os seus processos com tecnologias que requerem menos esforço manual e maior rendimento [8].

Hoje em dia são privilegiados processos que utilizam prensas de parafuso mecânicas

e extratores de extração com solvente, que podem ser utilizados individualmente ou em conjunto, como um complemento mútuo. A escolha de qual o método mais correto a utilizar irá depender de vários fatores, principalmente, do teor de óleo da semente da qual se pretende extrair o óleo [8].

2.2 Sementes oleaginosas

Para que o processo de extração de óleo seja o mais eficiente possível, é imperativo que se conheça bem as características intrínsecas à oleaginosa a extrair e qual a oleaginosa que apresenta o perfil mais vantajoso.

Quando o objetivo da extração de óleos é a produção de biodiesel, os óleos de colza e de soja são aqueles que apresentam maior destaque no mercado - Figura 2.1.



Figura 2.1: Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, no ano de 2015 [9].

2.2.1 Colza

Estima-se, que há mais de 4000 anos atrás a colza, *Brassica Napus*, já era cultivada na Índia e que cerca de 2000 anos depois tenha sido introduzida na China. Existem ainda relatos que afirmam a entrada deste grão no Japão imediatamente após a chegada à China [10, 11].

Nesse tempo, o óleo proveniente da semente de colza era utilizado para iluminação e a farinha resultante da extração do óleo usada como alimento para animais. No século XVII, o óleo começou também a fazer parte integrante da alimentação humana nomeadamente, quando, no Japão, se tornou costume a fritura de alimentos com óleo de colza [10].

Na Europa, a semente foi introduzida no século XIII, no entanto, somente após a Segunda Guerra Mundial os países ocidentais começaram a adotar o óleo de colza na

confeção de alimentos. Previamente, e após o desenvolvimento da máquina a vapor, o óleo era muito utilizado como lubrificante, uma vez que apresentava uma melhor adesão às superfícies metálicas expostas ao vapor e à água do que qualquer outro óleo [12].

A partir de 1945, a produção e consumo de óleo de colza aumentaram no Canadá e no norte da Europa, essencialmente devido à grande resistência às baixas temperaturas que esta planta apresenta, podendo ser cultivada em locais onde não é possível o cultivo de soja ou girassol [10].

Atualmente a produção de óleo e, conseqüentemente, de farinha de colza é mais acentuada na Europa, onde se pode destacar a Alemanha e a França, seguindo-se a China e depois o Canadá. Relativamente ao próprio cultivo das sementes o cenário muda ligeiramente pois, apesar de a Europa apresentar o maior volume de produção de sementes, o Canadá ultrapassa a China no cultivo de colza, situação justificada pelas baixas temperaturas, como já referido. Na Figura 2.2 encontram-se os dados de cultivo de semente e produção de farinha e óleo de colza, no ano de 2017.

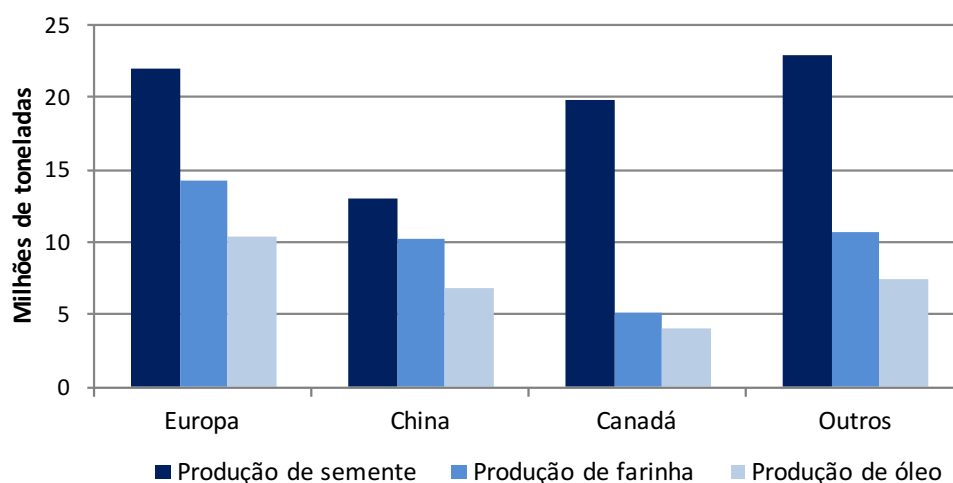


Figura 2.2: Produção de semente, farinha e óleo de colza, na Europa, China, Canadá e nos restantes países, no ano de 2016 [13].

Geralmente, a composição em óleo de uma semente de colza pode variar entre os 33,2% e os 47,6% e a sua composição em proteína encontra-se geralmente entre os 29,5% e os 57,5%. Para além disso, a colza caracteriza-se por ser rica em ácidos gordos monoinsaturados e ácidos alfa-linoleicos [14, 15].

É ainda de referir que, graças aos avanços tecnológicos, foram criadas novas variedades da semente de colza para atender às necessidades dos mercados, existindo assim variedades que contêm diferentes teores em ácido erúico, por exemplo. Variedades com elevado teor em ácido erúico foram desenvolvidas para uso na indústria de óleos lubrificantes. Contrariamente, variedades com baixo teor em ácido erúico são usadas na alimentação humana e animal e na produção de biodiesel, esta última é usualmente denominada de

canola [12].

2.2.2 Soja

A palavra soja provém da palavra japonesa *shoyu* que foi publicada pela primeira vez num dicionário japonês em 1597, muito embora, a primeira referência feita à soja como alimento date de há mais de 5000 anos atrás, pelo Imperador chinês Shen-Nung. O imperador, também conhecido como “pai da agricultura chinesa”, considerou a soja como uma das cinco plantas sagradas - arroz, trigo, cevada, milho e soja - e deu início ao seu cultivo como alternativa ao abate de animais. Após a sua domesticação, através do cruzamento entre espécies selvagens, deu-se a disseminação do grão por todo o continente asiático, como por exemplo, para a Coreia e o Japão [16, 17].

Apesar de a sua descoberta nos levar até tempos antes de Cristo, a sua introdução na Europa deu-se muito mais tarde, entre os finais do século XV e inícios do século XVI. Aquando da sua introdução no Ocidente a planta não era utilizada como fonte de alimentação, como no Oriente, mas sim como adorno, em países como a Alemanha, França e Inglaterra. A utilização da soja como alimento fora da Ásia ocorreu apenas por volta do século XVIII quando, investigadores europeus, começaram a estudá-la como matéria-prima para a produção de óleo e alimento para animais, principalmente devido ao seu elevado teor proteico [18, 19].

Após a introdução da planta na Europa muitas foram as tentativas de desenvolver o seu cultivo em terras Ocidentais, no entanto, por razões climáticas e por falta de conhecimento da cultura, apenas nos finais do século XIX, na América do Norte, se conseguiu produzir soja, para fins comerciais, fora do continente asiático [18].

Hoje em dia, a produção de soja nos E.U.A. equivale a cerca de 35% da produção mundial, contrariamente, a China detém somente 4% da produção mundial de soja. Também o Brasil e a Argentina ganharam expressão no cultivo desta planta, representando, respetivamente, cerca de 30% e 16% da produção mundial total. Na Figura 2.3 pode ser observada a distribuição geográfica da produção de semente, de óleo e de farinha de soja.

Os grãos de soja apresentam, normalmente, um diâmetro compreendido entre os 5 e 10 mm e um teor de óleo entre os 18% e os 21%. O teor em proteína encontra-se, de uma forma geral, entre os 36% a 40% e apresenta ainda uma composição de cerca de 30% em hidrocarbonetos solúveis e insolúveis. A juntar a estas características está também o facto de possuir propriedades antioxidantes e um baixo teor em gorduras saturadas. Tudo isto, aliado ao seu baixo preço, relativamente a outras sementes, tornam esta oleaginosa uma das mais consumidas a nível mundial, juntamente com os seus derivados [20].

Existem vários produtos derivados da soja disponíveis no mercado para consumo humano, como é o caso do leite de soja e seus derivados, como o tofu ou do miso, no entanto, apenas 10% da produção mundial de grão de soja é utilizada directamente para este fim. Cerca de 85% da soja colhida tem com destino a extracção do óleo, de onde também resulta a farinha para alimentação animal. O óleo extraído pode ter como finalidade o

uso alimentar ou a produção de biodiesel, sendo que, em 2016, 25,6% do consumo total de óleo de soja foi utilizado na produção de biocombustível [21].

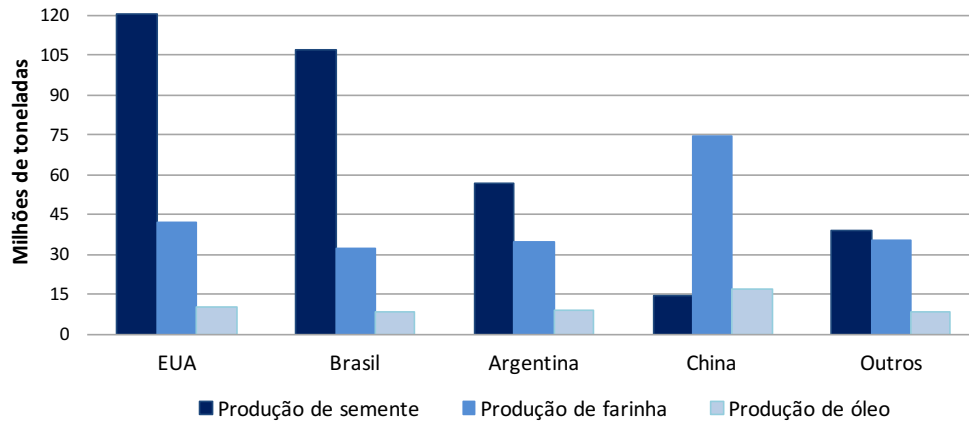


Figura 2.3: Produção de semente, farinha e óleo de soja, nos EUA, Brasil, Argentina e nos restantes países, no ano de 2016 [22].

2.3 Descrição do processo de produção de óleos vegetais

Conhecidas as propriedades das sementes de colza e soja é impreterível que se conheçam todas as variáveis críticas inerentes ao processo de extração. Sendo que, este processo subdivide-se em duas grandes secções, uma secção onde ocorre a preparação física das sementes, onde uma parte do óleo de colza será extraído fisicamente, e uma outra onde se dá a extração do óleo por via química.

2.3.1 Preparação das sementes para extração do óleo

O processo de preparação de sementes oleaginosas, que antecede o processo de extração, é fundamental para que seja atingido o maior rendimento em óleo possível e para que sejam alcançados produtos de qualidade e com valor acrescentado [23].

De uma forma geral, os processos de preparação de colza e de soja seguem a ordem presente na Figura 2.4, e diferem principalmente nas etapas de trituração, pré-aquecimento, prensagem e extrusão. Sendo que, as etapas de trituração e extrusão são executadas, unicamente, durante a laboração de soja, contrariamente, o pré-aquecimento e a prensagem são apenas utilizados em sementes com elevado teor em óleo, como é o caso da colza.

Nos próximos tópicos serão explicadas todas as etapas existentes na preparação das sementes, bem como, as diferenças existentes na operação das mesmas.

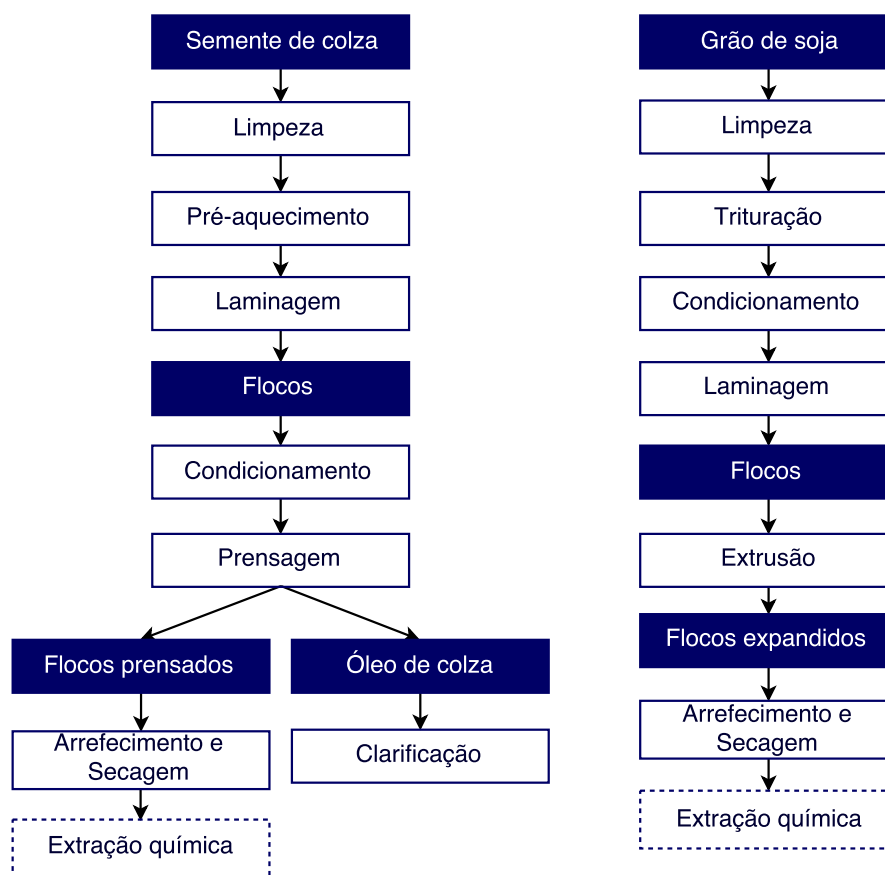


Figura 2.4: Fluxograma simplificado das etapas presentes na preparação da colza (esquerda) e da soja (direita).

2.3.1.1 Limpeza das sementes

A limpeza dos grãos tem como principal objetivo a remoção de corpos estranhos que possam ter sido arrastados juntamente com as sementes, como por exemplo, pedaços de metal, pedras, paus, cascas e/ou vagens.

Para que a limpeza seja bem-sucedida é importante que se evite a perda de grão salubre, para tal é imperativo que a escolha do equipamento seja adequada para cada semente. Como a separação das impurezas do grão é feita por peneiros é importante ter em conta o tamanho e forma das sementes na seleção das aberturas do peneiro, pois aberturas superiores às dimensões do grão implicam desperdício do mesmo.

Para que ocorra a remoção de partículas de dimensão igual ou superior às do grão, os peneiros são normalmente incorporados com ímans, podendo existir um complemento com classificadores por densidade.

2.3.1.2 Trituração

Em sementes cuja distância entre a superfície do grão e o seu centro - onde se encontra armazenado o óleo - poderá influenciar negativamente o rendimento de extração, por ser

demasiada extensa, é necessário recorrer ao uso de trituradores para partir o grão e diminuir essa distância. No que toca às sementes de colza e soja, somente no processamento de soja se procede à trituração dos grãos, uma vez que, a pequena dimensão das sementes de colza não permite a sua divisão em várias partes.

Os trituradores partem então o grão, entre 2 a 6 partes, por meio de dois rolos ondulados que se deslocam a uma velocidade radial diferente. Para que se obtenha o número de divisões pretendido a distância entre os rolos dos trituradores é uma variável crítica. Se a distância entre os rolos for muito elevada, tendo em conta as dimensões da semente, obter-se-á um número de divisões inferior, diminuindo o rendimento da extração [24].

2.3.1.3 Laminagem

A laminagem tem por objetivo o aumento da quantidade de óleo disponível para extração através da rotura das paredes celulares. Esta rotura permitirá a migração das partículas lípidas para a superfície da semente, facilitando assim a dissolução do óleo pelo solvente. A laminagem das sementes proporcionará ainda o aumento da área superficial de contacto entre a semente e o solvente [25, 26].

Tendo em conta as propriedades das sementes, estudos indicam que a espessura ideal para a soja se encontra entre 0,28 e 0,32mm e, para a colza, entre 0,30 e 0,40mm. Para que a espessura desejada seja atingida, cada laminador faz uso de dois cilindros lisos que se deslocam com a mesma velocidade e, tal como na etapa de trituração, a regulação da distância entre os rolos permitirá manter a variável *espessura* dentro do intervalo definido [26].

2.3.1.4 Condicionamento

O condicionamento das sementes tem como principal função a desativação de enzimas presentes no grão, no entanto, esta etapa irá também proporcionar as características de temperatura e humidade necessárias às etapas subsequentes.

Grande parte das enzimas conhecidas apresentam uma temperatura ótima entre os 50 e os 60°C, ora, para que as enzimas indesejadas sejam desativadas é impreterível que as sementes sejam aquecidas, da forma mais rápida possível, para valores que ultrapassem este intervalo [27]. Na soja, a presença de inibidores de proteases, que inibem as enzimas tripsina e quimiotripsina, faz com que esta planta não possa ser ingerida por animais monogástricos, sem um tratamento térmico prévio [28, 29]. No caso da colza a desativação das enzimas também se mostra de grande importância, uma vez que, a atividade enzimática promove a degradação de glucosinolatos, desta degradação resultam isotiocianatos e nitrilos que, ao ficarem retidos na farinha, afetam os animais que os ingerem [10].

O óleo encontra-se retido em partículas lipídicas que possuem membranas proteicas com estrutura anfipática. Para que o óleo esteja disponível para ser extratado é essencial que ocorra a desnaturação das proteínas da membrana, esta desnaturação é promovida pelo aumento da temperatura durante o condicionamento. O aumento da temperatura

fará também com que a viscosidade das gotas de óleo diminua, levando à formação de gotas de maior dimensão, este fenômeno resulta numa melhor drenagem do óleo na fase de extração [27, 30].

Nos condicionadores é também possível a correção dos valores de humidade das sementes. Esta correção é muito importante quando se utilizam prensas mecânicas, ou seja, quando se está a laborar com sementes com teor em óleo elevado, para que se atinjam valores de elasticidade corretos. Aquando da utilização de prensas mecânicas utilizam-se valores de humidade entre os 3 e os 6%. No caso da soja, considerando que se recorre apenas à extração com solvente, a humidade deve ser de 10% [27].

Como mostra a Figura 2.4, no caso da soja o condicionamento ocorre antes da laminagem, isto acontece porque o aumento da plasticidade proporciona uma laminagem eficaz do grão triturado, minimizando a formação de finos. A realização do condicionamento antes da laminagem reflete-se também numa redução do consumo energético dos laminadores, sendo que a laminagem dos grãos a temperaturas compreendidas entre os 25 e os 30°C exigem potência de 5 a 6 kWh por tonelada, ao aumentar a temperatura da semente para valores entre 55 a 60°C reduz-se a potência para 3 a 4 kWh por tonelada de semente, aproximadamente 40% [28]. Para além do consumo energético, o condicionamento das sementes antes da laminagem permite uma redução do desgaste dos rolos dos laminadores.

Aliando todas estas condições, o intervalo de temperatura de condicionamento dos grãos de soja é normalmente superior a 80°C e inferior a 100°C. As sementes não devem ultrapassar este valor pois temperaturas mais elevadas levam ao aumento da quantidade de ácidos gordos livres e de fósforo no óleo – fator importante na qualidade do biodiesel [30].

No caso particular da colza, o condicionamento não deve ser feito antes da laminagem, uma vez que, a temperaturas superiores a 45°C o óleo pode começar a deslocar-se do interior da semente para os rolos dos laminadores. Para evitar esta situação é aconselhável a realização de um pré-aquecimento das sementes antes da entrada nos laminadores - Figura 2.4

O pré-aquecimento entre os 30 a 40°C permite a diminuição da formação de finos, tornando o grão mais maleável e menos quebradiço. Tal como no condicionamento da soja, ao realizar o pré-aquecimento da colza antes da laminagem é possível a redução do desgaste dos rolos dos laminadores e do consumo energético [27, 30].

2.3.1.5 Extrusão

Tal como discriminado na Figura 2.4, o processamento de soja engloba uma etapa de extrusão antes de ingressar na secção de extração com solvente. Esta etapa irá possibilitar o aumento da área superficial e a diminuição da densidade do material sólido [16].

Após a passagem dos sólidos por um extrusora - comercialmente denominada de *expander* - o material fica poroso, esponjoso e permeável, características que vão otimizar

a extração química, uma vez que, irão facilitar a filtração e percolação do solvente [31].

Uma extrusora consiste num corpo tubular com um eixo central - parafuso sem-fim - em rotação e numa matriz de descarga com pequenos oríficos para a saída do material [32].

Nestes equipamentos, o material, à medida que é forçado contra a matriz de descarga, é sujeito à injeção com vapor direto e a forças de tração e compressão. Tudo isto se irá traduzir num aumento da pressão, da humidade e da temperatura dos flocos, sendo que a temperatura de expansão ideal para a soja se encontra compreendida entre 100 e 110°C.

Assim que o material é impulsionado pelos oríficos da matriz de descarga dá-se um alívio da pressão, este alívio repentino provoca a formação de interstícios no interior dos flocos e a rotura das paredes celulares, otimizando o rendimento da extração química [33].

2.3.1.6 Prensagem

Quando a semente a extrair possui uma composição em óleo superior a 40% é usual utilizar-se a prensagem parcial dos flocos antes da extração com solvente - Figura 2.4. A prensagem dos flocos possibilita a redução do teor em óleo para valores inferiores a 20%, o que facilita a percolação do solvente devido à redução da densidade dos sólidos. Assim sendo, a combinação da prensa - extração mecânica - com a extração química irá refletir-se num maior rendimento de óleo [10].

As prensas mecânicas apresentam uma configuração idêntica aos *expanders*, no entanto, as prensas possuem um cesto onde se dá a recolha do óleo extraído e não dispõem de injeção de vapor [34].

2.3.1.7 Decantação e centrifugação do óleo

Após a extração mecânica é necessário que o óleo obtido passe por uma fase de clarificação, ou seja, é crucial que as partículas sólidas arrastadas durante o processo sejam removidas. Estas partículas são arrastadas em virtude das grandes pressões sentidas no interior da prensa mecânica [10].

Por forma a facilitar a remoção dos elementos indesejáveis, o óleo passa em tanques de decantação, onde as partículas que se depositam no fundo são removidas. Quaisquer partículas, menos densas, que permaneçam em suspensão no óleo são removidas na etapa de centrifugação, que ocorre imediatamente após a decantação [10].

Para que as perdas de óleo sejam minimizadas, as partículas removidas são recirculadas de novo para o processo.

2.3.1.8 Secagem e arrefecimento

A humidade dos sólidos à entrada do extrator é uma das variáveis que irá condicionar o rendimento da extração química. Isto é, se existir uma elevada quantidade de água

na matriz dos flocos estes tornam-se impermeáveis ao solvente, impossibilitando a sua penetração nos flocos e, conseqüentemente, reduzindo o rendimento de óleo [16, 35].

É então importante que os sólidos passem por um secador antes da entrada no extrator. Neste equipamento será feita a correção da humidade e da temperatura dos sólidos.

Pretende-se que a humidade seja corrigida para valores entre 4 e 5% para colza e entre 9,5 e 10% no caso da soja [25, 27].

A temperatura ótima à saída do secador encontra-se entre os 50 e os 60°C, visto que, temperaturas superiores podem levar à evaporação do solvente no extrator [36].

2.3.2 Extração química de óleos vegetais

Após a passagem pelas etapas de preparação e, no caso da colza, pela extração mecânica, os flocos são então encaminhados para o extrator. Neste equipamento, os flocos são imersos em miscela - mistura de solvente orgânico com o óleo já extraído - que circula em contracorrente, ou seja, os flocos à entrada do extrator são aspergidos com miscela com uma grande concentração em óleo, enquanto que, os sólidos prestes a abandonar o extrator são banhados com solvente praticamente puro. Este tipo de funcionamento garante a operação com concentrações de miscela mais elevadas e com uma menor quantidade de solvente em recirculação [37].

Existem diversos tipos de extratores disponíveis no mercado e, na Figura 2.5, podem ver-se alguns dos equipamentos que são utilizados na extração de óleos vegetais.

De forma simplificada, o extrator de *Bollmann* é constituído por cestos, pouco profundos e com o fundo perfurado, que se deslocam num ciclo sem-fim vertical. É nestes cestos que os sólidos são depositados para que o líquido, em contracorrente, possa percolar e extrair o óleo [38].

O segundo extrator representado na Figura 2.5, o extrator *Lurgi Frame Belt*, funciona em *loop* horizontal, contrariamente ao extrator de *Bollmann*. Este equipamento, também apresenta um leito de sólidos pouco profundo, fator que permite a fácil drenagem do solvente, que circula em contracorrente [39].

O extrator *rotocel* - equipamento utilizado na instalação fabril em estudo - consiste num tanque cilíndrico dividido em compartimentos horizontais e de leito profundo, designados de caçambas. Os sólidos são então depositados numa das caçambas e lavados com miscela cada vez menos concentrada. Após a percolação pelo leito de sólidos, a miscela passa, pelas perfurações existentes no fundo das caçambas, para as tolvas - divisões onde a miscela em circulação é armazenada. A grande vantagem deste tipo de equipamento reside no facto de ser compacto, o que permite ocupar menos espaço do que os restantes extratores apresentados e ainda de permitir o funcionamento em contínuo [37].

Para além do tipo de extrator a utilizar é também importante definir qual o solvente orgânico que melhor se adequa à tarefa. Apesar de existirem outros solventes que podem

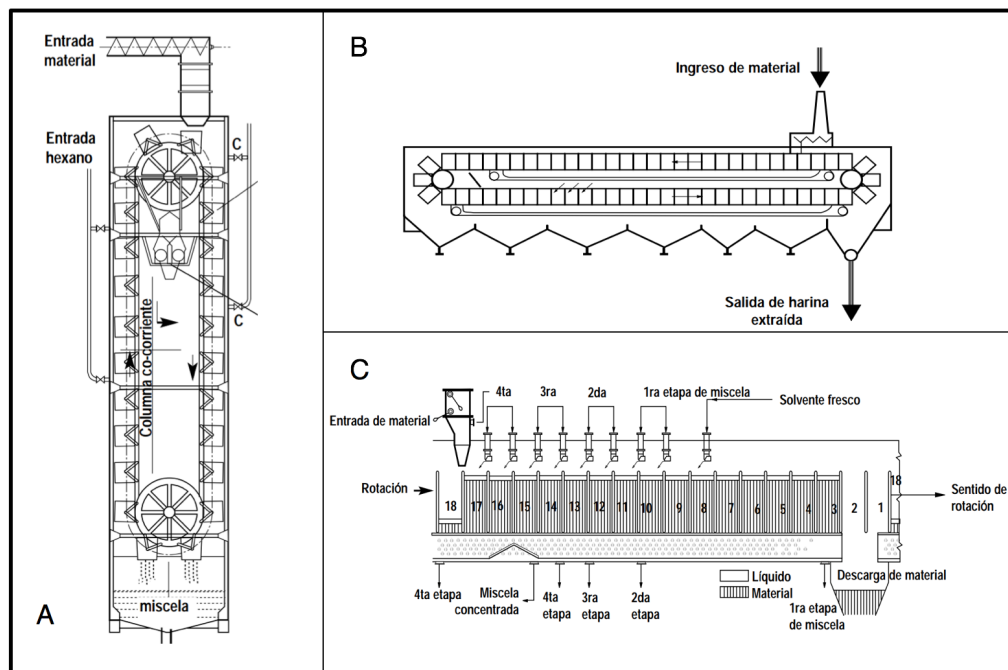


Figura 2.5: Representação esquemáticas de três tipos diferentes de extratores que podem ser utilizados na extração de óleos vegetais. Em (A) encontra-se um Extrator de *Bollmann*, em (B) um Extrator *Lurgi Frame Belt* e em (C) um extrator do tipo *rotocel*. Adaptado de [37]

ser utilizados para este meio, o hexano é aquele que apresenta as melhores características para a extração de óleos vegetais, especialmente, o facto de possuir uma grande capacidade de dissolução do óleo, mantendo as proteínas e os açúcares intactos. Este solvente apresenta também uma temperatura de ebulição de 68°C e um calor latente baixo - 335kJ/kg - o que torna a sua remoção pouco dispendiosa a nível energético, em relação a outras sementes [40].

Posto tudo isto, e de forma a que se consiga obter o maior rendimento de óleo possível, é também importante que as variáveis de processo se mantenham dentro do intervalo ótimo. Como referido em 2.3.1.8, a temperatura e humidade dos sólidos à entrada do extrator é de extrema importância, não obstante, a temperatura de entrada do hexano também tem de ser inferior ao seu ponto de ebulição, de modo a que haja um aumento da solubilidade do óleo no hexano e que seja evitada a pressurização do sistema - e conseqüente aumento das perdas de solvente

Para que a extração seja eficiente é ainda necessário que seja atingido o equilíbrio, isto é, é imperativo que o tempo de contacto com o solvente seja adaptado ao tipo de semente, de forma a que todo o óleo disponível para extração seja removido pelo solvente.

Da extração com hexano resultam duas correntes que terão caminhos diferentes após a saída do extrator, na Figura 2.6 encontra-se o fluxograma simplificado com todas as etapas presentes na secção de extração de óleo.

Do extrator sai então uma corrente de sólidos constituída pelos flocos empregnados em solvente e com baixo teor em óleo, esta corrente segue para o DTS onde ocorre a remoção do solvente. Os sólidos à saída do DTS apresentam as características necessárias para o consumo animal.

A corrente da miscela, corrente líquida à saída do extrator, é composta por óleo e solvente e segue para etapa de destilação onde se dá a separação dos constituintes da mistura. A corrente de solvente é encaminhada para a fase de recuperação onde se irá obter solvente apto a entrar novamente no extrator. O óleo proveniente da destilação segue para a desgomagem física, sendo que, o óleo desgomado é encaminhado para os tanques de armazenamento.

Todas as etapas subsequentes à extração química estão explicadas nos próximos tópicos.

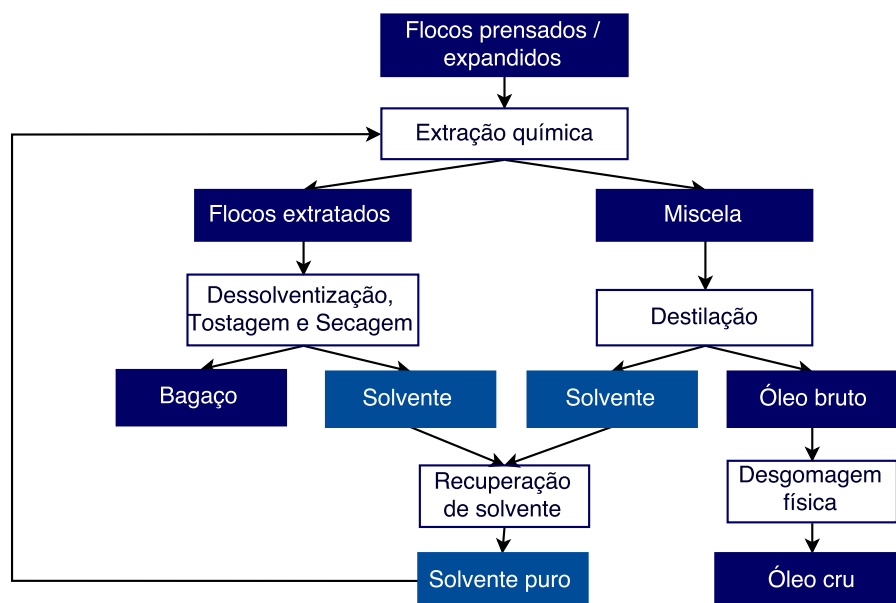


Figura 2.6: Fluxograma simplificado com as etapas presentes na secção de extração química.

2.3.2.1 Dessolventização, tostagem e secagem do bagaço

A corrente de sólidos, proveniente do extrator, entra num equipamento designado de Dessolventizador-Tostador-Secador, ou DTS. Tal como o próprio nome indica, os flocos extratados e impregnados em cerca de 25 a 35% de hexano, ingressam no DTS para que o teor em solvente seja reduzido para o mínimo possível, de forma a que a farinha possa ser utilizada para alimentação animal [41].

Um DTS típico apresenta uma configuração idêntica ao equipamento esquematizado na Figura 2.7.

Tal como esquematizado na Figura 2.7, um DTS trata-se de um equipamento cilín-

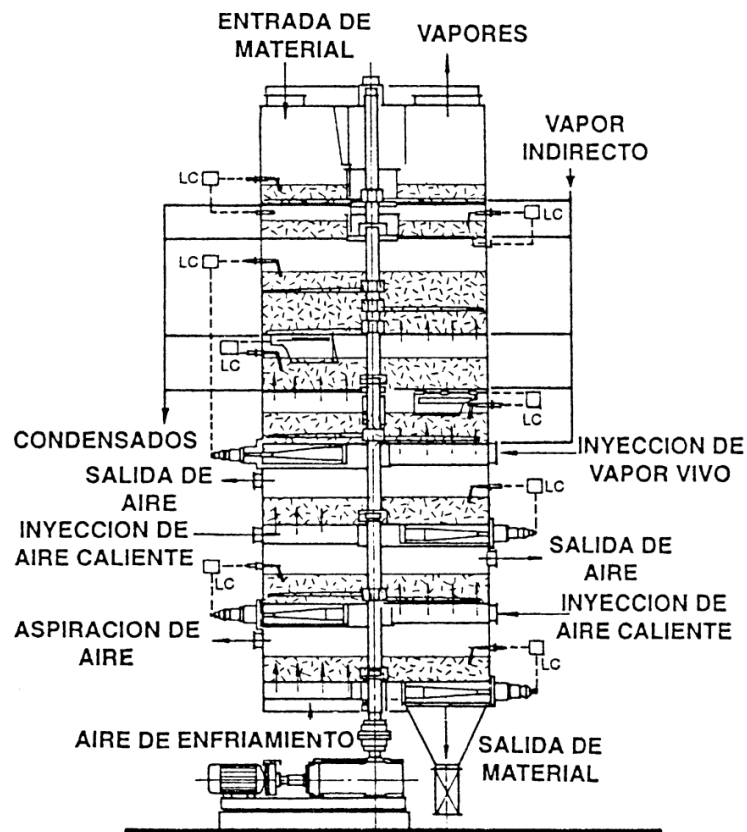


Figura 2.7: Representação esquemática de um DTS *De Smet-Schumacher*. Adaptado de [42]

drico composto por pratos perfurados e dispostos horizontalmente. O material procedente do extrator entra no equipamento pela parte superior e é suportado pela primeira bandeja, é então agitado, com o auxílio de braços ancorados a um eixo rotativo central, e transportado para a bandeja seguinte, e assim sucessivamente até abandonar o equipamento [43].

Neste equipamento, é ainda possível distinguir três grande zonas:

- **Zona de pré-dessolventização:** Nos primeiros pratos do DTS existe apenas o aquecimento do bagaço com vapor indireto. Como o bagaço à entrada do DTS se encontra com uma elevada concentração de hexano a sua libertação é mais fácil, daí ser possível a evaporação de uma parte do solvente usando apenas vapor indireto. No entanto, como a transferência de calor é feita apenas por condução, é necessário que o contacto com o prato seja o mais otimizado possível, assim sendo, a camada de sólidos nos primeiros pratos deve estar compreendida entre os 150 e os 300mm. Nesta zona ocorre então a remoção de cerca de 10 a 25% do hexano e um aumento de, aproximadamente, 8°C na temperatura do bagaço [41, 43].
- **Zona de dessolventização:** Nos pratos de dessolventização - ou pratos de contracorrente - ocorre a injeção de vapor direto. Nestes pratos é fornecido o calor necessário

para que seja atingida uma temperatura de 100 a 120°C, evaporando o hexano e saturando o bagaço com vapor. Nesta zona é importante garantir uma altura do leito de 1000 a 1200mm e um tempo de residência necessário à remoção de 75 a 85% do hexano, sendo que, a dessolventização da colza é mais difícil do que a dessolventização da soja, o que exige um tempo de residência superior. Os sólidos são então tostados nesta atmosfera húmida o que lhes confere as características necessárias para a alimentação animal, nomeadamente, a degradação de toxinas e compostos anti-nutricionais [30, 41, 43].

- **Zona de secagem:** Os últimos pratos do DTS correspondem a uma zona de secagem. Nesta zona, os sólidos são apenas insuflados com ar para que seja feita a correção da humidade e temperatura da farinha para os valores adequados ao armazenamento - cerca de 60°C e 12 a 13% de humidade. É ainda de salientar que é usual que a farinha final apresente valores de residual de hexano entre os 600 e os 700ppm, uma vez que, parte deste hexano será dissipado durante o armazenamento [43, 44].

Tendo ainda em conta que o vapor consumido no DTS corresponde a 75% do vapor total consumido numa unidade de extração de óleos é imperativo que se tenha em atenção a eficiência energética do mesmo. Ora, o parâmetro que melhor evidencia essa eficiência é a temperatura dos gases à saída do dessolventizador, uma vez que pode indicar se o equipamento está a ser operado com vapor em excesso. Tendo em conta que uma mistura de 94% de hexano e 6% de água evapora aos 62°C - devido à formação de um azeótropo - considera-se que esta é temperatura mínima a partir da qual se garante a remoção do hexano da farinha, contudo, é aconselhado que a temperatura seja mantida entre 70 e 75°C, de forma a minimizar as perdas de solvente. À medida que a temperatura no topo aumenta, para valores superiores ao intervalo definido, simplesmente se está a aumentar a proporção de água para hexano à saída do equipamento e, conseqüentemente, a aumentar o consumo de vapor [43].

2.3.2.2 Destilação da miscela

Após a saída do extrator, a miscela é encaminhada para a etapa de destilação, tal como esquematizado na Figura 2.6. Nesta etapa o hexano presente na miscela é evaporado num conjunto de passos, tornado a miscela mais concentrada.

Numa primeira fase, a miscela, com uma concentração de 22 a 30% em óleo, entra num economizador onde é concentrada até 70%. Este equipamento é designado de economizador, uma vez que irá utilizar o caudal de gases proveniente do DTS para evaporar parte do hexano presente na mistura [41].

Numa segunda a fase, a miscela é concentrada para um teor em óleo de 95 a 97%. Nesta fase a evaporação do hexano ocorre numa coluna de destilação onde a temperatura da miscela atinge os 100°C.

2.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS

Para concluir esta etapa, a miscela passa numa coluna de *stripping* onde a concentração da miscela atinge os 99,9%. Nesta coluna a miscela desloca-se em contracorrente com o vapor, vapor este que irá evaporar o restante hexano.

2.3.2.3 Desgomagem do óleo bruto

Ao sair da etapa de destilação, o óleo cru é direcionado até à fase de desgomagem

Nesta fase, pretende-se que sejam removidos os fosfolípidos hidratáveis presentes no óleo e, para que tal aconteça, é adicionado ao óleo, aproximadamente, 2% de água. Ao adicionar água ao óleo os fosfolípidos irão precipitar, dando origem às gomas ou lecitinas. Tendo em conta que as gomas apresentam uma gravidade específica superior ao óleo, estas podem ser removidas por centrifugação [45].

2.3.2.4 Recuperação do solvente

Nesta última etapa, as correntes de gases oriundas da dessolventização e da destilação passam por um conjunto de equipamentos para que o hexano possa ser recuperado e introduzido novamente no extrator

Os gases, que ainda não condensaram no sistema de condensação, começam esta etapa num lavador de gases que promove a condensação do solvente por meio de água de refrigeração. De seguida, a corrente gasosa dá entrada numa coluna de absorção com óleo mineral, nesta coluna o óleo mineral absorve o hexano presente na mistura gasosa. Para que o óleo liberte o solvente é então introduzido numa coluna de *stripping*. O hexano, após libertação do óleo mineral, é condensado para que possa dar entrada no extrator [46].

NORMALIZAÇÃO DE PROCESSOS

Como foi possível verificar no Capítulo 2, existem inúmeras variáveis que têm de ser controladas e monitorizadas durante todo o processo de extração de óleos vegetais para que se obtenham produtos de qualidade e com o melhor rendimento possível. Por esta razão, é importante a introdução da normalização no processo. A normalização é uma das ferramentas que mais vantagens acarreta para uma empresa, sendo até considerada como a base da filosofia *Kaizen* [47].

3.1 Filosofia *Kaizen*

A filosofia *Kaizen*, introduzida na empresa em estudo no ano de 2014, surgiu no Japão no início da década de 1950, no seguimento da derrota do país na Segunda Guerra Mundial. Após a guerra, as empresas japonesas estavam destruídas e precisavam de se afirmar nos mercados mas não tinham o dinheiro para tal. Foi por esta necessidade de serem mais creativos que os outros países que se destacavam na área da produção fabril que surgiu o *Kaizen*, uma filosofia caracterizada pela procura da máxima eficiência organizacional a um preço reduzido, sem a necessidade de grandes investimentos. Esta filosofia promove uma melhoria gradual e contínua de todos os processos envolvidos na obtenção do produto final, bem como a envolvência de todos os intervenientes. Muito embora tenha sido no meio industrial que esta metodologia de trabalho surgiu, esta pode ser aplicada a todas as áreas de negócio, tendo já apresentado resultados positivos em diversas empresas portuguesas. Como exemplo da aplicação e eficácia desta filosofia, uma empresa de compra e transformação de bacalhau que num período de 12 meses após a implementação desta metodologia conseguiu aumentar a produtividade em 52% na secção de embalamento [48, 49].

Esta filosofia, tendo em conta que pode ser aplicada em todas as organizações, foi

estruturada de forma simples em quatro níveis de intervenção:

- O primeiro nível foca-se na **organização da equipa de trabalho**. Esta primeira etapa tem como objetivo a organização de reuniões da equipa onde os todos os objetivos e KPI's (*Key Performance Indicators*) são explicados de forma a que todos os membros da equipa os entendam e percebam quais as suas responsabilidades individuais. Nesta fase é ainda expectável que o espírito de equipa e de entreaajuda seja desonvolvido e que todos os desperdícios associados ao mau planeamento do trabalho sejam eliminados [50].
- O segundo nível fomenta a **organização do posto de trabalho**. Nesta fase pretende-se que haja uma redução do desperdício e a otimização da produtividade através de uma gestão eficiente dos recursos materiais e humanos, para tal recorre-se à metodologia 5S. Esta ferramenta impõe cinco princípios - *seiri, seiton, seiso, seiketsu* e *shitsuke* - que em português significam triagem, arrumação, limpeza, normalização e disciplina, na Figura 3.1 encontra-se uma ilustração simples dos cinco princípios. De uma forma geral, o ciclo 5S inicia-se com a identificação de todos os elementos que são necessários e de todos aqueles que não acrescentam qualquer valor ao posto de trabalho, de seguida é necessário arrumar cada objeto num local apropriado, criando zonas específicas e de fácil acesso. O terceiro S - *seiketsu* - impele à limpeza do espaço de trabalho e de todos os equipamentos para que a identificação de problemas seja facilitada. No quarto passo do ciclo pretende-se que sejam criadas normas visuais que garantam a execução dos passos anteriores. A última etapa do ciclo 5S promove a disciplina, isto é, que as normas sejam cumpridas por todos os colaboradores para que o posto de trabalho se mantenha organizado [51].



Figura 3.1: Ilustração simplificada dos cinco princípios da ferramenta 5S. Adaptado de [52]

- A **normalização** corresponde ao terceiro nível da implementação da metodologia *Kaizen*. Neste nível procura-se a adoção da melhor prática para a execução do trabalho, a redução do desperdício de tempo e da variabilidade do processo. Para aplicar este nível é normal recorrer-se ao ciclo SDCA que será explicado com detalhe mais a frente neste capítulo em 3.5.1 [53].
- O último nível corresponde à **resolução estruturada de problemas**. Neste nível pretende-se que as equipas consigam alcançar diferentes projetos de melhoria com o objetivo de resolver problemas e dificuldades e de simplificar a sequência de trabalho. Na base deste nível encontra-se a possibilidade de utilização de várias ferramentas, incluindo o ciclo PDCA, explicado com maior rigor em 3.5.2 [53].

3.2 As vantagens da normalização

É importante que os níveis sejam aplicados na ordem descrita em 3.1, uma vez que, é indispensável que sejam criados os mecanismos básicos de organização, quer das pessoas quer do espaço de trabalho, para que se possa avançar para a implementação da normalização e, conseqüentemente, só depois de uma normalização sólida se conseguirá uma abordagem estruturada de resolução de problemas. Posto tudo isto, e tendo em conta que na secção em estudo já foram implementados os dois primeiros níveis de *Kaizen*, é agora necessário a introdução da normalização das práticas de trabalho [50].

A normalização consiste na documentação do processo atual, através da criação de normas, sendo esta documentação acessível a todos os membros da equipa. A introdução de normas permitirá a:

- **Redução da variabilidade:** todos os trabalhadores têm de realizar o seu trabalho de acordo com o descrito na norma, independentemente do turno ou convicções pessoais. Ao seguir as normas evita-se a repetição de erros.
- **Integração de novos membros na equipa:** a introdução de normas simples, de fácil leitura e auto-explicativas do processo faz com que a aprendizagem do método de trabalho se realize num período de tempo menor. A aplicação das normas possibilita ainda a redução do tempo que os trabalhadores mais experientes têm de disponibilizar no esclarecimento de dúvidas dos novos membros.
- **Aumento da segurança no trabalho:** as normas consistem num conjunto de procedimentos que descrevem a melhor prática possível para o desempenho de uma determinada tarefa, logo, ao seguir as normas seguirá a maneira mais segura de realizar a tarefa.
- **Redução dos custos:** todos os pontos já referido irão traduzir-se numa redução dos custos.

- **Auditoria e diagnóstico:** a consulta de normas permitirá a agentes externos a identificação do método de trabalho e a avaliação do mesmo. Este facto é uma mais valia para a classificação dos produtos no mercado o que potencializa a entrada em novos mercados e de novos clientes.
- **Melhoria contínua:** as normas não são estanques no tempo, pretende-se sempre que as normas criadas sejam a base para melhorias futuras.

3.3 Níveis da normalização

Antes de avançar é essencial que se distingam os diferentes níveis de normalização pois, graças a todas as vantagens descritas em 3.2, as normas encontram-se presentes nas mais variadas vertentes do desempenho particular ou profissional de qualquer indivíduo. Na Figura 3.2 estão discriminados os diferentes níveis da normalização, por ordem de exigência.

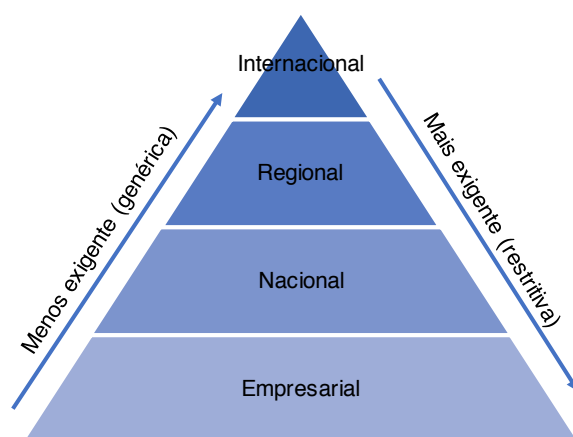


Figura 3.2: Representação esquemática dos diferentes níveis de normalização. Adaptado de [54].

No topo da pirâmide estão as normas internacionais, estas normas são desenvolvidas pela Organização Internacional de Normalização (ISO) e são reconhecidas pela Organização Mundial do Comércio (WTO). A elaboração destas normas tem como objetivo a conciliação dos interesses dos fornecedores, consumidores, governos, comunidade científica e de todos os outros representantes de uma sociedade civil organizada. As normas internacionais são aquelas que apresentam um grau de exigência menor, são as mais genéricas [55].

Imediatamente a seguir às normas internacionais estão as normas regionais. Estas normas são elaboradas por um organismo regional de normalização, como é o caso do Comité Europeu de Normalização (CEN), e são destinadas a todos os países representados no organismo regional [55].

As normas nacionais, tal como o nome indica, são concebidas pelas partes interessadas de um determinado país - governo, indústrias, consumidores e comunidade científica

- e aprovadas/emitidas por um organismo nacional de normalização, em Portugal este organismo é o Instituto Português da Qualidade (IPQ) [55].

As normas empresariais são realizadas por uma empresa, ou conjunto de empresas, e têm como fim orientar determinada ação dentro da mesma. Estas normas encontram-se na base da pirâmide pois são aquelas que requerem um maior detalhe e exigência, uma vez que estas são específicas para determinada empresa e, conseqüentemente, têm de ser elaboradas tendo em conta o método de trabalho e todos os intervenientes.

Dentro das normas empresariais podem ainda ser distinguidos dois tipos de normas: as normas de gestão e as normas operacionais. As normas de gestão são implementadas para o controlo de pessoal e para fins administrativos, por outro lado, as normas operacionais analisam e descrevem a maneira como os funcionários devem desempenhar as suas funções.

3.4 Características das normas

Após a distinção dos diferentes níveis de normalização existentes, em 3.3, facilmente se depreende que no caso em questão serão implementadas normas empresariais, mais concretamente, normas operacionais. Assim sendo, para que a implementação seja exequível e que as normas se tornem uma ferramenta de trabalho prática é essencial que qualquer norma criada siga o conjunto de características identificados na Figura 3.3.

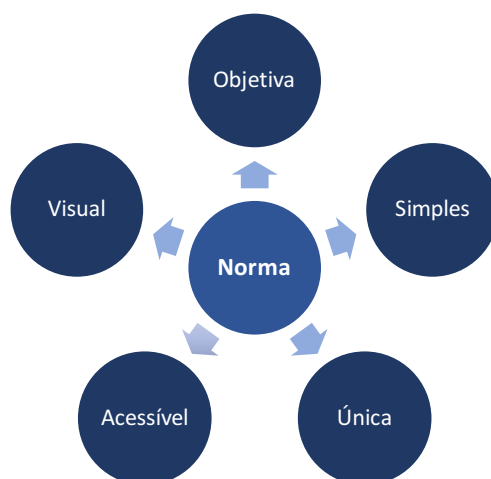


Figura 3.3: Características essenciais de uma norma. Adaptado de [56].

Ora, como mostra a Figura 3.3, uma norma tem de ser objetiva e simples, ou seja, a uma tarefa deve corresponder uma operação e esta deve conter uma linguagem de fácil interpretação pelos colaboradores. Para tal é importante que se utilizem imagens e esquemas na sua conceção - normas visuais. Há ainda que ter em conta o controlo das versões para que se utilize sempre a norma mais atualizada e evitar ambigüidades. Por fim, é fundamental que a norma esteja disponível a todos os colaboradores.

Para além de todas estas características, é também indispensável que a norma mostre

a relação entre a causa e o efeito, isto é, que seja explícito, perante uma dificuldade, quais as causas que possam ter motivado tal efeito. Esta relação fará com que a resolução de problemas seja mais rápida e eficaz [56].

De um forma geral, pretende-se que as normas de uma empresa minimizem as três principais áreas de fraqueza: *Muri* - sobrecarga/esforço, *Mura* - desvios/desequilíbrios e *Muda* - perdas/desperdícios [47].

3.5 Implementação da normalização

Para a correta implementação de normas operacionais é imprescindível a comunicação com todos os trabalhadores que intervêm no processo e um conhecimento aprofundado do *gemba* - local real.

Uma das ferramentas que fomenta essa comunicação e conhecimento do local de trabalho são as denominadas *Gemba Walks*. Numa *gemba walk* ocorre a visita da área onde o trabalho está a ser desenvolvido e a observação de como os produtos são criados, quais os desafios que os funcionários encontram e quais as oportunidades de melhoria existentes. A realização deste exercício tem como finalidade a reunião de informações e comentários dos trabalhadores, dado que, as pessoas que efetivamente realizam o trabalho são aquelas que mais conhecem os processos, são consideradas especialistas [57].

Apesar deste procedimento ser usado para que os líderes de uma empresa encontrem pontos de melhoria, muitos dos passos utilizados numa *Gemba Walk* devem ser utilizados como meio para atingir o conhecimento profundo no método de trabalho e a posterior conceção das normas. Os passos essenciais a ter em conta antes da escrita das normas são enumerados de seguida [58]:

1. **Preparar a equipa:** é essencial que os membros da equipa saibam de antemão quando o exercício se irá realizar e que percebam qual o propósito do mesmo.
2. **Criar um plano:** é necessário que se estruture o exercício antes de o realizar, ou seja, há que estabelecer qual o objetivo principal e estudar algumas perguntas que possam ajudar na compreensão do processo.
3. **Foco no processo e não nas pessoas:** para a eficácia do estudo o foco tem de ser a observação e compreensão do processo e não uma procura por falhas da parte dos funcionários.
4. **Anotar as observações:** para a posterior análise de tudo o que foi dito e observado.
5. **Fazer questões:** durante o exercício é essencial que se coloque de parte qualquer noção pré-concebida da maneira como o trabalho deve ser feito. Deverão ser colocadas questões aos trabalhadores sobre a maneira como eles executam as tarefas.
6. **Não sugerir alterações durante o exercício:** este é um exercício de observação e não de ação. Só após análise de todas as observações se poderá concluir algo.

7. **Realizar o evento em diferentes horários:** assim conseguir-se-á um espectro mais alargado de opiniões, bem como, das diferentes maneiras que uma tarefa pode ser executada.
8. **Voltar a comunicar com os trabalhadores:** após a visita ao local de trabalho é essencial manter comunicação com os membros da equipa de trabalho, quer para esclarecimento de dúvidas quer para os envolver no processo de normalização/melhoria.
9. **Voltar ao *Gemba*:** não é aconselhado visitar o local de trabalho uma única vez, caso ocorra alguma mudança no método de trabalho ou exista alguma dúvida é crucial voltar ao *gemba*.

Após um conhecimento sedimentado do processo em si e dos métodos de trabalho, através da realização dos passos acima descritos, é possível começar a realização das normas propriamente ditas. Para a conceção e consolidação das normas dentro da equipa de trabalho é comum utilizar-se um ciclo de normalização SDCA.

3.5.1 Ciclo de normalização - SDCA

O ciclo SDCA, também conhecido como ciclo de normalização, é sustentado pelas seguintes etapas: *Standardize, Do, Check, Act* ou, em português, Normalizar, Executar, Verificar e Agir. Na Figura 3.4 encontra-se uma representação esquemática do ciclo SDCA com uma breve descrição de cada etapa.

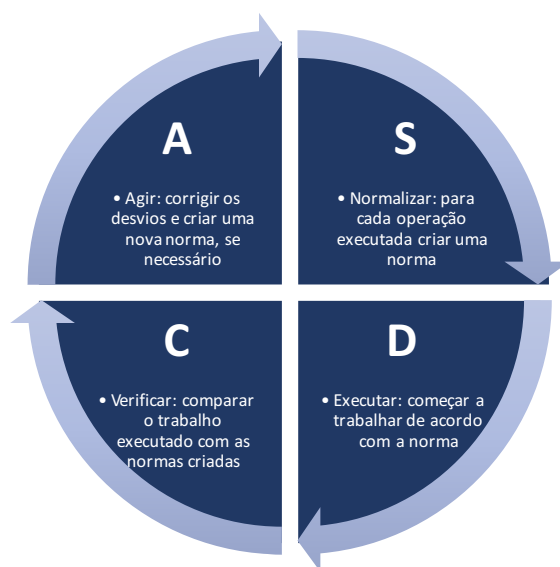


Figura 3.4: Representação de um ciclo de normalização SDCA. Adaptado de [56].

O ciclo inicia-se com a normalização de cada tarefa executada. Após a criação das normas ocorre a implementação das mesmas junto da equipa de trabalho - as tarefas começam a ser realizadas de acordo com o definido nas normas. Aquando da introdução da nova metodologia de trabalho é essencial verificar se o trabalho está a ser executado de acordo com o documentado ou se existem desvios. Se se verificarem desvios na execução das tarefas é imprescindível que estes sejam corrigidos e, se necessário, há que criar uma nova norma para melhorar as anteriormente implementadas - garantir que se opera da forma mais eficaz e mais segura possível.

Se se concluir que existem melhorias que podem ser feitas às normas atuais é usual recorrer-se a um outro ciclo, o ciclo de melhoria PDCA, antes de se reiniciar o ciclo SDCA. A Figura 3.5 mostra qual a relação entre ambos os ciclos e em 3.5.2 é clarificado como deverá ser implementado o ciclo PDCA.

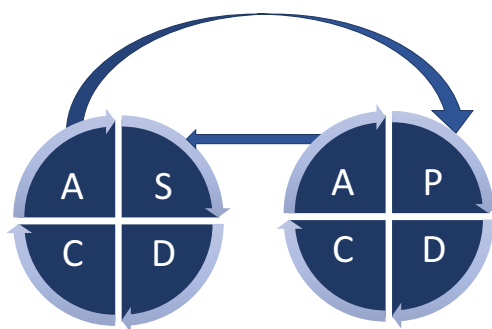


Figura 3.5: Interação entre os ciclos de normalização e melhoria. Adaptado de [59].

3.5.2 Ciclo de melhoria - PDCA

O ciclo PDCA - *Plan, Do, Check, Act* - consiste num modelo de melhoria contínua da qualidade que segue a sequência lógica representada na Figura 3.6. As fases integrantes do ciclo permitem a tomada de decisões num plano de melhoria e garantem que os objetivos necessários à sobrevivência do projeto são alcançados.

A primeira etapa do ciclo de melhoria consiste na definição dos objetivos que se pretendem atingir, tendo em conta os desvios/oportunidades de melhoria encontrados aquando da implementação do ciclo SDCA, e na elaboração de um plano de ação para atingir as metas definidas. Na segunda fase deste ciclo pretende-se que o plano definido na primeira etapa seja implementado e que sejam recolhidos os dados necessários para a terceira fase do ciclo, no entanto, antes da execução do plano é necessário educar e treinar os funcionários que irão executar a tarefa.

Na fase de verificação - *check* - os resultados recolhidos são analisados para que se perceba se a tarefa foi executada de acordo com o planeado e se os objetivos esperados foram alcançados.

A última etapa do ciclo corresponde ao ato de normalização dos procedimentos que se mostraram mais eficazes do que os anteriormente estabelecidos. Nesta fase é executado

novamente um ciclo SDCA para garantir a estabilidade das novas normas implementadas - Figura 3.5 [48, 56].

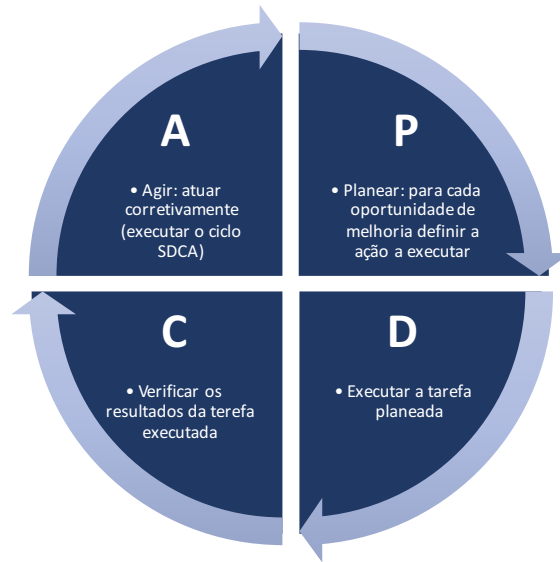


Figura 3.6: Representação de um ciclo de melhoria PDCA. Adaptado de [48].

A empresa CIN - empresa de produção e comercialização de tintas e vernizes - é um exemplo de que a correta implementação destes ciclos originam a redução dos desperdícios e melhoram a produtividade, dado que, após a sua introdução na empresa houve uma redução do *leadtime* de produção para menos de metade e um aumento de 15% da produtividade [60].

METODOLOGIA

Como já referido no Capítulo 3, a alternância entre os ciclos SDCA e PDCA mostra-se benéfica para a implementação de normas num determinado processo, proporcionando ainda um apoio estruturado para a resolução de problemas e para a melhoria contínua - dogma da filosofia *Kaizen*. Serão então usados ambos os ciclos para sustentar a normalização desenvolvida.

Aquando da realização das normas e aplicação dos ciclos de normalização e melhoria é útil recorrer-se à utilização de algumas das ferramentas da qualidade. De seguida encontra-se uma breve descrição das ferramentas aplicadas:

- **Diagrama de Ishikawa:** É também conhecido como diagrama de causa-efeito ou "espinha de peixe". Foi desenvolvido para identificar todas as causas possíveis que motivam um determinado efeito (problema) e qual a relação entre o efeito e todas as causas possíveis. Os motivos que podem levar ao problema são agrupados em seis categorias: método, mão-de-obra, máquina, medição, meio ambiente e material.
- **Fluxograma:** Um fluxograma trata-se de uma ilustração sequencial de todas as etapas de um processo. Tem como principal objetivo mostrar, de forma simples, todas as etapas do processo e como se desenrola o fluxo de informações e elementos.
- **Diagrama de dispersão:** O diagrama ou gráfico de dispersão permite verificar se existe correlação entre duas variáveis quantitativas. Esta ferramenta possibilita atestar possíveis relações de causa/efeito.

Como suporte serão ainda implementadas as seguintes técnicas:

- **5 Porquês:** Esta técnica consiste em, perante um problema, efetuar a pergunta *porquê?* de forma sequencial até que se perceba qual a causa raiz.

- **Brainstorming:** Esta técnica motiva a partilha de ideias dentro de um grupo de pessoas e é usada para gerar soluções para um determinado problema.
- **Benchmarking:** Esta ferramenta promove a comparação entre os processos de uma empresa com outras empresas da mesma área, pretende-se que todas as ideias sejam analisadas e que se obtenham melhorias no processo.

Após a realização das normas, e de modo a verificar se o trabalho estava a ser executado de acordo com o descrito, realizou-se a análise de dados processuais relativos ao funcionamento normal das instalações.

Os dados recolhidos correspondem a um período compreendido entre Fevereiro de 2017 e Fevereiro de 2018 e, para a correta análise dos dados, foram excluídos dos mesmos os dias nos quais ocorreu o arranque ou a paragem das instalações. Com a exclusão destes dias pretende-se eliminar possíveis picos das diferentes variáveis, uma vez que, é no arranque e paragem das instalações que se verifica a maior instabilidade. Pela mesma razão, foram eliminados do estudo dias de laboração com ambas as sementes e dias em que existiram paragens prolongadas no funcionamento das instalações.

Dados como temperatura, consumo de corrente, níveis de material e velocidade foram recolhidos com recurso ao *software Industrial Data Bridge (IDB)*, *software* capaz de trocar e armazenar dados de diferentes sistemas de automação [61].

Para determinar o teor de humidade, teor de hexano e residual de hexano na farinha procedeu-se à recolha de dados fornecidos pelo laboratório da empresa, sendo que, tais resultados foram obtidos pelos métodos discriminados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Métodos de ensaio utilizados para a determinação, em laboratório, do teor em humidade, óleo e hexano nas sementes oleaginosas e derivados.

Parâmetro	Método de ensaio	Descrição
Teor de humidade	Método interno ME 20.04	Determinação por secagem - estufa a 103°C
Teor de óleo	Método interno ME 20.03	Determinação por extração com éter de petróleo
Teor de hexano	AOCS Ba 14-87	Cromatografia em fase gasosa com coluna capilar

Foram ainda utilizados os dados referentes aos defeitos de preparação, ou seja, o teor em óleo obtido após uma segunda extração, determinado em laboratório a partir do método de ensaio AOCS Ba 3-38.

Posto tudo isto, na Figura 4.1 encontra-se, de uma forma geral, o procedimento seguido na realização das normas e sua posterior análise e validação. Tal como descrito na figura acima citada, foi necessário começar por tomar conhecimento do *modus operandi* levado a cabo pelos operadores de ambas as secções, através da realização de *Gemba Walks* com diferentes trabalhadores. De seguida, foram anotadas todas as ambiguidades que existiam para as diferentes tarefas a realizar e foram utilizadas as ferramentas da qualidade já descritas para determinar qual a melhor prática que deverá ser utilizada. Após este passo, procedeu-se à escrita das normas. Concluída a fase escrita foi necessário comparar os

objetivos e intervalos de conformidade incluídos nas normas com os dados históricos existentes, a partir desta comparação foi possível determinar quais os intervalos que deveriam ser afinados e quais os parâmetros que deveriam ser otimizados. No seguimento do estudo dos dados históricos foram ainda analisados os dados de defeitos de preparação e extração de modo a que se perceba qual das duas secções carece de maior atenção, ou seja, onde se deveria focar a análise das variáveis críticas para uma otimização do processo. A implementação dos ciclos SDCA e PDCA surge na sequência da análise das variáveis críticas.

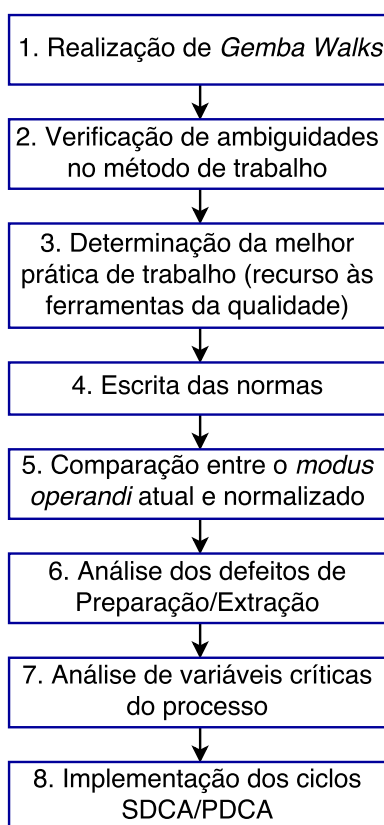


Figura 4.1: Sequência simplificada dos procedimentos seguidos para a realização e validação das normas.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Processo de normalização

Tal como descrito ao longo do Capítulo 2, o processamento de ciclos alternados de colza e soja implica a alteração de determinados parâmetros e tarefas a serem levadas a cabo aquando da operação com cada uma das diferentes oleaginosas. Para garantir que todas as tarefas são executadas da melhor forma possível procedeu-se à realização de um conjunto de normas, nas quais consta qual a sequência de tarefas a seguir pelos operadores e como deverão agir em situações de desvios à normalidade. De reforçar que os documentos elaborados focam-se apenas nas funções a cumprir após arranque.

Para iniciar o processo de normalização foram seguidos os passos mencionados na secção 3.5, a partir dos quais foi possível tomar conhecimento das práticas executadas pelos operadores de ambas as secções.

Após a observação do método de trabalho de diferentes operadores e do modo como os equipamentos devem ser manuseados foi possível concluir que, muito embora todos saibam quais as suas responsabilidades e quais as tarefas que devem realizar, não existe um padrão para a ordem que devem seguir ao desempenhar a rotina.

Através da análise de todas as informações recolhidas foi ainda averiguado que determinadas tarefas eram executadas de forma díspar de operador para operador. Perante esta situação foi necessário avaliar todos os procedimentos e, recorrendo a ferramentas da qualidade, determinar qual a melhor prática que deveria ser introduzida nas normas. Na Figura 5.1 encontra-se um exemplo de duas tarefas para as quais não existia um consenso de execução.

A discordância na execução da Tarefa A é motivada pela falta de capacidade de alguns dos condicionadores de aguentarem pressões de vapor superiores a um determinado valor. Perante esta situação, alguns dos operadores acreditavam que não existia problema em

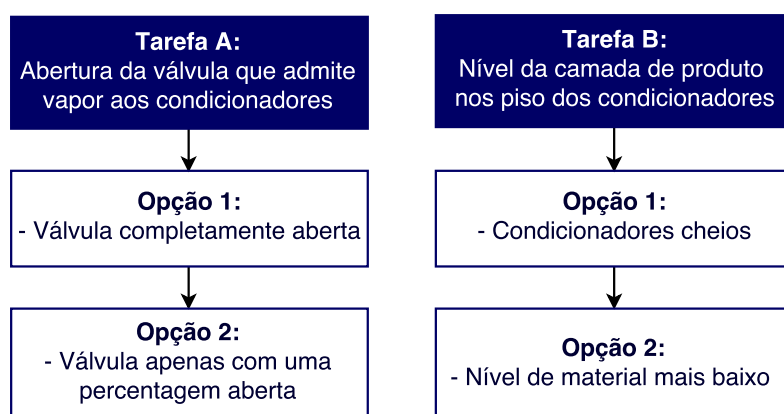


Figura 5.1: Diferentes abordagens para duas tarefas a realizar nos condicionadores, antes da introdução da normalização.

abrir a válvula a 100%, dado que, os equipamentos que apresentavam esta condicionante eram providos de redutores de caudal. Por outro lado, determinados operadores optavam por operar com a válvula semiaberta com a justificação de que ao abrir totalmente a válvula se estava a provocar desgaste desnecessário nos equipamentos.

Relativamente à Tarefa B, alguns dos operadores optavam por não trabalhar com os condicionadores cheios pois afirmavam que desta forma o aquecimento das sementes era otimizado.

Perante estas duas situações foi necessário recorrer a reuniões de *brainstorming* com os operadores e com o chefe de fábrica de modo a que se determinasse qual o método mais eficaz. Para a Tarefa A foi estabelecido que a melhor prática seria a Opção 1, dado que, só desta forma se irão proporcionar as pressões de vapor necessárias a todos os equipamentos. Para a Tarefa B foi também decidido que todos deveriam trabalhar com os condicionadores cheios, tendo sido estipulado no documento das normas quais os consumos de corrente elétrica que correspondem ao nível pretendido para cada equipamento, dado que, não existe uma monitorização direta do nível de material nos condicionadores. Ao efetuar *brainstorming* para a Tarefa B, constatou-se que a operação com os níveis mais baixos dava uma ilusão de melhor aquecimento, uma vez que, o material não atingia o sensor de temperatura, fazendo com que se registasse uma temperatura superior à temperatura efetiva das sementes. Para além deste facto, ao trabalhar com os condicionadores cheios, o material ficará mais compacto, levando a uma libertação de humidade do interior das sementes para o exterior. Esta libertação de humidade irá provocar problemas nas etapas seguintes, obrigando ao ajuste de outros parâmetros e, face a esta situação, muitos operadores preferiam operar com os níveis mais baixos.

Após o esclarecimento de todas as situações para as quais existiam diferentes modos de operação iniciou-se a escrita das normas. Para a elaboração dos documentos foi utilizado o *template* representado na Figura 5.2, cedido pelo departamento de Qualidade e Segurança da empresa em causa. Para facilitar a visualização e compreensão das normas, foi atribuído a cada tarefa um ícone representativo para cada ação, sendo que a legenda

utilizada se encontra na Figura 5.3.

Logótipo da empresa	INSTRUÇÃO DE TRABALHO	<código do documento>		
<Nome do documento>				
Objetivo:				
Fluxograma	Descrição	Documentos a consultar /meios	Registo	Resp.
Histórico do Documento				
Data	Nº de revisão	Descrição		

<código de impressão> As impressões deste documento são cópias não controladas Pag. 1 de1

Figura 5.2: *Template* utilizado para a escrita das normas de ambas as secções.







LEGENDA	
	Verificação
	Contacto
	Limpeza
	Nota / Chamada de atenção
	Ação (Atividade a realizar na supervisão)
	Ação (Atividade a realizar IN SITU)

Figura 5.3: Legenda incorporada nos documentos normativos.

Aquando da sequenciação de todas as tarefas considerou-se fundamental a introdução de possíveis desvios à normalidade, bem como de quais os procedimentos a seguir nessas situações. Para que tal fosse possível, e tendo em conta que determinados problemas podem ser provocados por diversas causas, recorreu-se novamente a algumas das ferramentas das qualidade para determinar quais as causas que provacam um certo efeito ou qual a causa raiz por detrás de um desvio. Para esta análise foram utilizados *Diagramas de Ishikawa* e a *Regra dos 5 Porquês* e, nas Figuras 5.4 e 5.5, encontra-se um exemplo de cada uma das ferramentas utilizadas.

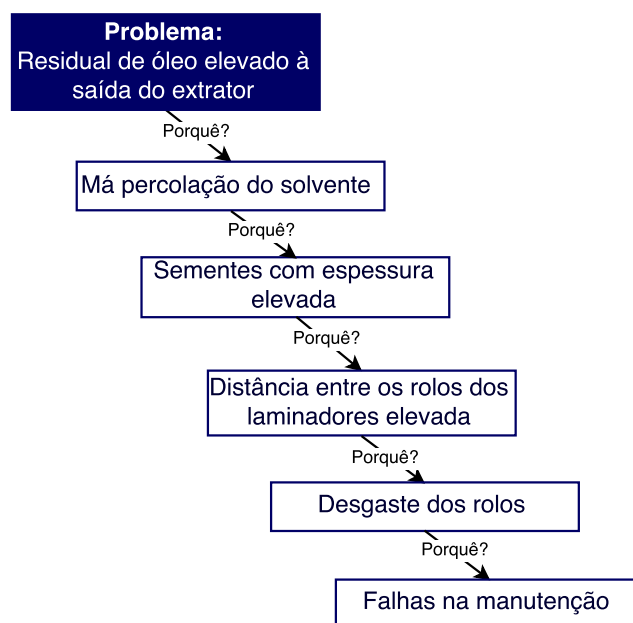


Figura 5.4: Regra dos 5 Porquês aplicada para determinação de uma causa raiz possível para o elevado residual de óleo nas sementes à saída do extrator.

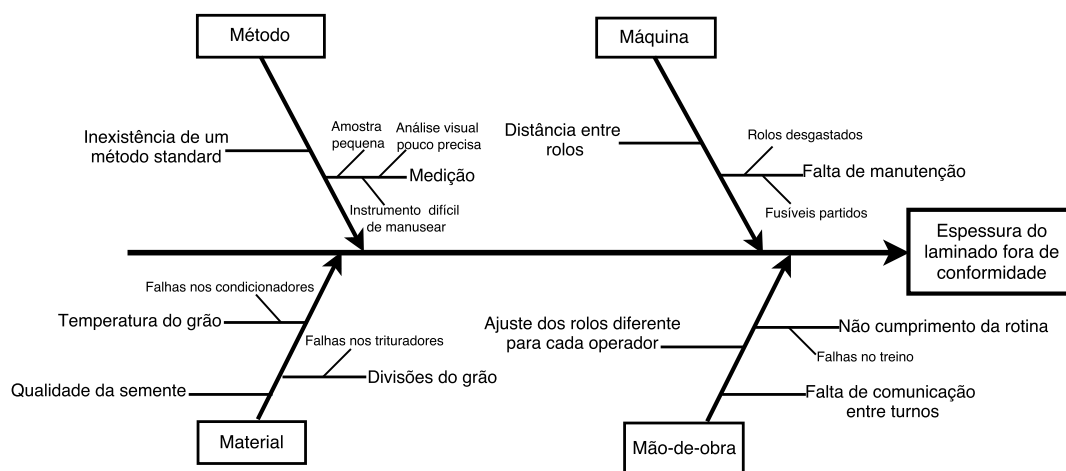


Figura 5.5: Diagrama de Ishikawa aplicado aos laminadores, nomeadamente, quando a espessura do laminado se encontra fora de conformidade.

Foram então elaborados dois documentos, cada um deles subdividido de acordo com o esquematizado nas Figuras 5.6 e 5.7. Finda a etapa de escrita, os documentos foram entregues às equipas de ambas as secções e, posteriormente, ao chefe de fábrica para correção e validação dos mesmos.

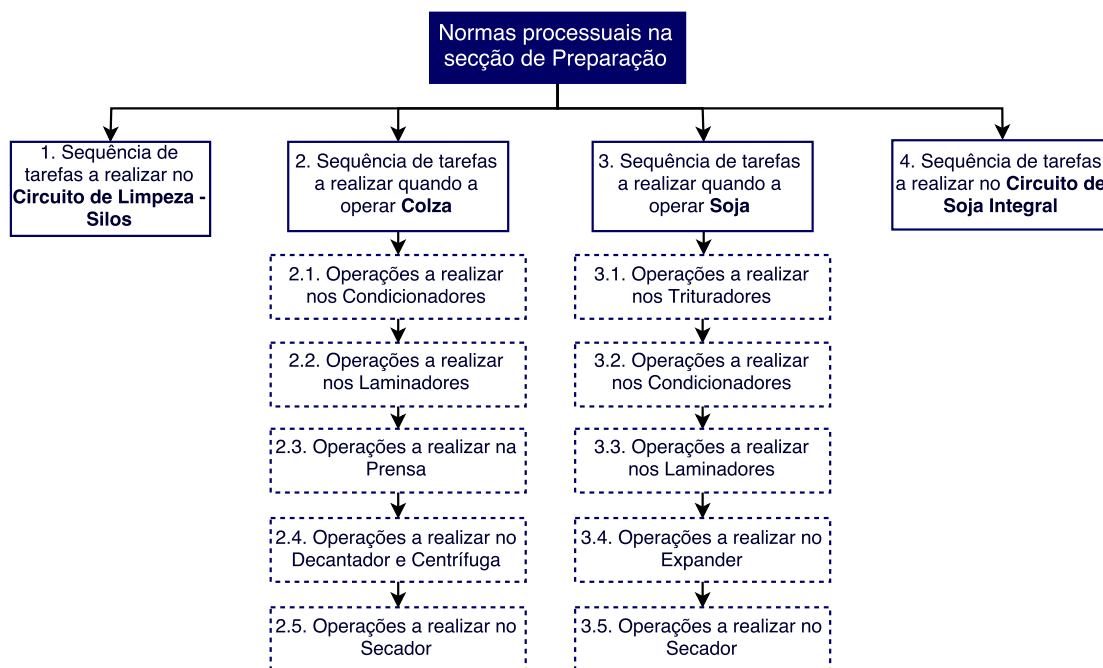


Figura 5.6: Esquema das normas elaboradas para a secção de preparação das sementes oleaginosas.

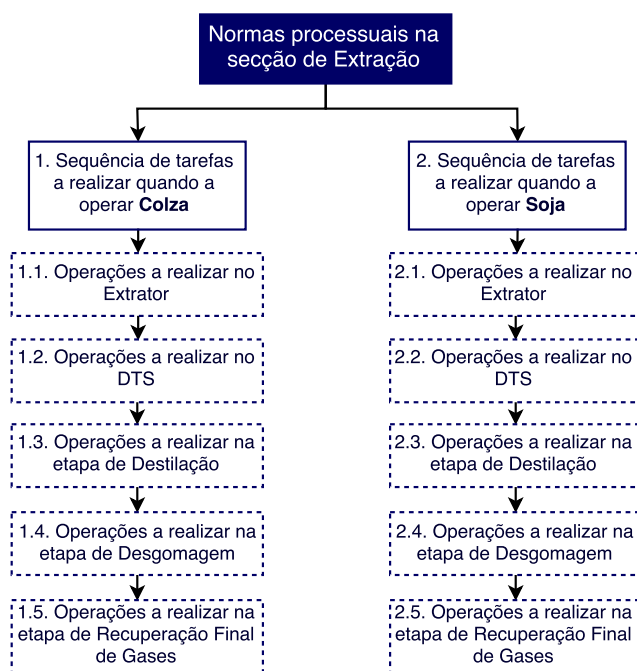


Figura 5.7: Esquema das normas elaboradas para a secção de extração de óleos vegetais.

5.2 Comparação entre o *modus operandi* atual e normalizado

Após a validação das normas por todos os intervenientes do processo, foi avaliada qual a coerência entre o estipulado nas normas, o retratado nos documentos tomados como oficiais e o *modus operandi* efetivamente utilizado.

Para uma primeira análise, compararam-se todas as variáveis introduzidas nas normas com as variáveis presentes no documento "Variáveis de Processo da Fábrica de Óleos e Bagaços" - codificado no sistema de qualidade e segurança, em outubro de 2016. Ao realizar tal comparação foi notório que, aproximadamente, 9% das variáveis presentes no documento oficial apresentavam valores de objetivos e/ou intervalos de conformidade diferentes do agora proposto nas normas. Foi ainda constatado que o documento de 2016 não possuía informações sobre um dos condicionadores nem qualquer tipo de alusão relativa a variáveis como humidade ou residuais.

De seguida, foi investigado qual o comportamento de determinadas variáveis ao longo do tempo. Procedeu-se então ao estudo de 41 variáveis do processo para cada uma das sementes, sendo que, no Anexo I se encontram duas tabelas resumo (Tabelas I.1 e I.2)- uma para cada semente - com todas as variáveis analisadas. Nas tabelas mencionadas, está presente qual o tipo de variável e a que equipamento pertencem, bem como, dados relativos ao intervalo de conformidade, nomeadamente, se foi atualizado nas normas, se, atualmente, se encontrava dentro de conformidade e, quando aplicável, qual o novo intervalo de conformidade proposto.

De entre todas as variáveis escrutinadas, cerca de 44% foram atualizadas nas normas e, aproximadamente, 33% estavam fora do intervalo de conformidade. Particularizando, cerca de 42% das variáveis analisadas, para a semente de soja, apresentavam dados fora de conformidade e, para a semente de colza, 29% dos parâmetros também se encontravam fora de conformidade. É ainda importante denotar que foram consideradas fora da conformidade as variáveis que apresentavam, pelo menos, 90% dos pontos analisados fora do intervalo, com exceção do nível e velocidade do secador, temperaturas do material à saída de um dos condicionadores e humidade à entrada da prensa (humidade à saída dos condicionadores).

O nível de material no secador, quando em laboração com colza, foi considerado como estando fora de conformidade, muito embora, menos de 90% dos dados se apresentarem fora do intervalo. Como é visível na Figura 5.8, o desvio desta variável ocorreu para acompanhar a variação da velocidade do secador, com a intenção de atingir a temperatura desejada dos sólidos à entrada do extrator, daí ser necessário a atribuição de um novo intervalo de conformidade que contemple tal alteração.

Relativamente à laboração com soja, a velocidade e nível de material no secador também foram consideradas fora de conformidade apesar de, menos de 90% dos dados se apresentarem para além dos limites do intervalo. Tal como representado na Figura 5.9, houve um ajuste de ambas as variáveis, pela mesma razão mencionada para a semente colza, sendo portanto necessário ajustar o intervalo de conformidade.

5.2. COMPARAÇÃO ENTRE O *MODUS OPERANDI* ATUAL E NORMALIZADO

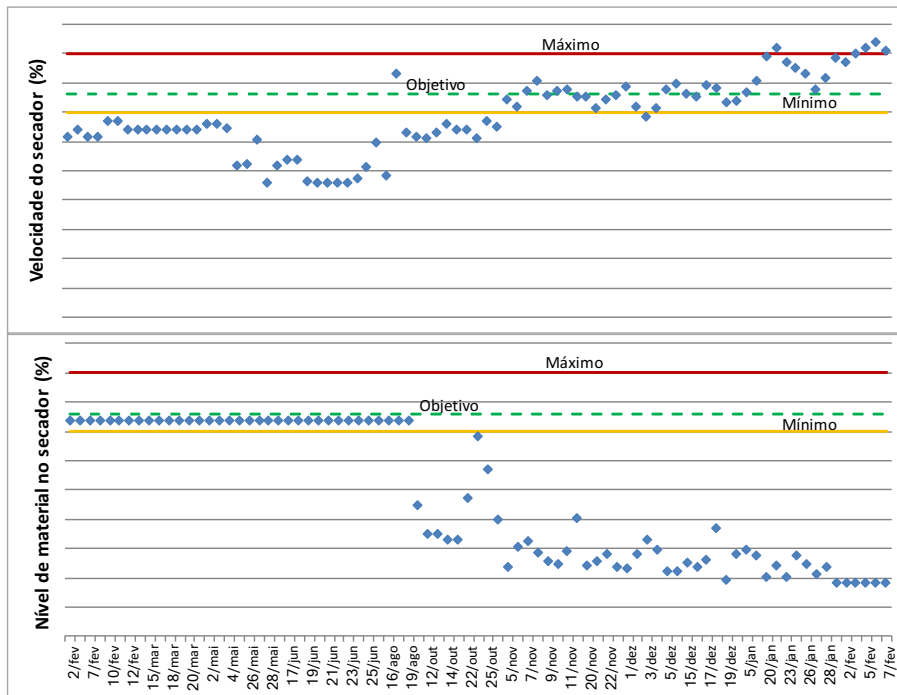


Figura 5.8: Variação da velocidade e do nível de material do secador durante o período em estudo, relativamente à laboração de colza. Por motivos de confidencialidade, o eixo correspondente aos dados processuais foi omitido.

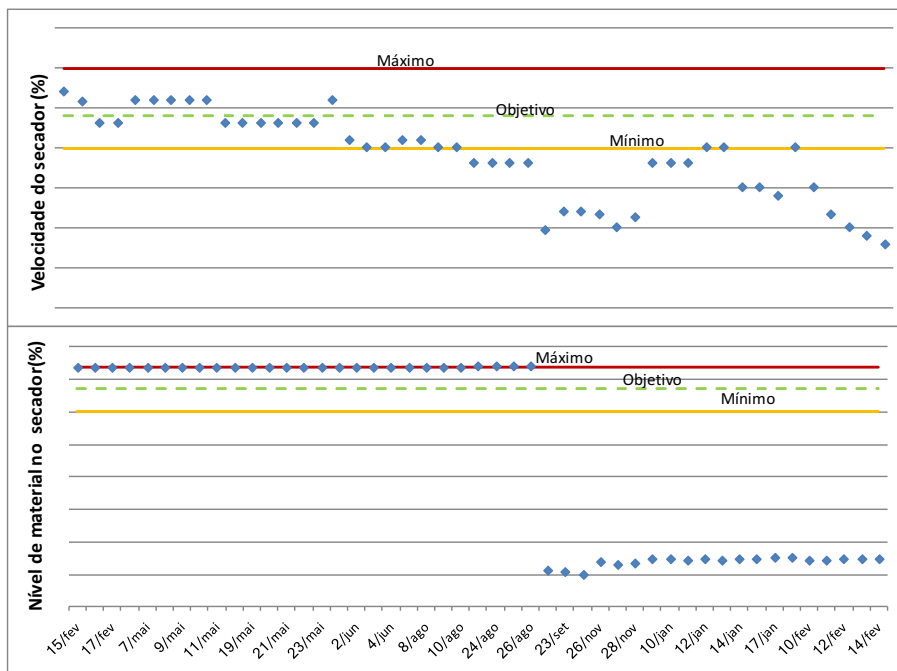


Figura 5.9: Variação da velocidade e do nível de material do secador durante o período em estudo, relativamente à laboração de soja. Por motivos de confidencialidade, o eixo correspondente aos dados processuais foi omitido.

Também a temperatura da colza à saída de um dos cinco condicionadores existentes foi considerada como estando fora do intervalo de conformidade, ainda que, menos de 90% dos pontos se encontrem para lá dos limites do intervalo aceitável. Assim como mostra a Figura 5.10, os valores de temperatura da semente à saída deste equipamento são sempre inferiores ao objetivo definido e, desde novembro de 2017, que cerca de 70% dos dados se encontram abaixo do limite inferior. Como a temperatura das sementes à saída dos condicionadores é classificada como importante - ver Anexo I - é essencial que se alerte os operadores para os valores tomados por esta, para que possam agir corretivamente.

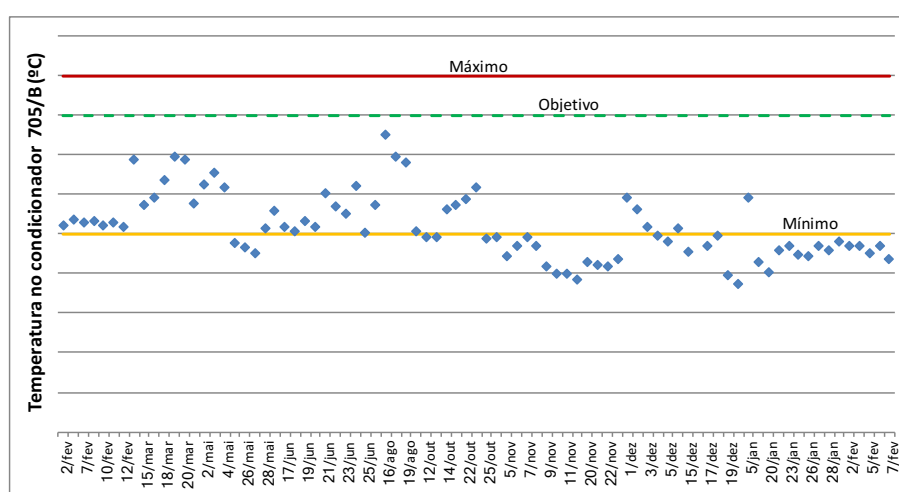


Figura 5.10: Variação, ao longo do período analisado, da temperatura da colza à saída de um dos condicionadores. Por motivos de confidencialidade, o eixo correspondente aos dados processuais foi omitido.

Tal como referido em 2.3.1.4, a humidade das sementes à entrada da prensa é um dos parâmetros que mais irá condicionar o rendimento em óleo da extração mecânica e, como pode ser observado na Figura 5.11, 66% dos dados relativos a esta variável estão acima do limite superior. Posto isto, é também necessário acautelar os membros da equipa relativamente a esta situação.

Todas as outras variáveis, que também se encontravam fora de conformidade, estão representadas graficamente ao longo do tempo, nos Anexos II e III.

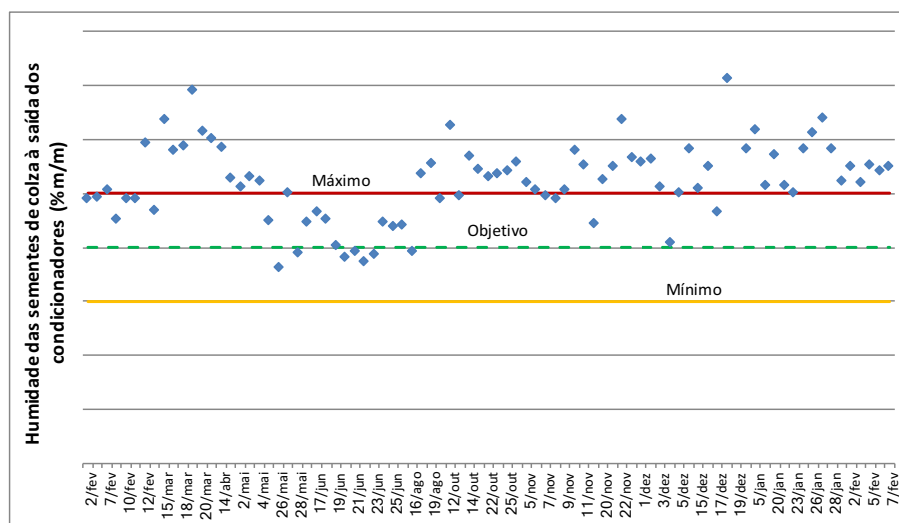


Figura 5.11: Variação, ao longo do período analisado, da umidade da colza à saída dos condicionadores. Por motivos de confidencialidade, o eixo correspondente aos dados processuais foi omitido.

Continuando com o foco nas variáveis que se apresentavam fora de conformidade, para 19 delas foi proposto um novo intervalo de conformidade, sendo que, para as restantes 8 variáveis não era vantajoso a atribuição de um novo intervalo.

A velocidade de rotação do extrator para a semente de colza é uma das variáveis para as quais se justifica a atribuição de uma nova de gama de conformidade. Tal como demonstrado na Figura II.8, presente no Anexo II, somente até maio de 2017 a velocidade do extrator apresentou valores dentro dos limites definidos, desde então que nunca mais atingiu o limite inferior. O comportamento desta variável pode ser explicado pela alteração do caudal de semente devido a existência um *bottleneck* no processo que não permite a laboração com caudais superiores, mantendo o mesmo rendimento em óleo. Face aos baixos caudais, e para manter a altura da camada de material no extrator dentro do desejado, foi necessário baixar a rotação do equipamento. Posto isto, e tendo em conta que o intervalo apresentado na Figura II.8 corresponde a caudais superiores, foi proposto um novo intervalo de conformidade tendo em conta os caudais atualmente em laboração.

Para além da temperatura e umidade da colza à saída dos condicionadores, também o consumo de corrente elétrica dos ventiladores dos condicionadores, a umidade das sementes à entrada do extrator e o residual de hexano na farinha estão fora de conformidade, no entanto, é importante que se mantenham os limites já definidos - ver Anexo I.

Tal como retratado na Figura 5.11, a umidade das sementes à saída dos condicionadores, ou seja, das sementes que irão ingressar na prensa, está acima do limite superior e, esta variável, é diretamente influenciada pela quantidade de ar debitado pelos ventiladores incorporados nos condicionadores. Posto isto, e tendo em conta que os ventiladores de três condicionadores apresentam o consumo de corrente elétrica para lá dos limites da conformidade (Figuras II.3, II.4 e II.5), é importante que essa gama não seja modificada mas sim que se tente agir corretivamente.

Também a humidade das sementes à entrada do extrator - evolução representada na Figura II.6 - se encontra fora de conformidade. Não obstante, tendo em consideração a importância desta variável no rendimento da extração química, é essencial que se tente atingir os objetivos definidos, razão pela qual não faz sentido substituir o intervalo já estabelecido. Há ainda que mencionar que a variável da humidade é apenas controlada indiretamente, via temperatura (deverá ser mantida entre 50-60°C por causa da evaporação do solvente no extrator), dado os resultados serem apenas disponibilizados pelo laboratório um dia depois.

Ainda no mesmo âmbito, a variável relativa ao residual de hexano no final da etapa de dessolventização - Figuras II.9 e III.12 - também se encontra para lá do limite mas o intervalo não será alterado, uma vez que, é essencial que se procure atingir o objetivo definido. É ainda importante referir que, tal como dito em 2.3.2.1, o valor do residual de hexano irá atingir valores inferiores assim que passar pelas etapas posteriores, nomeadamente, a secagem e armazenamento.

5.3 Defeitos de Preparação/Extração

Após a determinação de quais as variáveis que se encontravam fora de especificação é agora fundamental que se faça uma análise mais criteriosa da forma como as variáveis se relacionam entre si. Esta análise mostra-se de grande relevância para a determinação de relações chave que podem levar a uma otimização do processo.

Para que esta análise seja mais precisa é necessário definir quais as etapas do processo que carecem maior atenção, assim sendo, procedeu-se à verificação dos dados relativos aos defeitos de preparação, fornecidos pelo laboratório da empresa. Estes dados elucidam-nos acerca dos recintos oleaginosos que não foram fissurados na etapa de preparação de sementes, sendo expressos em percentagem de óleo obtido após uma segunda extração.

Os dados laboratoriais revelam que os defeitos de preparação são inferiores a 1% para ambas as sementes, o que dá a entender que o foco da otimização, pelo menos a nível de residual de óleo, deve ser na secção de extração. Ora, particularizando uma vez mais, há que distinguir o extrator como principal responsável pelo rendimento de óleo.

Ainda dentro da secção de extração, é essencial que se avalie igualmente o DTS, dado este ser o equipamento que mais vapor consome de entre todos os outros equipamentos, correspondendo a cerca de 40% do vapor consumido em toda a instalação.

Partindo desta premissa, nos próximos tópicos serão apresentadas quais as ilações mais importantes retiradas do estudo do comportamento de diferentes variáveis operacionais, tanto do extrator como do DTS.

5.4 Variáveis operatórias do Extrator

Assim como já evidenciado em 2.3.2, é no extrator que ocorre a extração química dos óleos vegetais. Assim sendo, o estudo das variáveis operatórias associadas a este equipamento terá como objetivo a detecção de pontos de melhoria relativos ao residual de óleo nas sementes. Para além do residual de óleo é também proveitoso que se avalie o consumo de hexano e o seu residual, procurando a sua redução sem comprometer o rendimento.

Foram então estudadas as seguintes variáveis: quantidade de óleo à entrada do extrator; velocidade do extrator; temperatura das sementes e do hexano à entrada do equipamento e a humidade dos sólidos à entrada do extrator.

5.4.1 Quantidade de óleo à entrada do extrator

Como referido em 2.3.1.6, sementes que contêm um teor de óleo superior a 40%, como é o caso da colza, apresentam rendimentos superiores quando são sujeitas a uma extração mecânica antes de serem alimentadas ao extrator. Isto acontece porque ao introduzir uma grande quantidade de óleo no extrator ocorre uma diminuição do rendimento da extração química.

A Figura 5.12 mostra isso mesmo, que quanto maior for a quantidade de óleo presente à entrada do extrator maior será o residual de óleo no final da extração química.

Posto isto, para futuras análises ao rendimento da extração química terá de ser contabilizada a quantidade de óleo proveniente da secção de preparação.

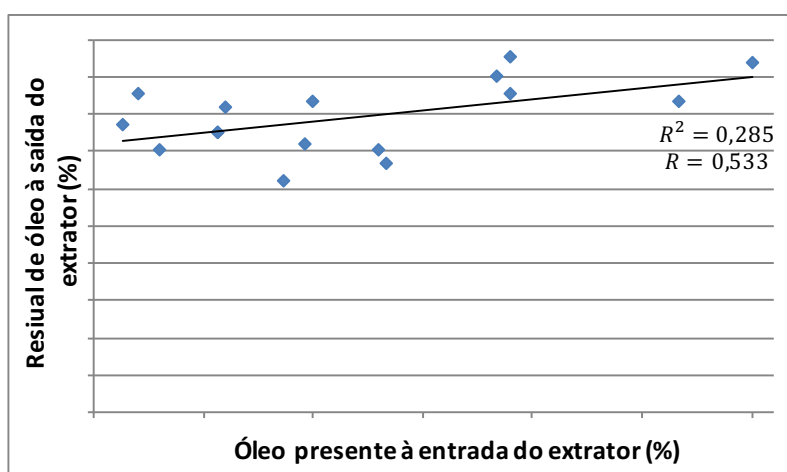


Figura 5.12: Relação entre o óleo presente à entrada do extrator e o residual de óleo após extração química, para um caudal de colza constante. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

5.4.1.1 Velocidade do extrator

É importante estudar o comportamento da velocidade do extrator, uma vez que, é esta variável que permite que a altura da camada de sólidos no interior do extrator seja mantida dentro do objetivo definido. Em termos teóricos, a altura da camada no extrator é considerada como "neutra" quando as sementes são devidamente preparadas, no entanto, e muito embora os valores dos defeitos de preparação apresentem valores reduzidos, não é prudente que se tome tal ilação, dado tratar-se de um exemplo industrial. Outra variável que se pode inferir pela análise da velocidade do extrator é o tempo de drenagem do solvente, variável diretamente proporcional à altura da camada, segundo hipóteses teóricas [37].

Para uma primeira abordagem foi investigada qual a influência do caudal de semente na velocidade do extrator. Tal como já auferido em 5.2, existe uma correlação forte entre ambas as variáveis (valor de R presente nas Figuras 5.13 e 5.14), ou seja, o aumento do caudal faz com os operadores aumentem a velocidade do extrator, para manter o mesmo valor de altura da camada de sólidos. As Figuras 5.13 e 5.14 retratam a variação da velocidade do extrator em função do caudal de ambas as sementes - por motivos de confidencialidade os valores relativos aos dados processuais foram omitidos.

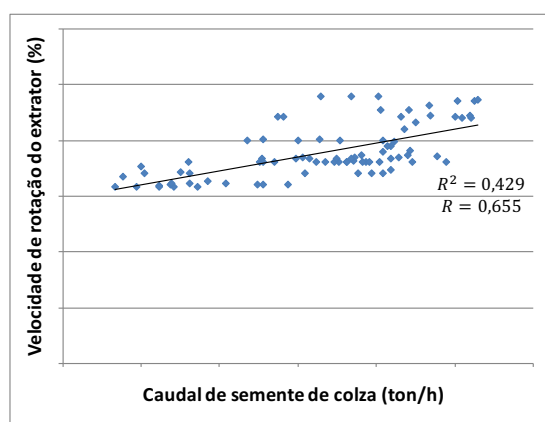


Figura 5.13: Variação da velocidade do extrator em função do caudal de colza.

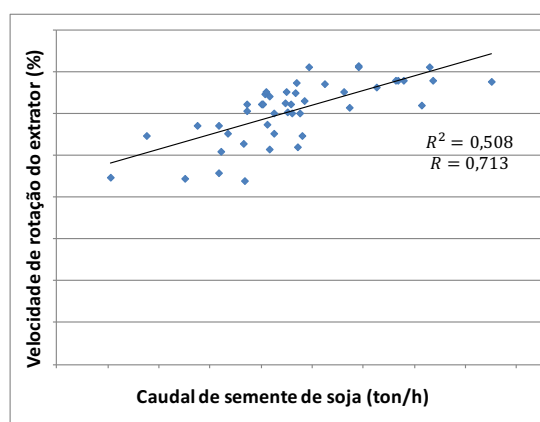


Figura 5.14: Variação da velocidade do extrator em função do caudal de soja.

De seguida, foi averiguado qual o impacto que a velocidade do extrator iria ter no residual de óleo, imediatamente após a extração química. As Figuras 5.15 e 5.16 apresentam a relação entre ambas as variáveis, para o processamento de colza e soja, respetivamente.

Ao relacionar os dados da velocidade do extrator com o residual de óleo verifica-se que existe uma tendência linear positiva entre estas variáveis, o que pode ser explicado pela diminuição do tempo de extração. Ou seja, é provável que se obtenham valores de residuais mais elevados porque não foi possível alcançar o equilíbrio entre a miscela pobre em óleo - exterior às sementes - e o óleo no interior das mesmas. Para comprovar a veracidade dos dados apresentados propõem-se a realização futura de testes industriais

que tenham ainda em conta a humidade das sementes à entrada do extrator, a existência de finos e/ou grossos e a temperatura das sementes e do hexano - fatores que também afetam o residual de óleo.

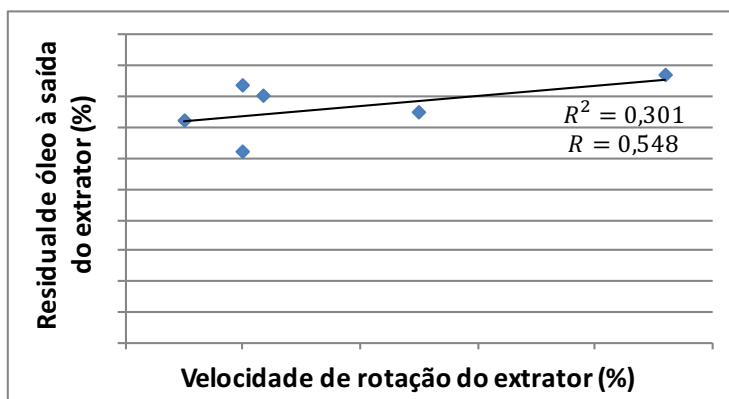


Figura 5.15: Relação entre a velocidade do extrator e o residual de óleo à saída do extrator, quando em laboração colza. Os dados apresentados correspondem a um caudal de semente e quantidade de óleo à entrada do extrator constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

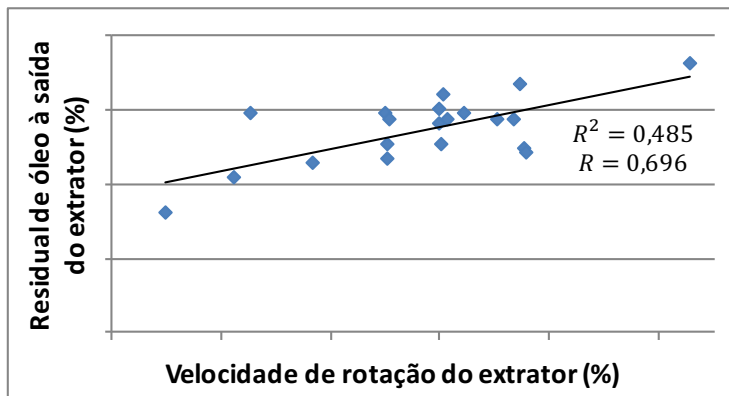


Figura 5.16: Relação entre a velocidade do extrator e o residual de óleo à saída do extrator, quando em laboração soja. Os dados apresentados correspondem a um caudal de semente e quantidade de óleo à entrada do extrator constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

Pela velocidade do extrator é possível avaliar a relação de proporcionalidade direta entre a altura da camada e o tempo de drenagem do hexano. Tendo em conta tal relação, e considerando o caudal constante, é de esperar que o aumento da velocidade do extrator proporcione uma diminuição do residual de hexano à saída do extrator o que, consequentemente, irá reduzir a quantidade de hexano a remover no DTS. Como os dados relativos ao residual de hexano imediatamente após a extração não estavam disponíveis, assim como de hexano inserido no extrator, não é possível tirar conclusões de forma direta. Não

obstante, ao manter, dentro de uma gama muito restrita, o caudal de semente, a humidade das sementes à entrada do extrator, o residual de óleo após a extração química e a temperatura no topo do DTS, o parâmetro que mais irá afetar o consumo de vapor no equipamento de dessolventização será a quantidade de hexano a remover.

Na Figura 5.17 estão presentes os dados de velocidade do extrator em função do consumo de vapor direto no DTS e, tal como previsto, com o aumento da velocidade do extrator ocorre a diminuição do tempo de drenagem do hexano, originando assim uma redução do residual de hexano.

Como, teoricamente, o residual de óleo não é afetado pela altura de material seria interessante que, no futuro, se realizassem testes industriais que comprovassem se de facto existe uma diminuição do residual de hexano à saída do extrator ao operar com a camada de sólidos menor. A realização de testes industriais mostra-se de grande relevância para comprovar a autenticidade destas deduções, dado que, os dados apresentados são relativos somente a seis amostras e há a possibilidade da existência de outras variáveis por de trás a influenciar o consumo de vapor direto no DTS.

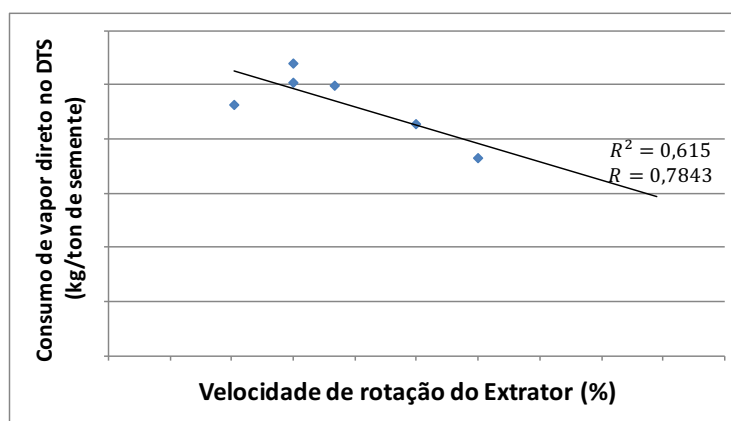


Figura 5.17: Variação do consumo de vapor direto no DTS em função da velocidade do extrator, aquando do processamento de colza, com um caudal de sementes, humidade das sementes à entrada do extrator, residual de óleo à saída do extrator e temperatura no topo do DTS constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

5.4.2 Temperatura de extração

A temperatura à qual se dá a extração tem um grande impacto no residual de óleo, sendo que, a relação teórica entre ambas as variáveis está disponível na Tabela 5.1. Ora, a temperatura de extração é definida pela temperatura das sementes que entram no extrator em conjunto com a temperatura do solvente, razão pela qual ambas serão avaliadas.

Os dados relativos à variação da temperatura da colza e da soja à entrada do extrator estão retratos no Anexo IV, nas Figuras IV.1 e IV.2. Tendo em conta que esta variável não

constava na base de dados utilizada são apenas apresentados dados relativos a janeiro e fevereiro de 2018.

Tabela 5.1: Influência da temperatura de extração no residual de óleo. Adaptado de [37].

Temperatura de extração (°C)	Incremento no residual de óleo (%)
60	0
54	0,05
49	0,11
43	0,24
38	0,44

Da análise das representações gráficas acima mencionadas, tem-se que a temperatura da colza se encontra dentro do intervalo de conformidade, ainda que com valores próximos do limite inferior. As baixas temperaturas utilizadas na extração de óleo de colza podem ser explicadas pela instabilidade de gases provocada no processo aquando da laboração com temperaturas elevadas.

Relativamente ao processamento de soja, verificou-se um aumento da temperatura dos sólidos (Figura IV.2), graças à conscientização dos operadores para o incremento do rendimento provocado pelo aumento da temperatura. Este ponto também foi conseguido devido à estabilização da corrente de gases, alteração explicada mais à frente.

No Anexo IV encontram-se ainda as representações gráficas relativas à temperatura do solvente à entrada do extrator. Como se pode verificar nas Figuras IV.3 e IV.4, para o processamento de ambas as sementes ocorreu um aumento da temperatura do hexano, razão que originou a classificação desta variável como estando dentro da conformidade (Anexo I).

Como não foi possível avaliar o comportamento do residual de óleo perante a temperatura das sementes, devido à escassez dados, nas Figuras 5.18 e 5.19 está representada a influência da temperatura do hexano no residual.

Tal como previsto, a temperaturas de hexano mais elevadas correspondem valores de residual inferiores. Ainda assim, a correlação entre estas variáveis não se apresenta tão forte quanto o esperado, uma vez que, não estão contabilizados outros parâmetros que também afetam o residual de óleo, nomeadamente, a temperatura dos próprios sólidos ou a existência de finos, por exemplo.

Perante tais resultados, propõem-se então a operação com temperaturas de extração mais elevadas, tendo em conta que, os problemas associados à instabilidade dos gases foram minimizados. Estes problemas foram minimizados em fevereiro de 2018, graças à eliminação de um ponto de estrangulamento no sistema da recuperação final, que permitiu estabilizar a corrente de gases e consequentes oscilações de pressão no extrator, permitindo a operação com temperaturas mais elevadas.

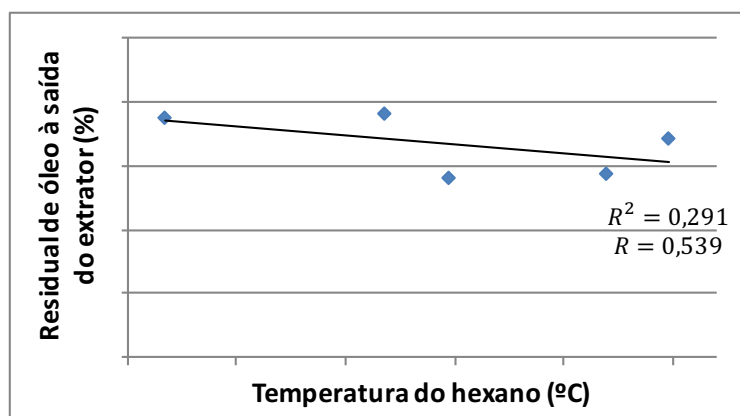


Figura 5.18: Influência da temperatura do hexano na eficácia da extração de óleo de colza. Dados correspondentes a um caudal, humidade e quantidade de óleo à entrada do extrator constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

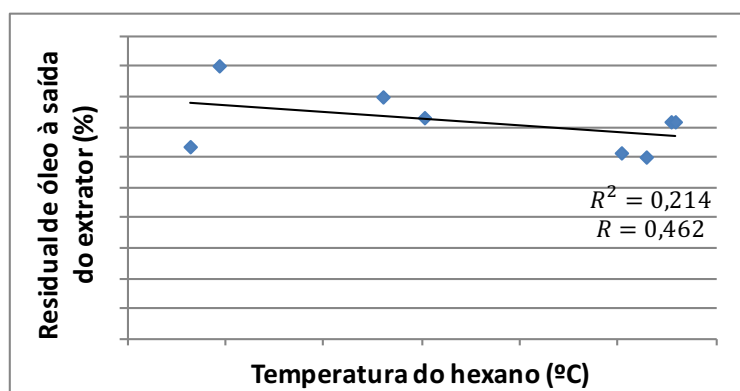


Figura 5.19: Influência da temperatura do hexano na eficácia da extração de óleo de soja. Dados correspondentes a um caudal e humidade das sementes à entrada do extrator constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

5.4.3 Humidade dos sólidos

Antes de entrarem no extrator, os sólidos passam por um secador onde ocorre a correção da temperatura e, conseqüentemente, a redução do teor em humidade. Todavia, a variável monitorizada/controlada é a temperatura e não a humidade, dado a análise da humidade ser realizada no laboratório e só estar disponível no dia útil seguinte. De seguida será avaliado qual o impacto desta variável no rendimento da extração.

As Figuras II.6 e V.1 contêm a variação da humidade das sementes de colza e soja à entrada do extrator, respetivamente. Como é observável, a humidade dos sólidos encontra-se a baixo do defindo teoricamente, para a colza, dado a temperatura dos sólidos também

ser reduzida. Na Figura V.1 nota-se um aumento da humidade no mesmo período (período compreendido entre 17 de Janeiro e 14 de Fevereiro de 2018) em que se registou o aumento da temperatura das sementes - Figura IV.2.

As Figuras 5.20 e 5.21 mostram a influência da humidade das sementes no residual de óleo à saída do extrator.

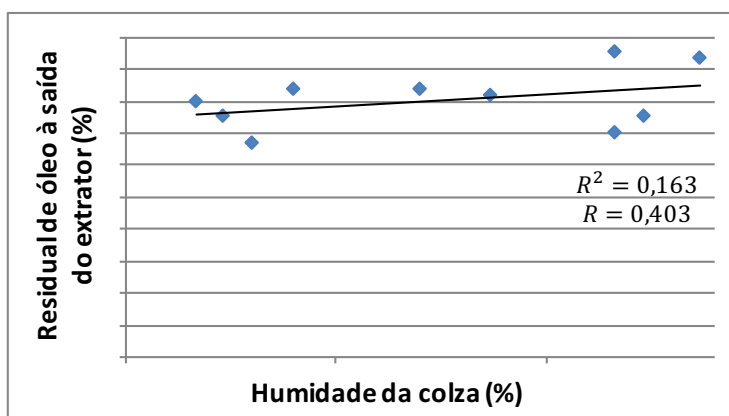


Figura 5.20: Influência da humidade das sementes na eficácia da extração de óleo de colza. Dados correspondentes a um caudal, quantidade de óleo à entrada do extrator e temperatura do hexano constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

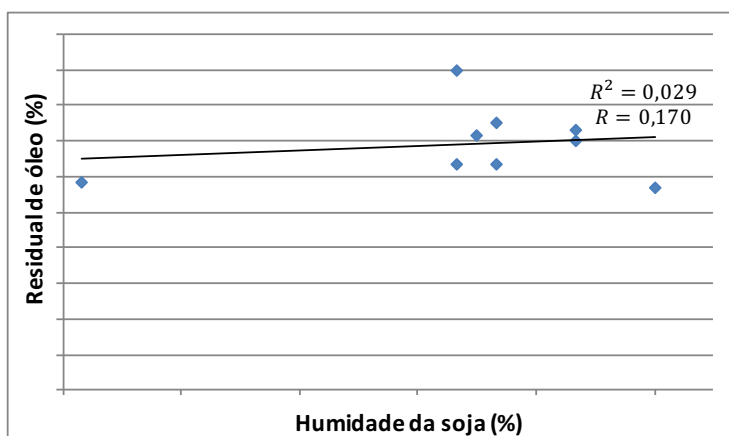


Figura 5.21: Influência da humidade das sementes na eficácia da extração de óleo de soja. Dados correspondentes a um caudal e temperatura do hexano constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

Após análise da Figuras 5.20 e 5.21 percebe-se que a correlação entre a humidade das sementes e o residual de óleo é muito fraca. O facto de a correlação ser baixa pode ser explicada por diversos motivos, sendo o primeiro a existência de inúmeras outras variáveis que podem afetar o residual de óleo. No entanto, a fraca relação entre as variáveis pode sustentar ainda mais o aumento da temperatura de extração, uma vez que, não sendo provada um aumento brusco no residual de óleo com o aumento da temperatura é possível aumentar a temperatura das sementes sem comprometer o rendimento devido à

humidade.

Experiências relatadas na literatura indicam ainda que o aumento da humidade do laminado também irá afetar negativamente a dessolventização das sementes, levando a um aumento do consumo de vapor. Nas Figuras 5.22 e 5.23 encontra-se retratada a influência da humidade das sementes no consumo de vapor direto no DTS.

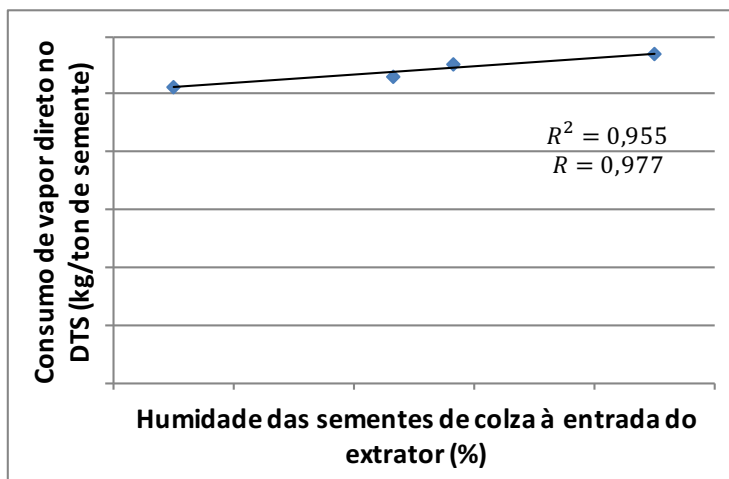


Figura 5.22: Influência da humidade dos sólidos à entrada do extrator no consumo de vapor direto no DTS, para a laboração de colza. Dados correspondentes a um caudal, quantidade de óleo à saída do extrator e temperatura no topo do DTS constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

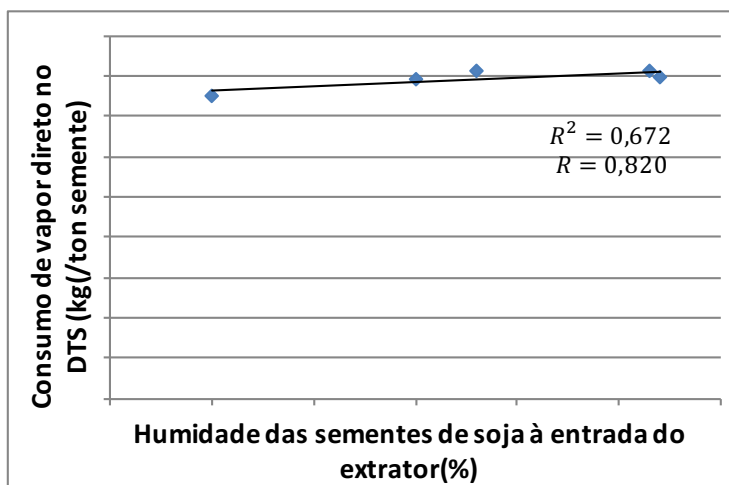


Figura 5.23: Influência da humidade dos sólidos à entrada do extrator no consumo de vapor direto no DTS, para a laboração de soja. Dados correspondentes a um caudal, quantidade de óleo à saída do extrator e temperatura no topo do DTS constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

Tal como previsto, existe uma correlação entre a humidade dos sólidos à entrada do extor e o consumo de vapor direto no DTS.

Perante tais conclusões relativamente à humidade das sementes, é meritório que se

reavalie as condições de ventilação dos condicionadores, dado ser neste equipamentos que se dá a correção da humidade das sementes de colza (no caso da soja existe a passagem pelo *expander* que origina o aumento da humidade). Esta correção da humidade permitirá uma diminuição do residual de óleo e do consumo de vapor direto no DTS, e ainda uma otimização do rendimento da extração mecânica, como referido em 5.2.

5.5 Variáveis operatórias do DTS

A análise do equipamento de dessolventização foi realizada com vista à otimização do consumo de vapor e do residual de hexano presente na farinha.

Durante o estudo das variáveis operatórias deste equipamento foi implementado um ciclo SDCA aos níveis da camada de sólidos nos pisos do DTS. Foi ainda investigado o comportamento da temperatura dos gases à saída do dessolventizador.

5.5.1 Implementação de um ciclo SDCA aos níveis do DTS

Graças à prática de *benchmarking*, foi encontrada uma possibilidade de melhoria na forma como o DTS era operado, mais especificamente, nos níveis de material mantidos nos primeiros pisos do equipamento.

Até então, o objetivo era que o nível desses pisos permanecesse superior ao valor apresentado nas Figuras VI.1 e VI.2. No entanto, percebeu-se que a operação com os pisos indicando nível 0% poderia proporcionar uma redução no consumo de vapor no DTS. Perante esta oportunidade de melhoria foi introduzido um ciclo SDCA para comprovar a eficácia da nova prática. A planificação seguida na implementação do ciclo de normalização, seguido de um ciclo de melhoria, encontra-se na Figura 5.24.

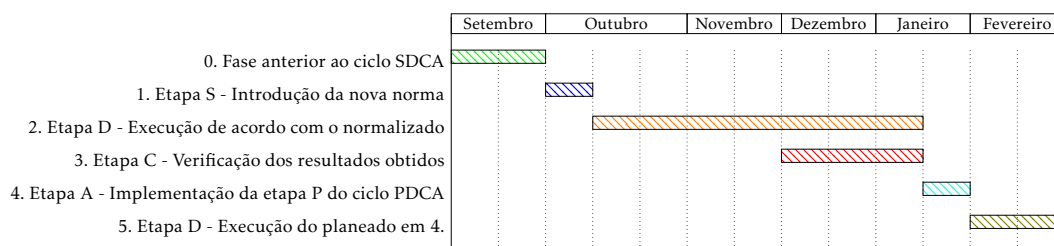


Figura 5.24: Planificação seguida na implementação dos ciclos SDCA e PDCA.

Na primeira etapa do ciclo de normalização ocorreu a introdução da nova norma de trabalho junto dos operadores. Nesta fase ficou definido que deveriam operar com o nível dos primeiros pisos do DTS vazios - mantendo as comportas laterais completamente abertas - e continuar a operar os restantes pisos segundo a metodologia antiga.

Dada por concluída a primeira etapa do ciclo, foi possível começar a executar a rotina diária de acordo com o novo procedimento. Após algum tempo de laboração seguindo a normalização introduzida, iniciou-se a análise dos resultados obtidos na mudança de

método.

Como se pode verificar no Anexo VII, a variação do nível dos primeiros pisos seguiu a mesma tendência, razão pela qual, na análise dos resultados obtidos foi utilizada a média dos níveis.

Nas Figuras 5.25 e 5.26 estão dispostos os dados relativos ao nível médio dos primeiros pisos e do consumo de vapor direto no DTS, ao longo dos dois períodos em estudo. À zona 1 correspondem os dados relativos à laboração antes da introdução do ciclo, por oposição, à zona 2 correspondem aos dados pós SDCA.

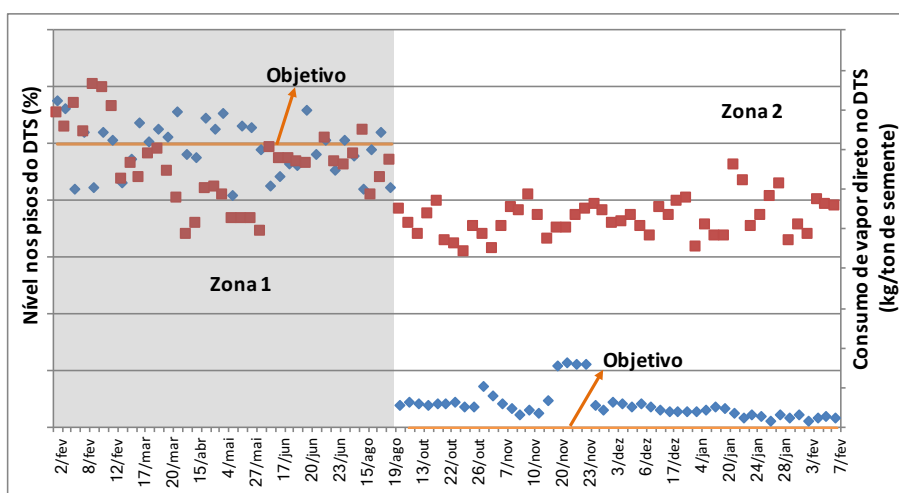


Figura 5.25: Variação do nível dos primeiro pisos do DTS (pontos a azul) e do consumo de vapor direto no mesmo equipamento (pontos a vermelho), para a laboração com colza, antes e depois da introdução da nova metodologia. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

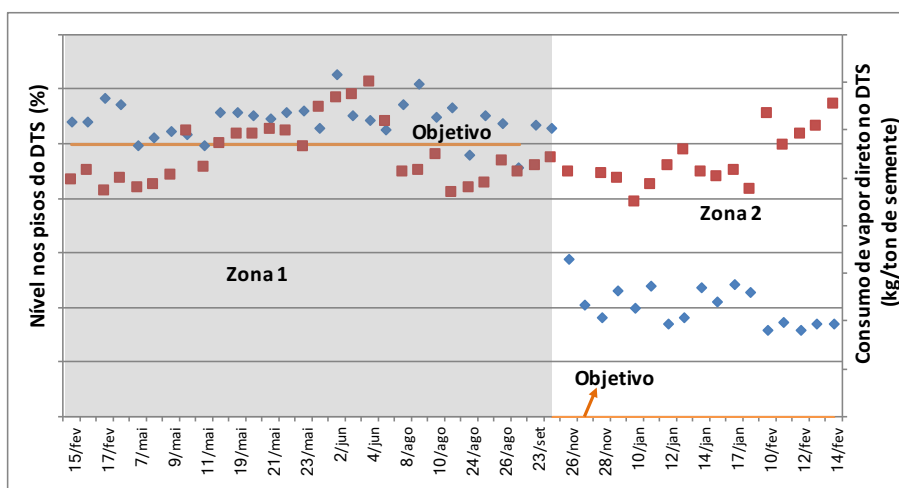


Figura 5.26: Variação do nível dos primeiro pisos do DTS (pontos a azul) e do consumo de vapor direto no mesmo equipamento (pontos a vermelho), para a laboração com soja, antes e depois da introdução da nova metodologia. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

Ao analisar os dados correspondentes aos níveis percebe-se que a norma foi cumprida de forma mais rigorosa aquando do processamento da semente de colza, sendo que os desvios ao objetivo são apenas provocados por um dos níveis, esse nível apresenta sempre valores mais elevados devido à falta de lubrificação do braço que regula o material. No caso da soja é mais difícil manter os pisos vazios devido a duas razões, a primeira e principal razão prende-se pelo facto de os caudais utilizados no processamento de soja serem, aproximadamente, duas vezes mais elevados do que os de colza, a segunda razão tem que ver com a própria semente. A farinha de soja apresenta um diâmetro superior de partículas e pode formar aglomerados que impedem a passagem por entre as comportas dos pratos.

Olhando para a Figura 5.25, depreende-se que a nova metodologia apresentou os resultados esperados, ou seja, houve uma diminuição do consumo de vapor direto pelo DTS. Relativamente à dessolventização da soja, Figura 5.26, a redução do consumo de vapor direto não foi tão demarcada, no entanto, na Figura 5.27, é percetível que a diminuição do nível médio leva a uma ligeira diminuição do consumo de vapor direto. Note-se que não será avaliado o consumo de vapor indireto no equipamento devido a uma avaria no contador.

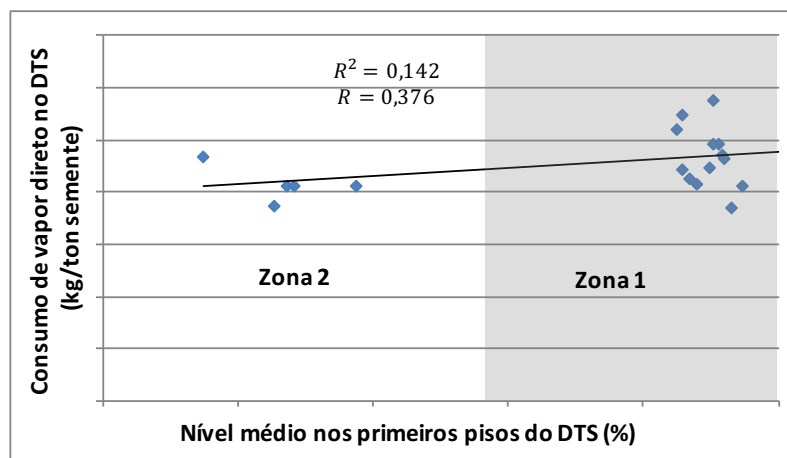


Figura 5.27: Influência do nível médio dos primeiros pisos do DTS no consumo de vapor direto, para o processamento de soja. Dados correspondentes a um caudal e temperatura no topo do DTS constantes. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

Ainda durante a terceira etapa do ciclo SDCA, foi também avaliado o comportamento assumido para os restantes pisos do DTS. Os gráficos referentes à variação dos níveis nos restantes pisos do DTS encontram-se no Anexo VII.

Ao estudar a variação dos restantes níveis percebeu-se que a nova norma não foi cumprida na sua totalidade, dado que, ao reduzir o nível da camada nos primeiros pisos houve também uma redução do nível nos outros pisos, o que não estava estipulado na norma. Posto isto foi necessário avaliar qual o impacto tido no residual de hexano na farinha, à

saída da zona de dessolventização do DTS, completando assim a última etapa do ciclo de normalização e iniciando a primeira do ciclo de melhoria. Na Figura 5.28 está representada a influência do nível médio nos pisos correspondentes à zona de dessolventização no residual de hexano.

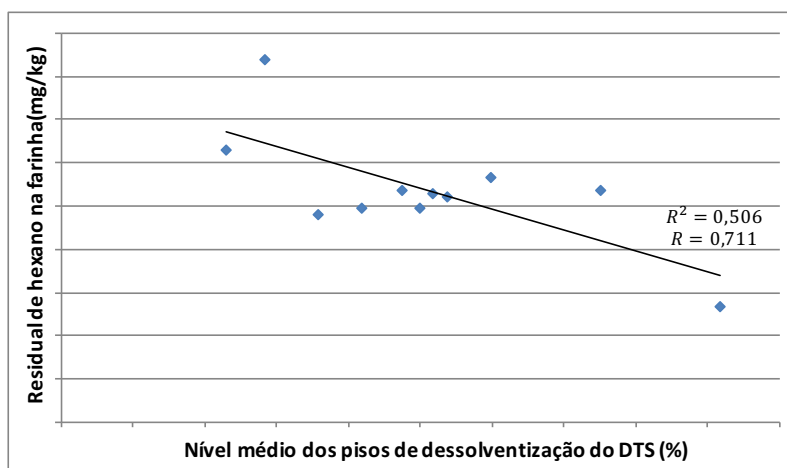


Figura 5.28: Influência do nível médio dos pisos de dessolventização do DTS no residual de hexano na farinha ao abandonar os mesmos, para o processamento de soja. Dados correspondentes a um caudal constante. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

É nítido que a diminuição do nível nos pisos de dessolventização provoca um aumento do residual de hexano na farinha. É ainda importante referir que os menores valores de residual correspondem a níveis superiores àqueles inicialmente tomados como objetivo. Posto tudo isto, é importante criar um outro procedimento para a laboração dos pisos do DTS, onde para além de se utilizar os primeiros pisos vazios, se trabalhe com os níveis dos pisos de dessolventização mais elevados.

Finda a etapa de planeamento do ciclo PDCA, iniciou-se a fase de execução do planeado anteriormente. Nas Figuras VI.3 e VI.4 a zona a sombreado denominada de "Zona 3" corresponde à execução da segunda etapa do ciclo de melhoria. É importante que se dê continuidade ao ciclo de melhoria, continuando durante mais algum tempo a laborar segundo a nova metodologia e que, depois de existirem dados suficientes, se avalie as melhorias trazidas pela mesma. Ao detetar melhorias é importante que se implemente um novo ciclo SDCA, para consolidar os métodos de trabalho.

5.5.2 Temperatura dos gases no topo do DTS

Tal como já foi referido em 5.5, a temperatura dos gases à saída do DTS é um ótimo indicador da eficácia da dessolventização, oferecendo ainda informações acerca do consumo de vapor no equipamento.

Tendo em conta os valores teóricos que esta variável deve apresentar e o processo de dessolventização da fábrica em estudo, nomeadamente no que toca à estabilidade do

sistema de gases, foi definido o intervalo de conformidade apresentado nas Figuras VII.1 e VII.2. Ao analisar as figuras, depreende-se que o intervalo considerado é ligeiramente superior ao definido teoricamente, no entanto, só desta forma se consegue assegurar que não existem perdas de hexano significativas e que a estabilidade é mantida.

Ainda relativamente à Figura VII.1, alusiva ao processamento de colza, facilmente se observa que a temperatura se encontra muito deslocada para o limite superior, sendo que 78% dos dados estão acima do objetivo e 42% chegam mesmo a ultrapassar o limite imposto como máximo.

A Figura VII.2, que retrata a variação da temperatura no topo do DTS aquando da dessolventização de soja, mostra que 17% dos dados estão para lá da linha do objetivo.

Perante tais análises é necessário avaliar se está a ser utilizado um excesso de vapor direto no DTS, ou se de facto é necessário operar com temperaturas tão elevadas. Para tal, nas Figuras 5.29 e 5.30, encontra-se a representação gráfica da variação do vapor direto utilizado no DTS e o caudal de semente laborado, para ambas as sementes.

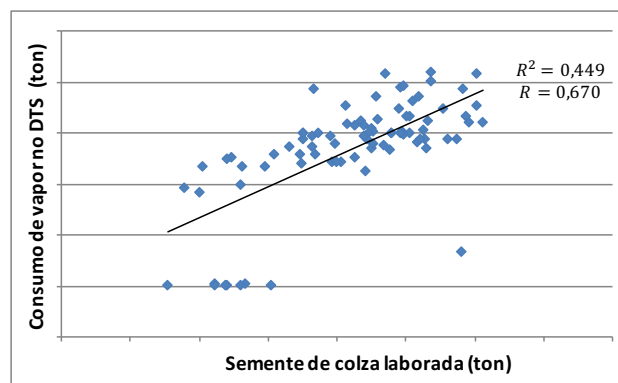


Figura 5.29: Relação entre a quantidade de semente de colza laborada e o consumo de vapor direto no DTS. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

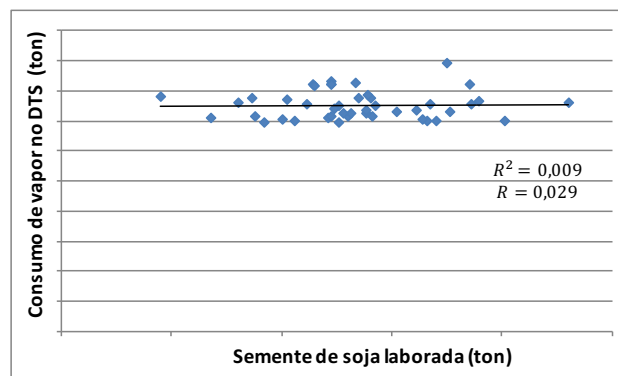


Figura 5.30: Relação entre a quantidade de semente de soja laborada e o consumo de vapor direto no DTS. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

As Figuras 5.29 e 5.30 comprovam a existência de um excesso de vapor direto no DTS quando em laboração de soja, dado que o aumento de quantidade de sementes a dessolventizar não provoca um aumento de vapor, ou seja, não é necessário aumentar a quantidade de vapor em função da quantidade de semente pois o vapor já se encontra em excesso.

Quando confrontados com tais factos, a explicação encontrada pelos operadores para o facto da temperatura ser tão elevada foi a inexistência de automação na válvula que admite vapor direto ao equipamento. Isto é, se por algum motivo verificarem que a temperatura está a baixar, para valores que comprometam a eficácia da dessolventização, terão de introduzir o valor da abertura da válvula manualmente, não tendo sensibilidade suficiente para saber se aumentaram o suficiente ou em demasia. Muitas vezes o que acontece ao regularem a abertura da válvula é que a temperatura ultrapassa a temperatura objetivo e, como não há automatização, só voltam a regular a abertura quando voltarem a verificar a temperatura. Tendo em conta tal explicação, é meritório que se avalie a possibilidade de substituição da válvula de controlo referente ao mecanismo de automação entre a temperatura no topo do DTS e a abertura da válvula que admite vapor direto ao equipamento, possibilitando a diminuição do intervalo considerado e, conseqüentemente a redução do consumo de vapor, dado existir uma tendência linear positiva entre ambas as variáveis, tal como mostrado nas Figuras 5.31 e 5.32.

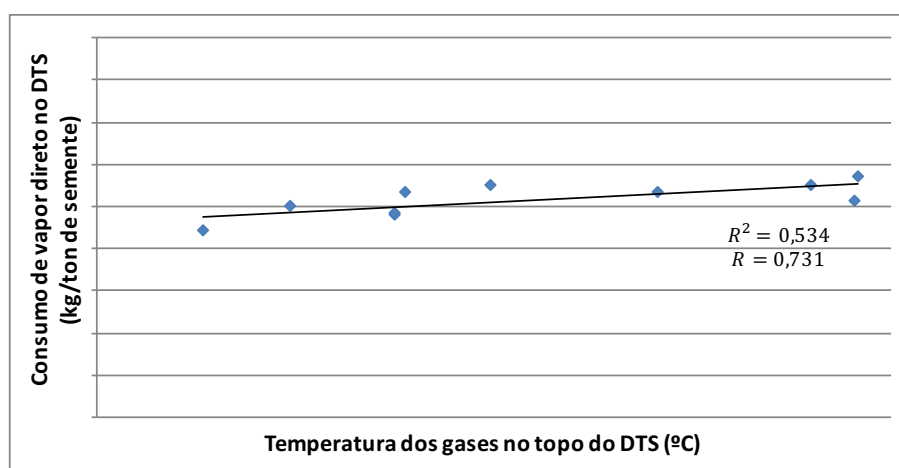


Figura 5.31: Relação entre a temperatura dos gases no topo do DTS o consumo de vapor direto no equipamento, aquando da dessolventização de colza. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

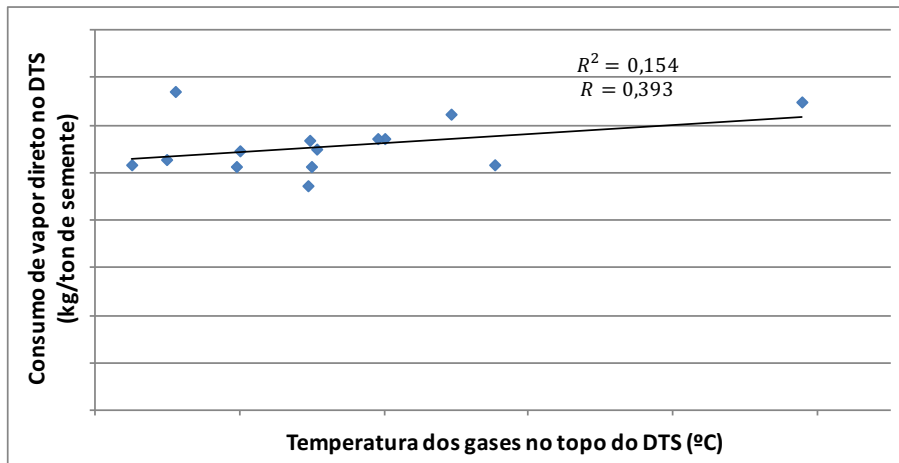


Figura 5.32: Relação entre a temperatura dos gases no topo do DTS o consumo de vapor direto no equipamento, aquando da dessolventização de soja. Por razões de confidencialidade os valores dos respetivos eixos foram omitidos.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

A eficácia da filosofia *Kaizen* já foi comprovada inúmeras vezes, nomeadamente no que toca à rentabilização do espaço de trabalho, organização da equipa, normalização dos processos e resolução estruturada de problemas. De entre todos os aspetos desta filosofia que visa a melhoria contínua, a normalização de processos é aquela que irá proporcionar o maior número de vantagens sem que sejam necessários investimentos monetários, no entanto, é também aquela que menos vezes é aplicada.

A introdução de normalização nas secções de preparação de sementes e extração de óleo vegetais prendia-se essencialmente pela necessidade de redução da variabilidade e pela complexidade dos processos, razão que dificultava e tornava morosa a aprendizagem e integração de novos membros da equipa.

Aquando da realização das normas foram encontradas algumas incongruências relativamente à realização de determinadas tarefas, sendo a mais relevante a forma como deveriam operar os condicionadores. Foi ainda mostrado, por parte dos operadores, um desconhecimento da melhor prática para a realização da rotina. Perante os diferentes modos de trabalho foi necessário o recurso a reuniões de *brainstorming*, regra dos 5 porquês e a diagramas de *Ishikawa* para definir qual era de facto a melhor prática a seguir, sendo que todos os membros da equipa de trabalho foram integrados na decisão.

Após a sequenciação das tarefas a cumprir por cada operador, foi também introduzido nos documentos normativos possíveis desvios à normalidade e qual a melhor, e mais segura, forma de agir perante tal desvio. Para que nas normas constasse de facto a melhor forma de agir recorreu-se novamente a ferramentas da qualidade.

Dada por terminada a etapa da escrita, os documentos foram sujeitos à aprovação e correção das equipas de trabalho e do chefe de fábrica. Propõem-se então que as 22 normas (subdivididas em 6 documento principais) sejam codificadas e inseridas no sistema de Qualidade e Segurança para que fiquem acessíveis a todos os trabalhadores da

empresa. Após a codificação e disponibilização dos documentos é ainda muito importante que ocorra a consciencialização dos operados para a prática da rotina segundo as normas, esta abordagem já foi iniciada no decorrer do projeto, no entanto, necessita de ser consolidada, uma vez que, é essencial que se comece a operar de acordo com o definido nas normas, por forma a que se reduza a variabilidade e se siga o *modus operandi* mais seguro possível, evitando lesões e, conseqüentemente, reduzindo custos.

Concluída a etapa de normalização, foi imperativo verificar os documentos oficiais relativos às variáveis dos processos em estudo, de maneira a garantir a coerência entre os documentos já codificados e as normas criadas. Da comparação com o documento oficial concluiu-se que, aproximadamente, 9% das variáveis relativas às secções em estudo apresentavam valores de intervalos de conformidade diferentes daqueles propostos nas normas. Perante tal inconsistência considerou-se meritório uma análise mais alargada às variáveis operatórias, nomeadamente, no que diz respeito ao seu comportamento ao longo do tempo e cumprimento de objetivos/intervalos de conformidade.

De um total de 82 variáveis analisadas, verificou-se que 33% estavam fora de conformidade, sendo que, 12 delas estavam classificadas como "importante". De entre as variáveis que não se encontravam dentro da conformidade, para 19 delas foi proposto um novo intervalo, por oposição, para as restantes 8 variáveis não era vantajoso a atribuição de um novo intervalo, visto ser importante agir corretivamente para colocar tais variáveis dentro dos limites já definidos. Perante os novos intervalos propostos, propõe-se agora a uma avaliação por parte dos responsáveis das secções e do departamento de qualidade e segurança, de forma a que os valores sejam atualizados no documento oficial, mantendo a coerência.

Tendo em conta que muitas variáveis se encontravam para lá dos limites, o que poderia afetar o rendimento da extração, foram analisadas com maior detalhe variáveis relativas aos equipamentos de maior destaque na secção de extração, dado os defeitos de preparação se mostrarem desprezáveis.

Relativamente ao extrator, foi possível confirmar que o rendimento da extração mecânica irá afetar bastante o rendimento da extração química do óleo de colza, visto existir um aumento de 0,11% do residual de óleo nas sementes à saída do extrator à medida que se introduz mais 1% de óleo no extrator.

Ao avaliar a velocidade do extrator foi novamente comprovado que a prensa se apresenta como um *bottleneck* do processo, visto ser necessária a redução da velocidade do extrator para manter a altura da camada dentro da conformidade, para a laboração de colza. Ainda durante a análise da velocidade do extrator, foi verificado que, ao manter o mesmo caudal, o rendimento da extração química diminuía há medida que se aumentava a velocidade do equipamento, isto acontece porque o aumento da velocidade leva a uma diminuição do tempo de extração, não permitindo que se atinja o equilíbrio entre a miscela e o óleo no interior das sementes.

Da análise de variáveis do extrator concluiu-se ainda que se deveriam realizar testes

industriais para comprovar a diminuição do residual de hexano nas sementes ao abandonarem o extrator ao operar com um camada de sólidos mais baixa no equipamento de extração.

Foi ainda analisada a importância da temperatura de extração no rendimento de óleo, tendo sido concluído que se deverá aumentar a temperatura das sementes e do hexano à entrada do extrator, o que permitirá um menor residual de óleo no final da extração química. Tal aumento será possibilitado graças às otimizações realizadas na recuperação final de gases, permitindo manter a depressão do sistema e, conseqüentemente, a estabilidade dos gases.

Do estudo das variáveis operatórias, considera-se ainda meritório que reavie as condições de ventilação dos condicionadores, nomeadamente, a necessidade de investimento de novos ventiladores, visto ter sido provado que a humidade das sementes de colza prejudica não só a extração mecânica, como também o rendimento no extrator e a dessolventização das sementes.

Aquando da realização do projeto foi implementado um ciclo SDCA aos níveis do DTS, tendo ficado provado a eficácia na redução de vapor direto ao laborar com os pisos de pré-dessolventização praticamente vazios. Iniciou-se ainda a implementação de um ciclo PDCA, dado ter sido encontrada uma possibilidade de melhoria no residual de hexano ao aumentar os níveis dos pisos de dessolventização. É importante que se continue o ciclo de melhoria e, caso seja provada a eficácia do mesmo, se aplique um novo ciclo SDCA, e assim sucessivamente procurando sempre a melhor prática possível.

Por último, foi também estudado o efeito da temperatura dos gases no topo do DTS no consumo de vapor direto. Foi verificado que existe um excesso de vapor direto principalmente na laboração de soja, situação que poderá ser corrigida através da automatização da válvula que admite vapor direto ao DTS com a temperatura dos gases. Posto isto, considera-se imperativo uma avaliação económica que prove ou refute a necessidade de investimento na substituição da válvula em questão.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *World Biodiesel Consumption by Year*. Disponível em <https://www.indexmundi.com/energy/?product=biodiesel>. Acedido a 16-10-2017.
- [2] “Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho”. Em: *Jornal Oficial da União Europeia* (abr. de 2009). Disponível em <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/pt/eu/eu212pt.pdf>. Acedido em 16-10-2017, pp. 16 –62.
- [3] C. Glystra. “World biodiesel production/consumption to rise 14% by 2020: OECD/FAO”. Disponível em <https://www.platts.com/latest-news/agriculture/london/world-biodiesel-productionconsumption-to-rise-26485632>. Acedido a 10-11-2017.
- [4] FAO. “OECD-FAO Agricultural Outlook 2014-2023”. Disponível em <http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryId=58648&vh=0000&vf=0&l&i1=&lang=en>. Acedido a 10-11-2017.
- [5] J. Bradury. “Kaizen Benefits”. Disponível em <https://www.graphicproducts.com/articles/kaizen-benefits/>. Acedido a 29-11-2017.
- [6] *Ancient Oils*. Disponível em <http://thespiritscience.net/2016/08/21/ancient-oils-3-ways-the-egyptians-used-essential-oils/>. Acedido a 12-12-2017.
- [7] K. K. Hirst. “The Ancient History of Making Olive Oil”. Disponível em <https://www.thoughtco.com/ancient-history-of-making-olive-oil-4047748>. Acedido a 12-12-2017.
- [8] T. kemper. *Bayley’s Industrial Oil and Fat Products*. Sixth. John Wiley Sons, Inc., 2005. ISBN: 0-471-38546-8.
- [9] U.S. Energy Information Administration. “Monthly Biodiesel Production Report”. s: <http://www.eia.gov/biofuels/biodiesel/production>. Acedido em 10-11-2017.
- [10] F. Shahidi. *Canola and Rapeseed - Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology*. First. Van Nostrand Reinhold, 1990. ISBN: 978-1-4613-6744-4.
- [11] *Canola Council of Canada*. “Canola Grower’s Manual”. Disponível em [https://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower’s-manual-contents](https://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower-s-manual-contents). Acedido a 05-12-2017.

- [12] “Canola/Colza: alternativas de inverno com perspectiva de produção de óleo comestível e energético”. Em: *Pelotas: Embrapa-CPATB* (1992). Disponível em www.cnpt.embrapa.br, p. 46.
- [13] *Index Mundi*. “Rapeseed Production by Country”. Disponível em <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=rapeseed-oil&graph=production>. Acedido a 16-10-2017.
- [14] *Welch, Holme e Clark*. “Rapeseed Oil”. Disponível em <http://whc-oils.com/refined-rapeseed-oil.html>. Acedido a 04-12-2017.
- [15] B. McKeivith. “Nutritional aspects of oilseeds”. Em: *British Nutrition Foundation* (2005), pp. 13–14.
- [16] L. Johnson, P. White e R. Galloway. *Soybeans: Chemistry, Production, Processing and Utilization*. AOCS Press, 2008. ISBN: 978-1-893997-64-6.
- [17] *AproSoja*. “A História da Soja”. Disponível em <http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/a-historia-da-soja/>. Acedido a 05-12-2017.
- [18] W. Shurtleff e A. Aoyagi. *History of Soybean Crushing - Soy Oil and Soybean Meal (1980-2016)*. Soyinfo Cente, 2016. ISBN: 978-1-928914-89-1.
- [19] *Sindicato da Industria do Milho, Soja e os seus derivados*. “Soja e as suas riquezas”. Disponível em <http://www.fiesp.com/sindmilho/sobre-o-sindmilho/curiosidades/soja-e-suas-riquezas-historia/>. Acedido a 05-12-2017.
- [20] *World Initiative for soy in human health*. “Composition of Soy”. Disponível em <http://www.wishh.org/soy-resources/about-soy/soystats-publication/>. Acedido a 05-12-2017.
- [21] J. Martin. “Everything you ever wanted to know about biodiesel”. Disponível em <http://blog.ucsusa.org/jeremy-martin/all-about-biodiesel>. Acedido a 10-11-2017.
- [22] *IndexMundi*. “Soybean Production by Country”. Disponível em <https://www.indexmundi.com/Agriculture/?commodity=soybean-oilseed&graph=production>. Acedido a 16-10-2017.
- [23] M. Knot. “Nuevos desarrollos en la molienda de semillas oleaginosas”. Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 347 –355.
- [24] H. Schumacher. “Preparación de porotos de soja previa a la extracción por solvente”. Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 356 –361.
- [25] W. Mulder. *Advanced Oil Crop Biorefineries*. Royal Society of Chemistry, 2012. ISBN: 978-1-84973-135-5.
- [26] W. Fetzer. “Planta de preparación de semillas combinadas”. Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 362 –367.

- [27] B. Matthaus. "Oil Technology". Em: *Technological Innovatins in Major World Oil Crops* (2012), pp. 23–88.
- [28] W. Fetzer. "Separación de grasas y aceites por extracción por solvente: Métodos no tradicionales". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 505 –515.
- [29] *Nutrição animal - Fatores antinutricionais*. Disponível em <https://sites.google.com/site/nutricaoanimaluesc/home/extra/segundo-credito/05---fatores-antinutricionais>. Acedido a 04-01-2018.
- [30] E. Both, J. Daun, B. McDonald e D. Rousseau. *Rapeseed and Canola Oil: Production, Processing, Properties and Uses*. CRC Press LLC, 2004. ISBN: 0-8493-2364-9.
- [31] S. Pedrotti e F. Boling. "Uso de los expanders en la preparación moderna de la soja". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 489 –492.
- [32] M. Williams. "Preparación por extrusión para la extracción de aceite". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 484–488.
- [33] M Williams. "Using expanders to improve extractibility". Em: *INFORM 1* (1990), pp. 959–969.
- [34] M. Carletti. "Prensado Mecánico - Evolución, principios operativos, elementos constituyentes de las prensas y mantenimiento". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 440–447.
- [35] M. Matte. "Fundamentos sobre el prensado de semillas oleaginosas". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 428–431.
- [36] J. Ward. "Extraction Processes - Pre-Pressing of Oil from Rapeseed and Sunflower". Em: *73º AOCs Annual Meeting* (1980), pp. 1358 –1361.
- [37] M. Rataus. "La extracción por solvente". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 495–504.
- [38] R. W. Rousseau. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley Sons, Inc., 1987. ISBN: 0-471-89558-X.
- [39] M. Bockisch. *Fats and oils Handbook*. AOCS PRESS, 1998. ISBN: 978-0-9818936-0-0.
- [40] *Soyfoods Association of North America*. "Hexane extraction in soyfood processing". Disponível em <http://www.soyfoods.org/wp-content/uploads/Regulatory%20Expert%20Document-Barry%20Swanson%20revised.pdf>. Acedido a 05-02-2018.
- [41] G. D. Brueske. "Processos de separación de aceite/harina". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 533–542.
- [42] M. Knott. "Desolventización y acabado de harinas". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 566–571.

- [43] T. G. Kemper. "Meal Desolventizing, Toasting, Drying and Cooling". Disponível em <http://lipidlibrary.aocs.org/OilsFats/content.cfm?ItemNumber=40327>. Acedido a 20-12-2017.
- [44] Killam's Consulting. "Desolventizer-Toaster". Disponível em <http://killamsconsulting.com/desolventizer-toaster/>. Acedido a 20-12-2017.
- [45] J. Kramer. *High and Low Erucic Acid in Rapeseed Oils*. Academic Pres, 1983. ISBN: 978-0-3231380-17.
- [46] M. Wegner. "Optimización de circuitos de recuperación de solvente". Em: *Libro de Oro de AG - 10º Aniversario* (2000), pp. 598–605.
- [47] M. Míkva, V. Prajovaa, B. Yakimovichb, A. Korshunovb e I. Tyurin. "Standardization - one of the tools of continuous improvement". Em: *Procedia Engineering* (2016), pp. 329 –332.
- [48] E. Pinto. "Kaizen como filosofia de Melhoria Contínua na Direção de Serviços Administrativos da SONAE". Tese de mestrado. Porto: Instituto Politécnico do Porto, 2015.
- [49] Kaizen Institute. "Riber Alves aposta no método Kaizen para otimizar fábrica". Disponível em <http://pt.kaizen.com/publications/news/2014/08/newsletter-23.html#riberalves>. Acedido a 11-02-2018.
- [50] J. B. Félix. "Uma metodologia Kaizen para a gestão de equipas operacionais". Tese de mestrado. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [51] A. Bayo-Miriones, A. Bello-Pintado e J. De Cerio. "5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance". Em: *International Journal of Quality Reliability Management* (2010), pp. 217 –230.
- [52] L. Paulise. "Implementing the 5S Methodology: The first steps toward workplace efficiency". Disponível em <https://www.simplilearn.com/implementing-5s-methodology-to-achieve-workplace-efficiency-article>. Acedido a 12-02-2018.
- [53] Kaizen Institute. "4 levels of daily kaizen: Part I of II". Disponível em <https://afr.kaizen.com/blog/post/2016/03/05/4-levels-of-daily-kaizen-part-i-of-ii.html>. Acedido a 15-11-2017.
- [54] C. C. Pontes. "Segurança no trabalho". Disponível em <https://www.slideshare.net/claudioPontes2/segurana-do-trabalho-mdulo-i-d>. Acedido a 12-02-2018.
- [55] ABIMAQ. "Normalização". Disponível em <http://www.abimaq.org/site.aspx/Normalizacao>. Acedido a 15-11-2017.
- [56] Kaizen Institute. "SDCA before you PDCA". Disponível em <https://in.kaizen.com/blog/post/2015/05/05/sdca-before-you-do-pdca.html>. Acedido a 15-11-2017.

-
- [57] KaiNexus. "Gemba Walks". Disponível em <https://www.kainexus.com/improvement-disciplines/lean/gemba-walks>. Acedido a 19-12-2017.
- [58] KaiNexus. "11 Steps to an Effective Gemba Walks". Disponível em <https://blog.kainexus.com/improvement-disciplines/lean/gemba-walks/11-steps-to-an-effective-gemba-walk>. Acedido a 19-12-2017.
- [59] A.S. Bedi e N. Puri. "Implementing Lean Techniques in India". Disponível em <http://www.coolavenues.com/know/ops/c23.php>. Acedido a 12-02-2018.
- [60] Kaizen Institute. "CIN otimiza linha de enchimento e aumenta produtividade em 20%". Disponível em <https://pt.kaizen.com/publications/news/2016/03/newsletter-26.html#cin>. Acedido a 12-02-2018.
- [61] Siemens. "WinCC/IndustrialDataBridge". Disponível em <http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/scada-software/scada-options/wincc-industrial-data-bridge/pages/default.aspx>. Acedido a 18-02-2018.