



---

**ValorNatural** – Valorização de Recursos Naturais através da Extração de Ingredientes de Elevado Valor Acrescentado para Aplicações na Indústria Alimentar

---

## Entregável nº 8.4.7

**Versão do Documento: 1**

**Data de Submissão: 31/08/2021**

**Responsável: ISQ**

**Nome do Documento: Relatório de avaliação do custo de ciclo de vida**

### Histórico de Revisão

Revisão	Data	Parceiros Envolvidos	Descrição

**Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (SI & DT)  
Programas Mobilizadores**

Cofinanciado por:



## **Lista de autores**

José Atilano

Luís Oliveira

Sara Campos

Sara Pinto

Bruna Moura

Helena Monteiro

## Sumário

O presente Entregável 8.4.7 – Relatório de avaliação do custo de ciclo de vida, apresenta o estudo de desempenho económico dos aditivos alimentares de origem natural (corantes, aromas e bioativos) desenvolvido, no âmbito Projeto ValorNatural®, e identificados como tendo maior potencial de aplicação. Este estudo aplica a metodologia de *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), previamente selecionada e descrita no Entregável 8.4.4., e identifica, para cada aditivo, o custo de produção, distinguindo entre custo aproveitado e não aproveitado.

Os cenários em estudo, relativos aos aditivos alimentares de origem natural, são inicialmente apresentados, bem como as atualizações de dados de inventário e a descrição dos seus processos produtivos à escala laboratorial. Através da aplicação do MFCA obtiveram-se os custos de produção para 1 g de cada extrato. Nos casos em que há recuperação de solventes foi calculado o custo inicial do extrato sem incorporação do solvente recuperado (1ª iteração), bem como o custo de produção com incorporação do solvente recuperado (2ª iteração). Assim, relativamente aos corantes naturais analisados, os custos de produção identificados são os seguintes (2ª iteração): corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L. (3,14 €/g), corante à base de *Sambucus Nigra* L. (0,39 €/g), corante à base de *Gomphrena Globosa* (5,95 €/g), corante à base de *Bixa Orellana* L. (81,16 €/g), corante à base de *Curcuma Longa* L sem encapsulação (41,62 €/g) e com encapsulação (3,56 €/g). No que diz respeito aos bioativos naturais identificaram-se os seguintes custos de produção: extrato enriquecido em micosteróis nomeadamente, ergosterol (1,24 €/g), e o extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, considerando dois métodos de produção (Cenário 1: 1,97 €/g e Cenário 2: 8,03 €/g). Relativamente aos aromas diferentes custos de produção foram obtidos para extratos aromáticos à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada obtidos através dos processos de extração com CO<sub>2</sub> supercrítico (fresca: 12,13 €/g ; desidratada: 22,14 €/g), com liofilização do hidrolato (fresca: 197,69 €/g ; desidratada: 120,83 €/g) e de hidrodestilação sem aproveitamento do hidrolato (fresca: 15,48 €/g ; desidratada: 33,69 €/g)

Para uma melhor compreensão dos custos associados aos desperdícios ao longo de cada um dos processos extrativos, elaborou-se uma análise comparativa dos custos de cada produção. Após esta análise, verificou-se que o óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca, obtido a partir do processo de hidrodestilação, é o processo com maior custo desperdiçado, o que indica a necessidade de medidas de melhoria.

No âmbito do projeto ValorNatural®, o MFCA foi utilizado a uma escala laboratorial, o que traduz que os resultados estão representados uma escala de produção reduzida. Quando utilizados valores referentes a escalas de produção maiores (i.e.: escala piloto, escala industrial), poderão ser obtidos resultados de MFCA diferentes carecendo, por isso, estas escalas de estudos futuros adequados.

## Índice

<b>1. Introdução</b> .....	10
<b>2. Metodologia</b> .....	11
<b>3. Descrição do Sistema em Estudo</b> .....	14
I. Extrato corante à base de <i>Hibiscus Sabdariffa</i> L. ....	15
II. Extrato corante à base de <i>Sambucus Nigra</i> L. ....	17
III. Extrato corante à base de <i>Gomphrena Globosa</i> L. ....	19
IV. Extrato corante à base de <i>Bixa Orellana</i> L. ....	21
V. Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. ....	23
VI. Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. encapsulado .....	25
VII. Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. fresca e desidratada .....	27
i. Cenário A .....	27
ii. Cenário B .....	29
iii. Cenário C .....	32
VIII. Extrato enriquecido com micosteróis .....	34
IX. Extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> .....	36
i. Cenário 1 .....	36
ii. Cenário 2 .....	39
<b>4. Resultados</b> .....	41
I. Extrato corante à base de <i>Hibiscus Sabdariffa</i> L. ....	41
II. Extrato corante à base de <i>Sambucus Nigra</i> L. ....	44
III. Extrato corante à base de <i>Gomphrena Globosa</i> L. ....	45
IV. Extrato corante à base de <i>Bixa Orellana</i> L. ....	46
V. Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. ....	49
VI. Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. encapsulado .....	51
VII. Extrato aromático à base <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. fresca e desidratada.....	53
i. Cenário A .....	53
ii. Cenário B .....	54
iii. Cenário C .....	56
VIII. Extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol .....	58
IX. Extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> .....	60
i. Cenário 1 .....	60
ii. Cenário 2 .....	63
X. Discussão e análise crítica .....	65
<b>5. Conclusões</b> .....	71
<b>6. Referências</b> .....	73

**Identificação**

<b>Entregável</b>	8.4.7, Relatório de avaliação do custo de ciclo de vida
<b>Tipo de entregável</b>	Relatório
<b>Nível de disseminação</b>	Confidencial
<b>PPS</b>	PPS8 – Disseminação de informação e exploração de resultados

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Identificação dos aditivos alimentar de origem natural em estudo. ....	11
Tabela 2 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato corante à base de Hibiscus Sabdariffa L. UF:1g de extrato.....	16
Tabela 3 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato corante à base de Sambucus Nigra L. UF: 1g de extrato. ....	18
Tabela 4 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato corante à base de Gomphrena Globosa L. UF: 1g de extrato.....	20
Tabela 5 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato corante à base de Bixa Orellana L. UF: 1g de extrato.....	22
Tabela 6 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato corante à base de Curcuma Longa L. UF: 1g de extrato. ....	24
Tabela 7 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato corante à base de Curcuma Longa L. encapsulado. UF: 1g de extrato.....	26
Tabela 8 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato aromático à base de Rosmarinus Officinallis L. fresca. UF: 1g de extrato.....	29
Tabela 9 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato aromático à base de Rosmarinus Officinallis L. desidratada. UF: 1g de extrato. ....	29
Tabela 10- Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo de hidrolato de Rosmarinus Officinallis L. fresca. UF: 1g de extrato.....	31
Tabela 11 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo de hidrolato de Rosmarinus Officinallis L. desidratada. UF: 1g de extrato. ....	31
Tabela 12 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo essencial de Rosmarinus Officinallis L. fresca. UF: 1g de extrato.....	33
Tabela 13 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo essencial de Rosmarinus Officinallis L. desidratada. UF: 1g de extrato. ....	33
Tabela 14 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato enriquecido em Micosteróis. UF: 1g de extrato.....	35
Tabela 15 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> – Cenário 1. UF: 1g de extrato.....	38
Tabela 16 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> – 2º método. UF: 1g de extrato.....	40
Tabela 17 - Resumo dos custos associados a cada uma das produções.....	66

## Índice de Figuras

Figura 1 - Modelo da folha de Excel desenvolvida para aplicação do MFCA.....	13
Figura 2 - Produção do Extrato corante à base de Hibiscus Sabdariffa L. - Mapa do fluxo dos materiais.....	15
Figura 3 - Produção do Extrato corante à base de Sambucus Nigra L. - Mapa do fluxo dos materiais.....	17
Figura 4 - Produção do Extrato corante à base de Gomphrena Globosa L. - Mapa do fluxo dos materiais.....	19
Figura 5 - Produção do Extrato corante à base de Bixa Orellana L. - Mapa do fluxo dos materiais.....	21
Figura 6 - Produção do Extrato corante à base de Curcuma Longa L. - Mapa do fluxo dos materiais.....	23
Figura 7 - Produção do Extrato corante à base de Curcuma Longa L. encapsulado - Mapa do fluxo dos materiais.....	25
Figura 8- Produção do Extrato aromático à base de Rosmarinus Officinallis L. fresca e desidratada - Mapa do fluxo dos materiais (Cenário A). ....	28
Figura 9- Produção dos óleos de hidrolato de Rosmarinus Officinallis L. fresca e desidratada - Mapa do fluxo dos materiais (Cenário B).....	30
Figura 10- Produção dos óleos essenciais de Rosmarinus Officinallis L. fresca e desidratada - Mapa do fluxo dos materiais (Cenário C).....	32
Figura 11 - Produção do extrato enriquecido em Micosteróis - Mapa do fluxo dos materiais. .	34
Figura 12- Produção do extrato enriquecido em Vitamina D2 – Cenário 1 - Mapa do fluxo dos materiais.....	37
Figura 13 - Produção do extrato enriquecido em Vitamina D2 – Cenário 2 - Mapa do fluxo dos materiais.....	39
Figura 14 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Hibiscus Sabdariffa L. ....	42
Figura 15 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato corante à base de Hibiscus Sabdariffa L.....	43
Figura 16 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Sambucus Nigra L.....	44
Figura 17 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Gomphrena Globosa L. ....	45
Figura 18 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Bixa Orellana L. ....	47
Figura 19 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato corante à base de Bixa Orellana L. ....	48
Figura 20 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Curcuma Longa L.....	50
Figura 21 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato corante à base de Curcuma longa L. ....	50
Figura 22 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Curcuma Longa L. encapsulado. ...	52
Figura 23 - Aplicação do MFCA - Extrato aromático à base de Rosmarinus Officinallis L. fresca e desidratada. ....	54
Figura 24 - Aplicação do MFCA – Extrato aromático à base de R. officinalis – fresca e desidratada (Cenário B).....	56
Figura 25 - Aplicação do MFCA - Óleos essenciais (extrato) de R. officinalis L. fresca e desidratada (Cenário C).....	57
Figura 26 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em micosteróis.....	59
Figura 27 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato enriquecido em micosteróis.....	59



Figura 28 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 1). .....	61
Figura 29 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em vitamina D <sub>2</sub> – 1º método.....	61
Figura 30 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 1). .....	62
Figura 31 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 2). .....	64
Figura 32 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 2). .....	64
Figura 33 - Representação do gráfico radar correspondente aos custos aproveitado, não aproveitado e armazenado de todas as produções. ....	66
Figura 34 - Representação dos gráficos radar correspondentes aos custos não aproveitados relacionados com os processos associados a cada uma das produções. ....	68

## 1. Introdução

O interesse pelo uso de aditivos alimentares tem aumentado exponencialmente nos últimos anos, em parte motivado por uma indústria que necessita de melhorar o tempo de prateleira dos seus produtos, bem como torná-los mais apelativos para um consumidor cada vez mais exigente. Com a crescente “pressão para alcançar maior produtividade com impactes ambientais reduzidos”, as organizações necessitam de acesso a ferramentas que lhes permitam contabilizar todos os *inputs* e *outputs* das suas operações, com vista a apoiar decisões ecoeficientes que, simultaneamente, melhorem o desempenho económico e ambiental.

O presente estudo incide na análise económica dos novos aditivos alimentares de origem natural desenvolvidos no âmbito do projeto mobilizador ValorNatural®. A abordagem metodológica selecionada para este estudo foi o *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), que se encontra apresentada e descrita no Entregável 8.4.4. Com o objetivo de aumentar a produtividade dos recursos e resolver os problemas de desperdício, o MFCA mede o fluxo e *stock* de todos os materiais (como matéria-prima, consumíveis e produtos) no processo de fabrico, tanto em termos monetários como físicos, sendo um instrumento de gestão que promove a utilização eficiente de materiais, uma vez que permite, não só calcular o custo de produção, como distinguir entre custo aproveitado e desperdiçado.

Este documento apresenta a caracterização do desempenho económico dos novos aditivos alimentares e os seus sistemas produtivos numa fase preliminar de desenvolvimento (escala laboratorial), aplicando o MFCA para estudar os aditivos alimentares com maior potencial de aplicação – corantes, aromas e bioativos. O presente entregável (E8.4.7) está estruturado da seguinte forma:

- **Metodologia:** Descreve-se a metodologia abordada neste estudo de uma forma sumária.
- **Descrição do Sistema em Estudo:** Apresenta-se os diagramas dos processos de obtenção de cada um dos extratos com as fronteiras de estudo definidas, bem como com os fluxos de energia e materiais. Aplica-se a metodologia MFCA a cada um dos extratos.
- **Resultados:** Apresenta-se e discute-se os resultados obtidos.

- **Conclusão:** Enumeram-se as principais conclusões do trabalho, incluindo limitações do estudo e sugestões para trabalho futuro.

## 2. Metodologia

A análise MFCA fornece uma comparação equivalente dos custos associados aos produtos e custos associados às perdas materiais (ex.: resíduos e emissões atmosféricas). Para facilitar a implementação, a ISO 14051 [1] propõe várias etapas de implementação desta metodologia.

Os aditivos selecionados e analisados neste estudo foram identificados, por parte dos parceiros dos diferentes PPSs, como sendo aqueles com maior potencial e em estado de desenvolvimento mais avançado. Para esses ingredientes foi recolhida informação para a identificação e caracterização dos sistemas em estudo mediante a entrega de questionários e reuniões subsequentes. Deste modo, obtiveram-se dados relativos à produção dos aditivos alimentares identificados na Tabela 1.

Tabela 1 - Identificação dos aditivos alimentar de origem natural em estudo.

Classe de Aditivo Alimentar	Identificação do Aditivo Alimentar
Corantes naturais	Extrato corante à base de <i>Hibiscus Sabdariffa</i> L. ( <i>H. sabdariffa</i> )
	Extrato corante à base de <i>Sambucus Nigra</i> L. ( <i>S. nigra</i> )
	Extrato corante à base de <i>Gomphrena Globosa</i> L. ( <i>G. globosa</i> )
	Extrato corante à base de <i>Bixa Orellana</i> L. ( <i>B. orellana</i> )
	Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. ( <i>C. longa</i> )
	Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. ( <i>C. longa</i> ) encapsulado
Aromas naturais e modelos de aromas	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinalis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) fresca - por extração com fluido supercrítico – Cenário A
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinalis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) desidratada - obtido por extração com fluido supercrítico – Cenário A
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinalis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) fresca – obtido por hidrodestilação e liofilização do hidrolato – Cenário B
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinalis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) desidratada – obtido por hidrodestilação e liofilização do hidrolato – Cenário B
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinalis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) fresca – obtido por hidrodestilação – Cenário C
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinalis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) desidratada – obtido por hidrodestilação – Cenário C
Bioativos Naturais	Extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol
	Extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (com irradiação UV no início do processo extrativo) – Cenário 1
	Extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (com irradiação UV no fim do processo extrativo) – Cenário 2

Até então, os processos extrativos documentados são realizados a uma escala laboratorial, pelo que o estudo se aplicou a essa escala. Quando os processos forem referentes a uma escala industrial, os resultados poderão ser diferentes. Uma vez que os aditivos desenvolvidos são maioritariamente novos produtos, este estudo permitirá fortalecer o conhecimento referente ao desenvolvimento de aditivos alimentares.

A unidade funcional (UF) selecionada para o estudo foi de 1 g de extrato produzido. Esta permite a comparação equitativa do desempenho económico entre os vários cenários de estudo para cada aditivo.

Com base nos dados recolhidos sobre o fluxo de materiais, é necessário especificar a fronteira do sistema em estudo para compreender claramente a escala da atividade. Neste estudo, a avaliação da performance económica considera a inclusão dos impactes ocorridos desde que a matéria-prima é rececionada, incluindo o seu processamento, até à produção do aditivo alimentar, compreendendo entradas e saídas de material, energia e consumíveis. Contudo, excluem-se as etapas associadas à produção agrícola ou obtenção dos resíduos de origem vegetal e as associadas à incorporação dos aditivos nos produtos alimentares, uma vez que ambas abarcam numa grande incerteza nesta fase do projeto.

Após identificar os processos incluídos, segundo o MFCA, são classificados os centros de quantidade (CQ). O centro de quantidade é uma parte do processo em que as entradas e saídas são quantificadas, e em que geralmente os materiais são processados. Os dados de fluxo de material recolhidos por CQ são traduzidos em unidades monetárias para apoiar a tomada de decisões. Os fluxos desejados e indesejados não carregam apenas o custo do material, uma vez que, cada processo requer a entrada de matéria-prima, consumíveis, energia, transporte, entre outros. O MFCA adiciona todas as informações de custos disponíveis aos dados quantitativos dos fluxos de materiais. Assim, a perda económica pode ser analisada não apenas em relação ao custo do material perdido, mas também incluindo todos os custos de produção. Os resultados fornecidos pelo MFCA podem apoiar um amplo leque de decisões que visam a melhoria do desempenho financeiro e ambiental. Finalmente, de modo a compreender melhor a magnitude e as consequências, os dados devem ser revistos para estudar oportunidades de melhoria dos mesmos.

Neste estudo, ficou definido que cada etapa envolvida na produção de cada extrato seria um CQ. Nesta metodologia, os fluxos de materiais entre CQ do processo são

primeiramente quantificados em unidades físicas e, de seguida, são lhes atribuídos custos. Quanto às unidades físicas, estas relacionam-se com o material em termos de massa e energia e foram fornecidas pelos parceiros. Relativamente às unidades monetárias, estas são divididas em custo de material e custo de energia. Nas subsecções seguintes são descritos os sistemas em análise de cada um dos ingredientes mencionados (Tabela 1).

O mapa de fluxo é o resultado da análise de MFCA: apresenta o fluxo económico baseado nos recursos consumidos em cada centro de quantidade (CQ). O principal objetivo do mapa de fluxo é mapear o valor real dos resíduos e o fluxo económico da produção. Este modelo inclui os recursos utilizados e respetivos custos para avaliar, de uma forma geral, o desempenho económico de todo o sistema de produção.

Neste estudo, procurou-se caracterizar o desempenho económico dos aditivos naturais, incluindo os custos relacionados com energia e materiais necessários para executar a atividade. Os equipamentos utilizados em cada processo não foram contabilizados para esta análise, uma vez que, não foram disponibilizadas informações acerca da vida útil de cada máquina ao mesmo tempo que não se tem informação, a nível industrial, da diferença de escala entre os equipamentos utilizados. Pelo mesmo motivo os custos de mão-de-obra não foram considerados, uma vez que o tempo de mão-de-obra laboratorial não seria representativo da mão-do-obra necessária a uma escala de produção comercial. Para aplicar a metodologia de *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) foi desenvolvida uma folha de Excel (Figura 1), que organiza toda a informação e calcula os custos associados ao processo de produção de cada extrato.

Processo	Entradas	Qtdd	Un	Custo total	Custo(€/un)	Saídas	Qtdd	Un	Custo total	Custo(€/un)	Custo C (€)	Custo NC (€)	
A	R. officinalis - fresco	500	kg	180,00	0,36	Produto A	451	kg	185,40	0,41	167,23	18,17	11%
A	Energia	5	kWh	5,00	1,00	Emissões	20	kgCo2eq	13,00	0,65			
A	Consumíveis	4	l	0,40	0,10				198,40				
B	Produto A	451	kg	185,40	0,41	Produto AB	445	kg	235,40	0,53	232,27	3,13	1%
B	Horas Máquina	10	h	50,00	5,00								
C	Produto AB	445	kg	235,40	0,53	Produto ABC	440	kg	247,40	0,56	244,62	2,78	1%
C	Energia	100	kWh	12,00	0,12								
D	Produto ABC	440	kg	247,40	0,56	Produto ABCD	400	kg	250,40	0,63	227,64	22,76	10%
D	Consumíveis	30	l	3,00	0,10								
E	Produto ABCD	400	kg	250,40	0,63	Produto ABCDE	395	kg	295,90	0,75	292,20	3,70	1%
E	Consumíveis 1	10	l	1,00	0,10								
E	Consumíveis 2	50	kg	44,50	0,89								
									295,90			50,54	

Figura 1 - Modelo da folha de Excel desenvolvida para aplicação do MFCA.

Em determinados extratos, tais como, no extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L., no extrato corante à base de *Bixa Orellana* L., no extrato corante à base de *Curcuma Longa* L., no extrato enriquecido em micosteróis e no extrato enriquecido em vitamina D<sub>2</sub>, ocorreu a recuperação de alguns solventes que foram utilizados em

determinados dos processos, pelo que, nesses extratos identificaram-se dois cenários de estudo: um cenário em que entra com o custo total do solvente utilizado e um cenário em que se supôs uma segunda iteração do processo. No segundo cenário é utilizado o solvente recuperado na produção anterior e adicionado solvente novo para compensar a perda.

Os custos totais de cada um dos extratos produzidos têm em conta o custo aproveitado e o custo relacionado com o desperdício. Os resultados desta análise foram obtidos através de casos de estudo reais, e posteriormente os custos foram convertidos para a UF estabelecida previamente, 1 g de extrato produzido. Em todos estudos assumiram-se os seguintes custos:

- Eletricidade: 0,14€/kWh
- Gasolina (para o transporte): 1,464€/L
- Etanol: 3,36€/L

### **3. Descrição do Sistema em Estudo**

Seguindo a metodologia de MFCA, nesta secção identificam-se para cada aditivo, as fronteiras do sistema em análise, as diferentes etapas do processo produtivo, os centros de quantidade (CQ), assim como o inventário de fluxos de entrada e saída (materiais, resíduos, emissões e produtos) e respetivo custo afeto a esses fluxos para cada CQ do processo produtivo em estudo.

## I. Extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.

No extrato corante à base *Hibiscus Sabdariffa* L., são utilizados cálices da flor *H. Sabdariffa* como matéria-prima. Inicialmente as amostras são congeladas. De seguida, parte da amostra é triturada, sendo reduzida a pó. Na fase seguinte, a fração corante é extraída utilizando como solvente uma mistura etanol/água. Posteriormente, procede-se à filtração da fração corante. Na fase de evaporação, a fração etanólica é recuperada e, posteriormente, é feita a secagem da fração corante pela técnica de *spray-drying* usando maltodextrina como material adjuvante. Estes processos têm como resíduos: material sólido orgânico, o filtro de *nylon* e parte do solvente utilizado na fase de extração. A Figura 2 ilustra o mapa de fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.

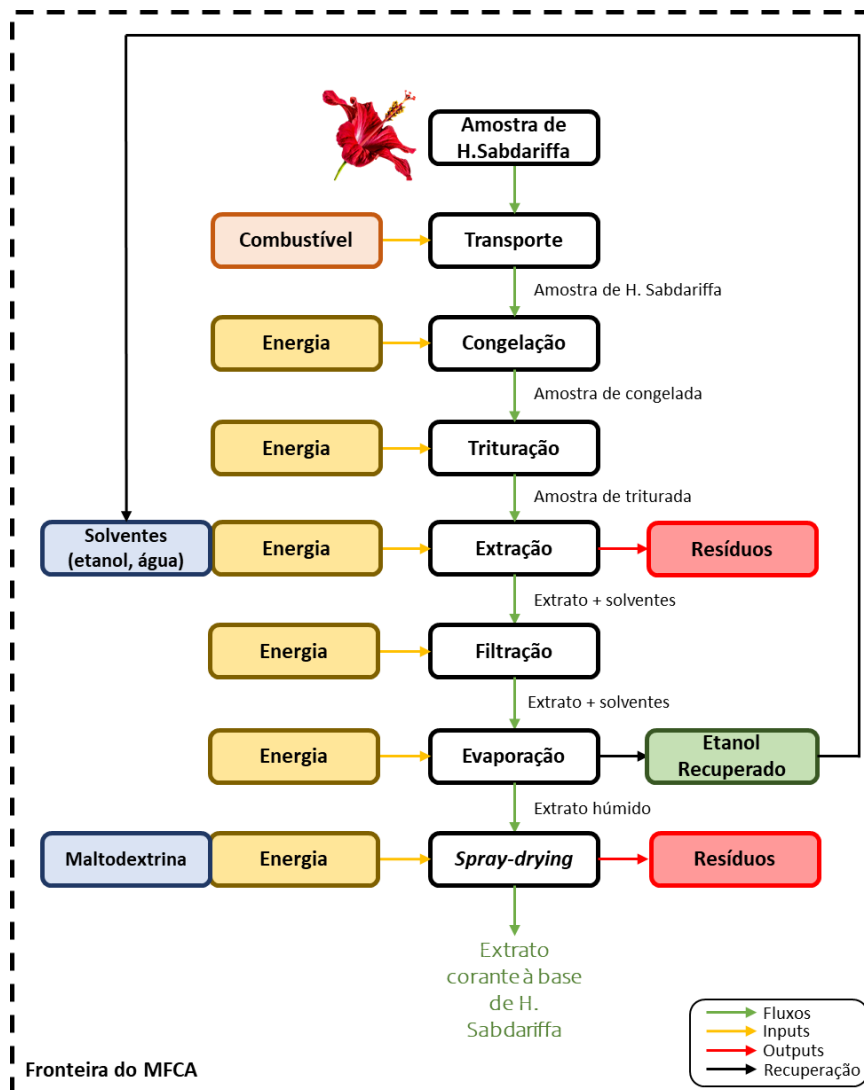


Figura 2 - Produção do Extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L. - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 2 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.

Tabela 2 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.  
UF:1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de cálices de flor	2000 g	100€	3,33 g	0,17€
	Combustível	143,2 km	13,29€	143,2 km	0,02€
<b>CQ2:</b> Congelação	Massa de cálices de flor	2000 g	113,29€	3,33 g	0,19€
	Energia	0,885 kWh	0,12€	0,00148kWh	0,0002€
<b>CQ3:</b> Trituração	Massa de flor congelada	1000 g	56,71€	3,33 g	0,19€
	Energia	0,112 kWh	0,02€	0,000373 kWh	0,0001€
	Resíduos (armazenado)	999g	56,67€	-	-
<b>CQ4:</b> Extração	Massa de flor triturada	1 g	0,06€	3,33 g	0,19€
	Energia	0,04 kWh	0,01€	0,133 kWh	0,02€
	Etanol	37,87 g	0,16€	126,23 g	0,54€
	Água	11,96 g	0,00001€	39,88 g	0,00003€
	Resíduos Sólidos	0,5g	0,11€	1,667 g	0,37€
<b>CQ5:</b> Filtração	Massa de extrato	0,5 g	0,11€	1,667 g	0,37€
	Filtro de nylon	2,69 g	0,07€	8,967 g	0,24€
<b>CQ6:</b> Evaporação	Massa de extrato filtrado	0,5 g	0,18€	1,667 g	0,61€
	Energia	0,7 kWh	0,10€	2,333 kWh	0,33€
	Solvente Recuperado (Etanol)	35,60 g	0,15€	118,66 g	0,51€
<b>CQ7: Spray-drying</b>	Massa de extrato à base de <i>H. Sabdariffa</i>	0,5 g	0,28€	1,667 g	0,94€
	Energia	5 kWh	0,70€	16,67 kWh	2,33€
	Maltodextrina	0,1 g	0,0027€	0,33 g	0,0090€
	Resíduos Sólidos	0,3 g	0,59€	1 g	1,31€



## II. Extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L.

No extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L. são utilizados resíduos de fruto *S. Nigra* L. como matéria-prima. O processo de produção inicia-se com a congelação das amostras. Após esse processo, a extração é realizada triturando a amostra com um equipamento semelhante a um liquidificador. Segue-se o processo de centrifugação em que uma parte segue para o processo de filtração e o restante é considerado um resíduo orgânico. Por fim, é feita a secagem da fração corante pela técnica de *spray-drying*, usando maltodextrina como material adjuvante. Estes processos têm como resíduos: material sólido orgânico e o filtro de *nylon*. A Figura 3 ilustra o mapa de fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L.

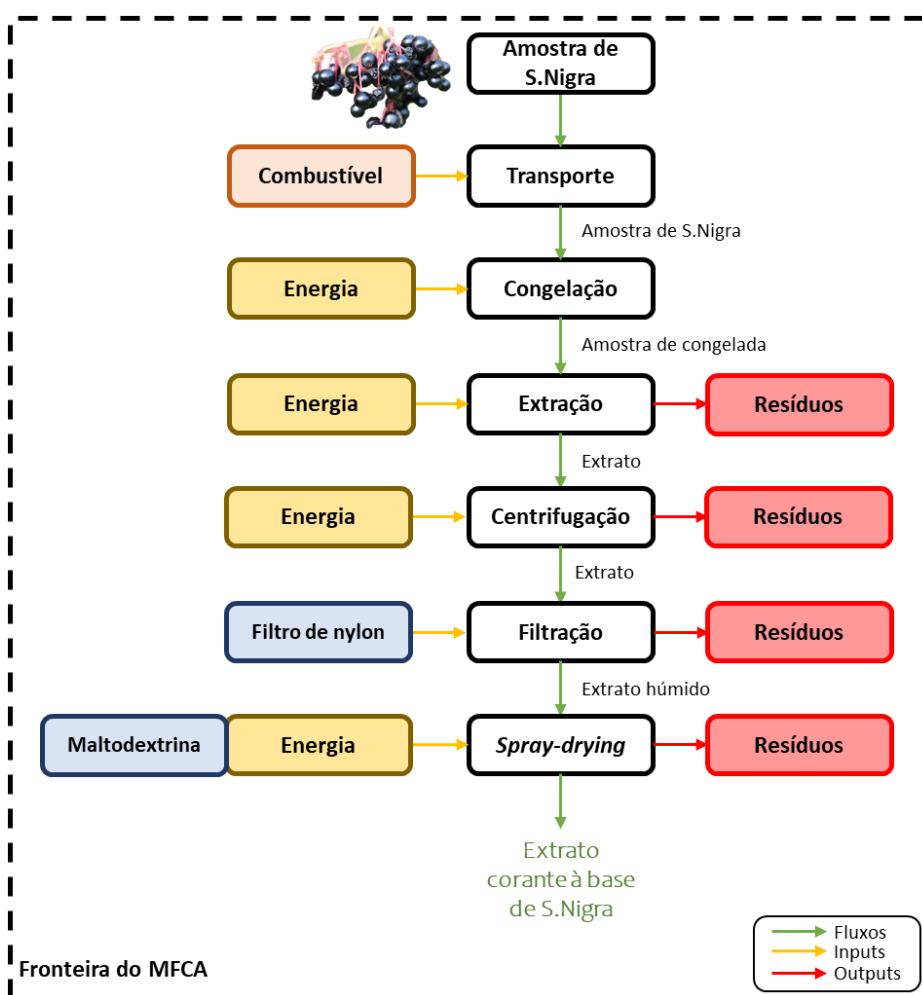


Figura 3 - Produção do Extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L. - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 3 identifica os custos relacionados com os inputs e outputs do processo de produção do extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L.

Tabela 3 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de fruto	2000 g	72€	10,417 g	0,38€
	Combustível	2,6 km	0,21€	2,6 km	0,001€
<b>CQ2:</b> Congelação	Massa de fruto	2000 g	72,21€	10,417 g	0,38€
	Energia	0,885 kWh	0,12€	0,0046 kWh	0,001€
<b>CQ3:</b> Extração	Massa de fruto congelada	1000 g	36,16€	10,417 g	0,38€
	Energia	0,023 kWh	0,003€	0,00024 kWh	0,00003€
	Resíduos	20 g	0,72€	0,208 g	0,01€
<b>CQ4:</b> Centrifugação	Massa de extrato	980 g	35,44€	10,208 g	0,37€
	Energia	0,35 kWh	0,05€	0,0036 kWh	0,001€
	Resíduos	506,30 g	18,34€	5,274 g	0,19€
<b>CQ5:</b> Filtração	Massa de extrato centrifugada	473,7 g	17,16€	4,934 g	0,18€
	Filtro de nylon	2,69 g	0,07€	0,0280 g	0,001€
	Resíduos	313,7 g	11,41€	3,268 g	0,12€
<b>CQ5:</b> <i>Spray-Drying</i>	Massa de extrato filtrada	160 g	5,82€	1,667 g	0,06€
	Energia	5 kWh	0,70€	0,052 kWh	0,0073€
	Maltodextrina	32 g	0,8640€	0,333 g	0,0090€
	Resíduos Sólidos	96 g	4,43€	1 g	0,03€

### III. Extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L.

No extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L. são utilizados como matéria-prima inflorescências de *G. Globosa* L. Inicialmente, as amostras são reduzidas a pó para análise. Seguidamente, a fração corante é extraída através de maceração, usando água como solvente. Após este processo, a fração corante é submetida ao processo de filtração. Por fim, é feita a secagem da fração corante pela técnica de *spray-drying*, usando maltodextrina como material adjuvante. Estes processos têm como resíduos: material sólido orgânico, o filtro de *nylon* e o solvente utilizado na fase de extração. A

Figura 4 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L.

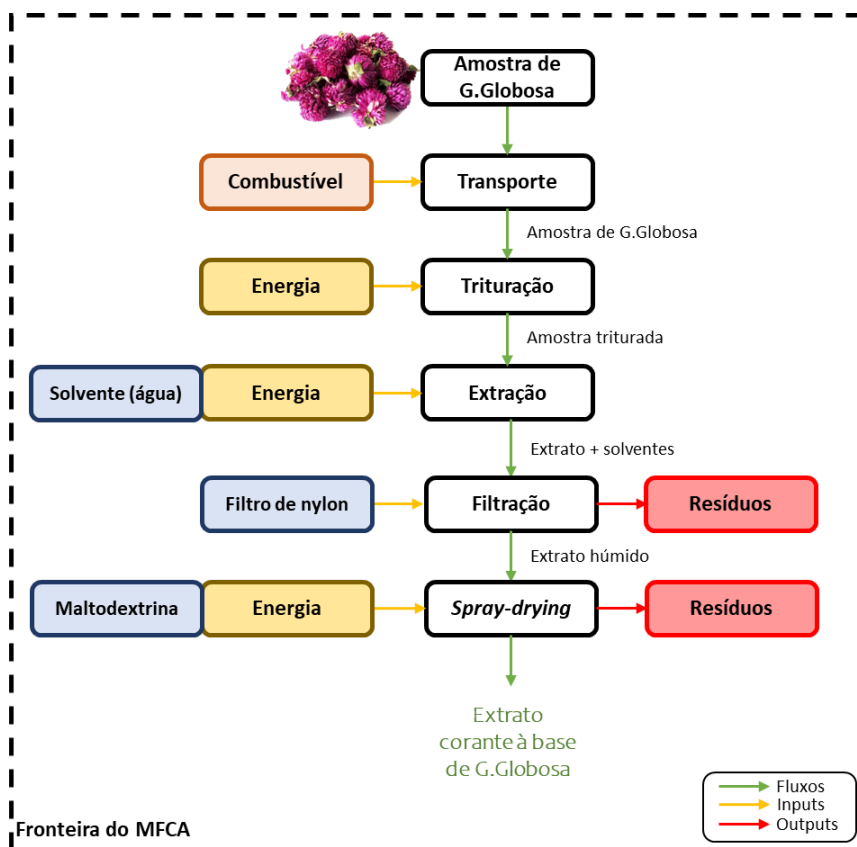


Figura 4 - Produção do Extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L. - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 4 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L.

Tabela 4 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de planta	2000 g	50€	32,16 g	0,78€
	Combustível	316 km	8,10€	316 km	0,13€
<b>CQ2:</b> Trituração	Massa de planta	1000 g	29,05€	32,16 g	0,93€
	Energia	0,112 kWh	0,02€	0,004 kWh	0,001€
	Resíduos (armazenado)	995 g	28,92€	-	-
<b>CQ3:</b> Extração	Massa de planta triturada	5 g	0,15€	32,16 g	0,93€
	Energia	0,04 kWh	0,01€	0,257 kWh	0,04€
	Água	997 g	0,00069€	6413 g	0,0044€
<b>CQ4:</b> Filtração	Massa de planta macerada	5 g	0,15€	32,16 g	0,98€
	Filtro de <i>nylon</i>	2,69 g	0,07€	17,30 g	0,46€
	Resíduos	4,684 g	0,21€	30,22 g	1,34€
<b>CQ5:</b> <i>Spray-drying</i>	Massa de planta filtrada	0,316 g	0,01€	2,033 g	0,09€
	Energia	5 kWh	0,70€	32,16 kWh	4,50€
	Maltodextrina	0,0632 g	0,0017€	0,408 g	0,01€
	Resíduos	0,224 g	0,51€	1,44 g	2,34€

#### IV. Extrato corante à base de *Bixa Orellana* L.

No extrato corante à base de *Bixa Orellana* L. são utilizadas sementes de *Bixa Orellana* como matéria-prima. O processo de produção inicia-se com a trituração das amostras, reduzindo-as a pó. Após esse processo, é realizado o processo de extração da fração corante utilizando uma mistura etanol/água como solvente. De seguida, a fração corante é submetida ao processo de filtração. Posteriormente, a fração etanólica é recuperada recorrendo-se ao processo de evaporação. Por fim, a amostra é congelada e liofilizada para obtenção do extrato final. Estes processos têm como resíduos: material sólido orgânico, o filtro de *nylon* e o solvente (água) utilizado na fase de extração. A Figura 5 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato corante à base de *Bixa Orellana* L.

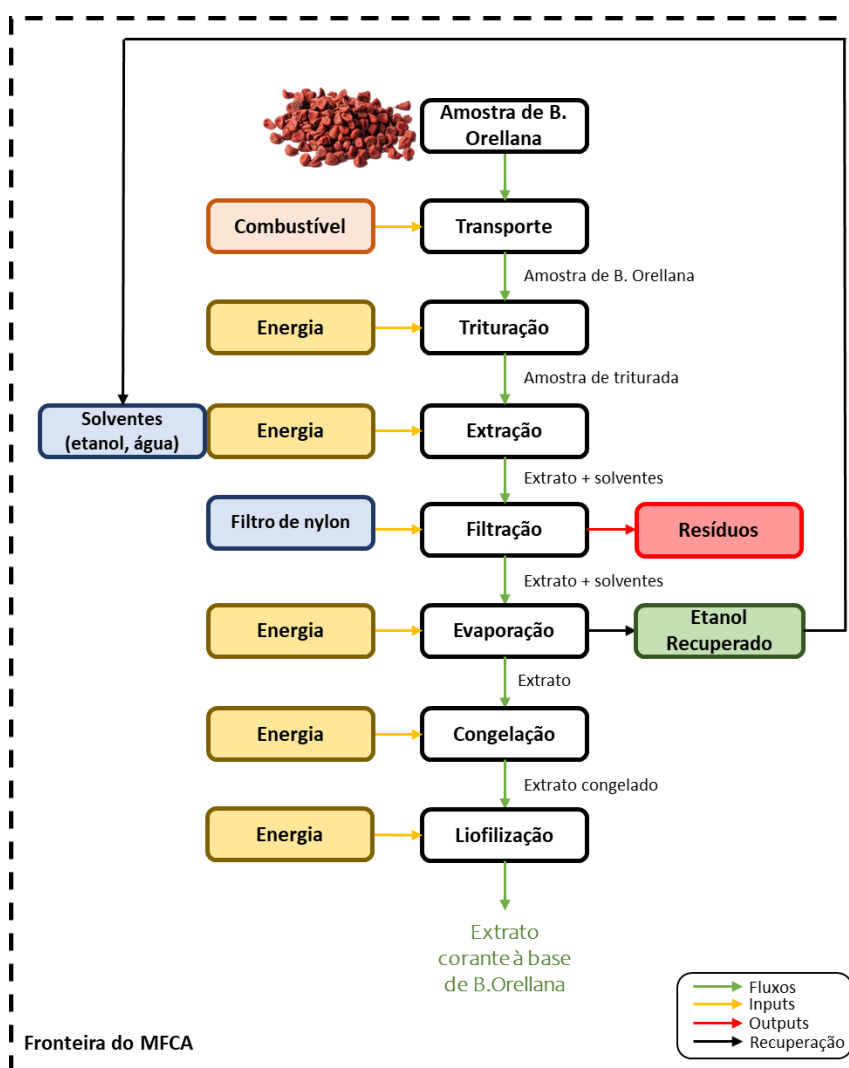


Figura 5 - Produção do Extrato corante à base de *Bixa Orellana* L. - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 5 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato corante à base de *Bixa Orellana* L.

Tabela 5 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato corante à base de *Bixa Orellana* L. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de sementes	100g	9,95€	5,61g	0,56€
	Combustível	-	16,95€	-	0,95€
CQ2: Trituração	Massa de sementes	100g	26,90€	5,61g	1,51€
	Energia	0,058 kWh	0,01€	0,003 kWh	0,0005€
	Resíduos (armazenado)	99g	26,64€		
CQ3: Extração	Massa de sementes triturada	1g	0,27€	5,61g	1,51€
	Energia	0,05 kWh	0,01€	0,28 kWh	0,04€
	Etanol	31,18g	0,13€	175,1g	0,75€
	Água	10,47g	0,000007€	58,78g	0,000041€
CQ4: Filtração	Massa de extrato	1g	0,41€	5,61g	2,30€
	Filtro de <i>nylon</i>	2,69 g	0,07€	15,10g	0,40€
	Resíduos	0,822 g	0,39€	4,61g	2,22€
CQ5: Evaporação	Massa de extrato filtrada	0,178g	0,09€	1g	0,48€
	Energia	0,7 kWh	0,10€	3,93 kWh	0,55€
	Solvente Recuperado (Etanol)	29,93g	0,13€	168,1g	0,72€
CQ6: Congelação	Massa de extrato à base de <i>Bixa Orellana</i>	0,178g	0,18€	1g	1,03€
	Energia	0,025 kWh	0,003€	0,14 kWh	0,02€
CQ7: Liofilização	Massa de extrato à base de <i>Bixa Orellana</i> congelada	0,178g	0,19€	1g	1,05€
	Energia	100 kWh	14,00€	561,48 kWh	78,61€
	Resíduo líquido (água)	10,47g	0,000007€	58,78g	0,000041€

## V. Extrato corante à base de *Curcuma Longa* L.

No extrato corante à base de *Curcuma Longa* L. é utilizado como matéria-prima curcuma em pó, obtidas num estabelecimento comercial local. Inicialmente, estas amostras são submetidas ao processo de extração através de um equipamento de ultrassons utilizando como solvente uma mistura de etanol/água. De seguida, a fração corante é sujeita ao processo de filtração. Após esta etapa, a fração etanólica é recuperada recorrendo ao processo de evaporação. Por fim, a amostra é congelada e liofilizada, de modo a retirar o excesso de água presente no ingrediente em análise. Estes processos têm como resíduos: material sólido orgânico, o filtro de *nylon* e o solvente (água) utilizado na fase de extração. A Figura 6 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa* L.

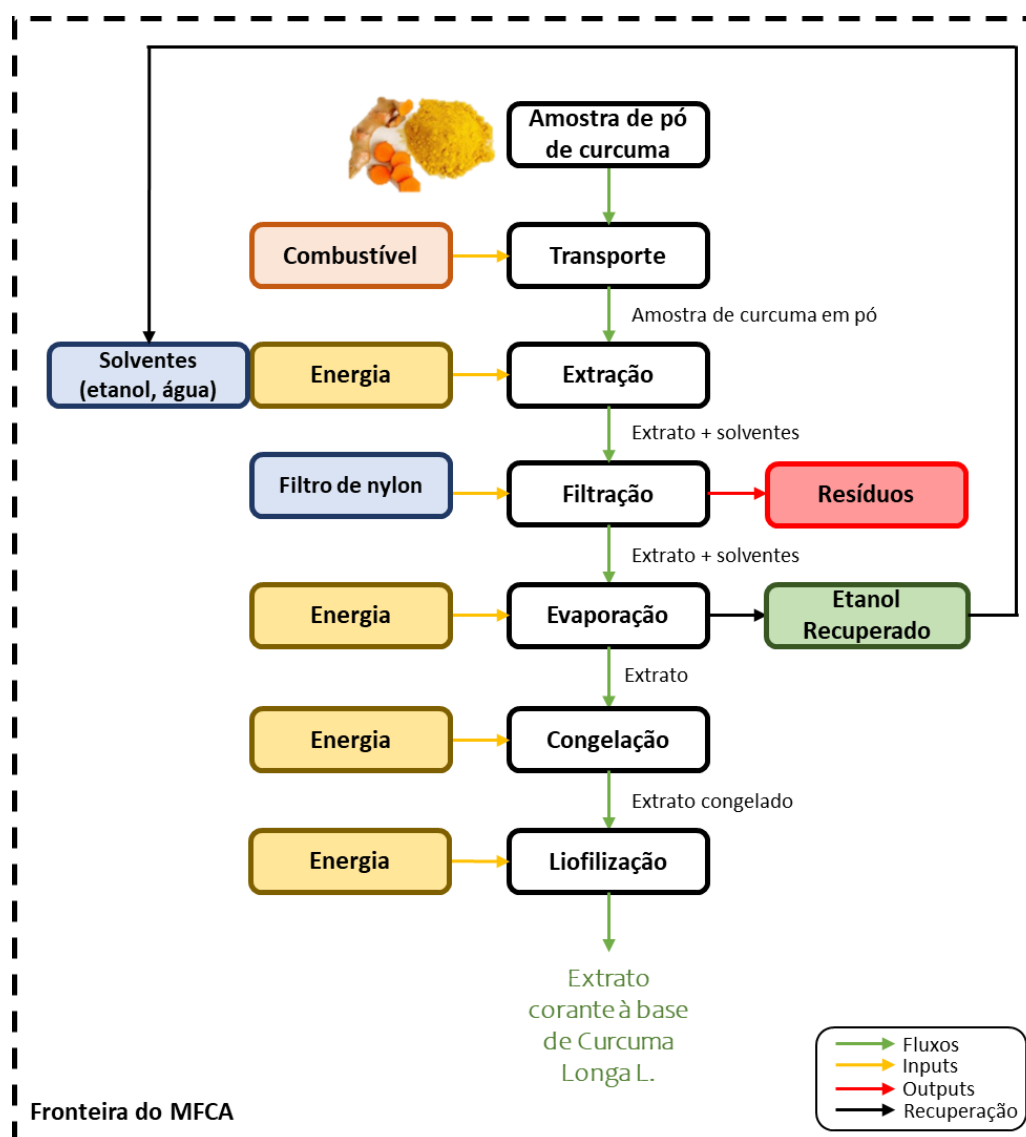


Figura 6 - Produção do Extrato corante à base de *Curcuma Longa* L. - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 6 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa* L.

Tabela 6 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato corante à base de *Curcuma Longa* L. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de curcuma em pó	100g	1,34€	4,76g	0,06€
	Combustível	2,9 km	0,23€	2,9 km	0,01€
<b>CQ3:</b> Extração	Massa de curcuma em pó	1,625g	0,03€	4,76g	0,07€
	Energia	0,058 kWh	0,01€	0,17 kWh	0,02€
	Etanol	11,35g	0,05€	33,25g	0,14€
	Água	10,59g	0,000001€	31,04g	0,00002€
<b>CQ4:</b> Filtração	Massa de curcuma	1,625g	0,08€	4,76g	0,24€
	Filtro de nylon	2,69 g	0,07€	7,88g	0,21€
	Resíduos	1,284g	0,12€	3,76g	0,35€
<b>CQ5:</b> Evaporação	Massa de curcuma filtrada	0,341g	0,03€	1g	0,09€
	Energia	0,7 kWh	0,10€	2,05 kWh	0,29€
	Solvente Recuperado (Etanol)	10,90g	0,05€	31,92g	0,14€
<b>CQ6:</b> Congelação	Massa de extrato à base de <i>Curcumina Longa</i>	0,341g	0,13€	1g	0,38€
	Energia	0,025 kWh	0,003€	0,07 kWh	0,01€
<b>CQ7:</b> Liofilização	Massa de extrato à base de <i>Curcumina Longa</i> congelada	0,341g	0,13€	1g	0,39€
	Energia	100 kWh	14,00€	293 kWh	41,02€
	Resíduo líquido (água)	10,59g	0,000001€	31,04g	0,00002€



## VI. Extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado

Para a produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado é utilizado como matéria-prima curcuma em pó, sendo que o objetivo da abordagem da encapsulação do ingrediente é a proteção do mesmo em relação aos fatores externos (temperatura, pH e aumento da solubilidade). O processo de produção inicia-se com a dissolução do polímero Polivinilpirrolidona (PVP40) e Tween80 numa solução tampão, sendo que esta solução é também constituída por citrato de sódio, ácido cítrico e água. Posteriormente, a amostra de curcumina é dissolvida em etanol e, de seguida, as duas soluções são misturadas e sonicadas em ultrassons. Por fim, a mistura foi submetida a secagem por *spray-drying* em modo *inert loop*. Estes processos têm como resíduos: solventes e materiais utilizados. A Figura 7 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado.

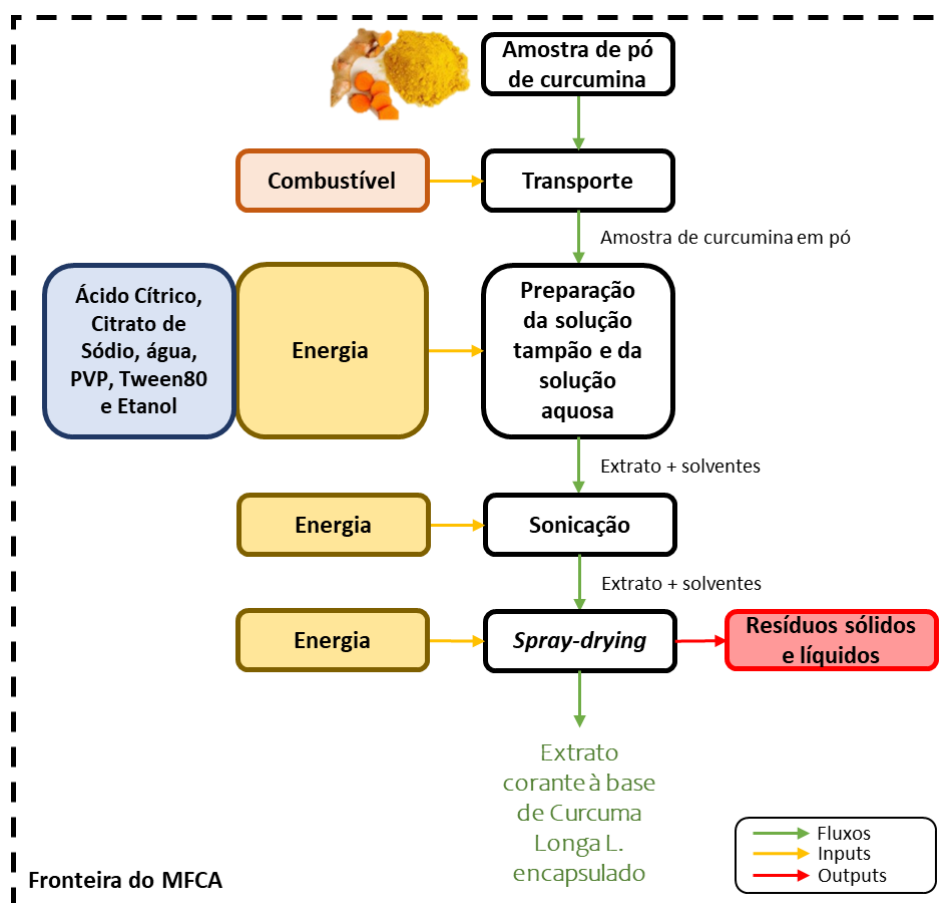


Figura 7 - Produção do Extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 7 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado.

Tabela 7 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de curcuma em pó	50g	201€	0,063g	0,25€
	Combustível	-	74,52€	-	0,09€
<b>CQ2:</b> Preparação da solução tampão e da solução aquosa	Massa de curcuma em pó	3g	16,53€	0,063g	0,34€
	Energia	0,525 kWh	0,07€	0,011 kWh	0,002€
	Ácido Cítrico	6,92g	1,29€	0,144g	0,03€
	Citrato de Sódio	62,92g	5,15€	1,31g	0,11€
	Água	2492,5g	0,0017€	52,01g	0,00004€
	PVP40	20g	7,66€	0,417g	0,16€
	Tween80	3g	0,86€	0,063g	0,02€
<b>CQ3:</b> Sonicacão	Etanol	1973g	8,42€	41,18g	0,18€
	Massa de curcuma	3g	39,99€	0,063g	0,83€
<b>CQ4:</b> <i>Spray-drying</i>	Energia	0,083 kWh	0,01€	0,002 kWh	0,0002€
	Massa de extrato	3g	40,00€	0,063g	0,83€
	Azoto	9,5 m <sup>3</sup>	123€	0,20 m <sup>3</sup>	2,57€
	Energia	53,75 kWh	7,53€	1,12 kWh	0,16€
	Resíduo sólido	47,92g	17,74€	1g	0,33€
Resíduo líquido	4386,58g	8,09€	93,18g	0,83€	

## VII. Extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada

Para a obtenção destes ingredientes foram efetuados dois processos distintos (extração com fluido supercrítico – SFE – e hidrodestilação). Com o objetivo promover o aproveitamento do hidrolato obtido na hidrodestilação, considerou-se o processo de liofilização. Deste modo, procedeu-se à avaliação económica de três cenários:

- A – Extração com fluido supercrítico (SFE);
- B – Hidrodestilação com liofilização do hidrolato;
- C – Hidrodestilação sem liofilização do hidrolato.

### i. Cenário A

Através do método de extração com CO<sub>2</sub> supercrítico, foram obtidos dois extratos aromáticos à base de *Rosmarinus Officinallis* L. rico em monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos: um que utiliza *R. Officinallis* L. fresca como matéria-prima e outro que utiliza *R. Officinallis* L. desidratada. Este processo tem como resíduos: material sólido orgânico, os filtros descartados, e como emissões a perda de CO<sub>2</sub> utilizado na extração. A

Figura 8 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada.

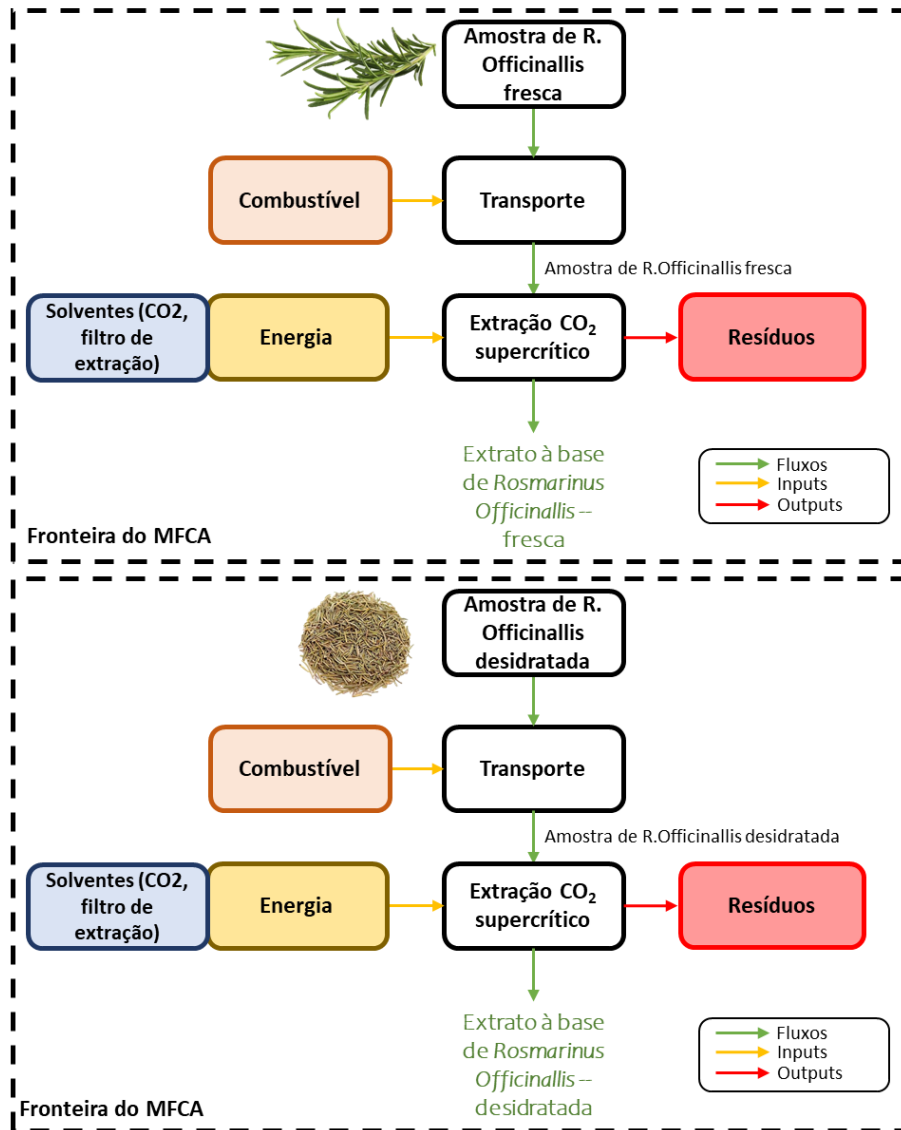


Figura 8- Produção do Extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis L. fresca e desidratada* - Mapa do fluxo dos materiais (Cenário A).

A Tabela 8 identifica os custos relacionados com os inputs e outputs do processo de produção do extrato aromático à base de *R. Officinallis* fresca e a Tabela 9 identifica os custos da produção do extrato aromático à base de *R. Officinallis* desidratada.

Tabela 8 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidade/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de planta fresca	1000g	30€	38,46g	1,15€
	Combustível	443 km	34,94€	443 km	1,34€
CQ2: Extração CO <sub>2</sub> supercrítico	Massa de planta fresca	30g	1,95€	38,46g	2,50€
	Energia	27,14 kWh	3,80€	34,80 kWh	4,78€
	Dióxido de Carbono	438,4g	3,6826€	562,1g	4,72€
	Filtros de extração	3 unidades	0,0297€	3,85 unidades	0,0038€
	Resíduos	29,22g	9,21€	37,46g	11,81€

Tabela 9 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do Extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de planta desidratada	1000g	150€	50,85g	7,63€
	Combustível	443 km	34,94€	443 km	1,78€
CQ2: Extração CO <sub>2</sub> supercrítico	Massa de planta desidratada	30g	5,55€	50,85g	9,40€
	Energia	27,14 kWh	3,80 €	45,99 kWh	6,44€
	Dióxido de Carbono	438,4g	3,68€	743,1g	6,24€
	Filtros de extração	3 unidades	0,0297€	5,08 unidades	0,05€
	Resíduos	29,41g	12,80€	49,85g	21,70€

## ii. Cenário B

Os óleos essenciais de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada são obtidos através do processo de hidrodestilação. Estes óleos são ricos em monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos e um utiliza como matéria-prima *R. Officinallis* L. fresca e outro utiliza *R. Officinallis* L. desidratada. Do processo de hidrodestilação resulta um óleo essencial como produto e um hidrolato como subproduto. Posto isto, os respetivos hidrolatos foram ainda submetidos ao processo de liofilização para obter a parte residual óleo essencial presente no hidrolato. Neste caso, o produto final do processo é a soma do óleo proveniente da hidrodestilação com o óleo originado na liofilização do hidrolato. Estes processos têm como resíduos: matéria-prima e água desionizada.

A Figura 9 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção de óleos essenciais à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada com a liofilização do hidrolato.

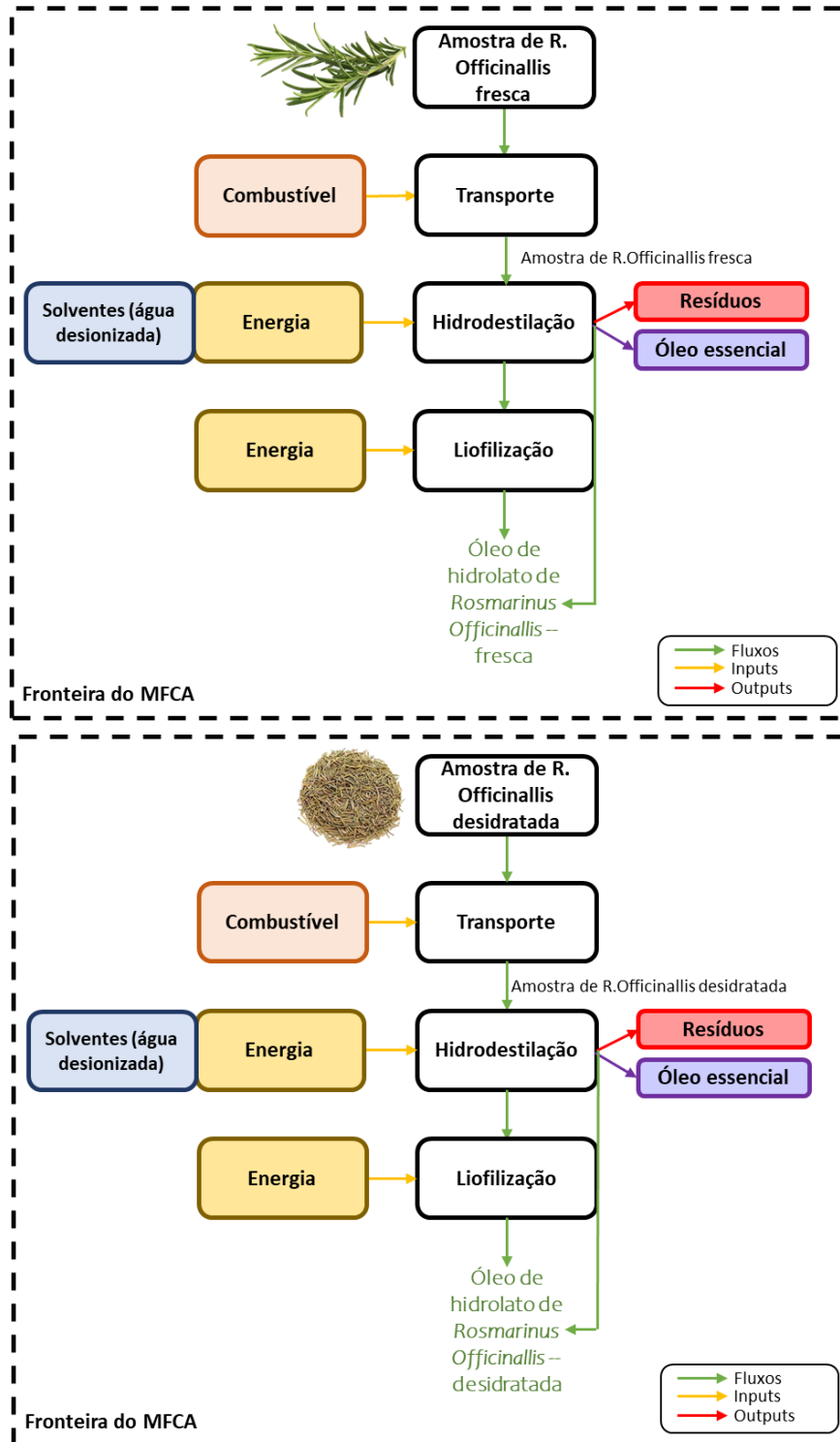


Figura 9- Produção dos óleos de hidrolato de Rosmarinus Officinallis L. fresca e desidratada - Mapa do fluxo dos materiais (Cenário B).

Os respetivos custos são apresentados na Tabela 10 e Tabela 11 para processamento da amostra fresca e desidratada, respetivamente.

Tabela 10- Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo de hidrolato de *Rosmarinus Officinallis L. fresca*. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidade/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de planta fresca	1000g	30€	124,59g	3,74€
	Combustível	443 km	34,94€	443 km	4,36€
CQ2: Hidrodestilação	Massa de planta fresca	27,41g	1,78€	124,59g	8,10€
	Energia	9,09 kWh	1,27€	41,32 kWh	5,79€
	Água desionizada	0,75L	0,12€	3,41L	0,55€
	Massa de hidrolato destilado	0,346g	0,040€	1,57g	0,18€
	Resíduos sólidos	26,86g	3,11€	122,09g	14,13€
CQ3: Liofilização	Massa de hidrolato destilado	0,346g	0,04€	1,57g	0,18€
	Energia	288 kWh	40,32€	1309,09 kWh	183,27€
	Vapor de água	0,33g	-	1,50g	-

Tabela 11 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo de hidrolato de *Rosmarinus Officinallis L. desidratada*. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidade/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de planta fresca	1000g	150€	163,04g	24,46€
	Combustível	443 km	34,94€	443 km	5,70€
CQ2: Hidrodestilação	Massa de planta fresca	75g	13,87€	163,04g	30,15€
	Energia	9,09 kWh	1,27€	19,76 kWh	2,77€
	Água desionizada	0,75L	0,12€	1,63L	0,26€
	Massa de hidrolato destilado	0,096g	0,020€	0,209g	0,042€
	Resíduos sólidos	74,45g	15,15€	161,9g	32,94€
CQ3: Liofilização	Massa de hidrolato destilado	0,096g	0,020€	0,209g	0,042€
	Energia	288 kWh	40,32€	626,087 kWh	87,65€
	Vapor de água	0,089g	-	0,19g	-

### iii. Cenário C

Como já referido anteriormente, da extração por hidrodestilação de óleos essenciais à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada, resulta um produto (óleo essencial) e um subproduto (hidrolato). Neste cenário, analisou-se, a nível económico, o processo de obtenção do óleo essencial à base de *R. officinalis* sem a liofilização do hidrolato. Todavia, este hidrolato não é considerado um resíduo, uma vez que pode ser utilizado como uma água-floral ou, alternativamente, pode ser utilizado para obtenção da parte residual do óleo essencial nele contido. Assim, o processo de hidrodestilação tem como resíduos: matéria-prima e água desionizada. A Figura 10 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção dos óleos essenciais de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada.

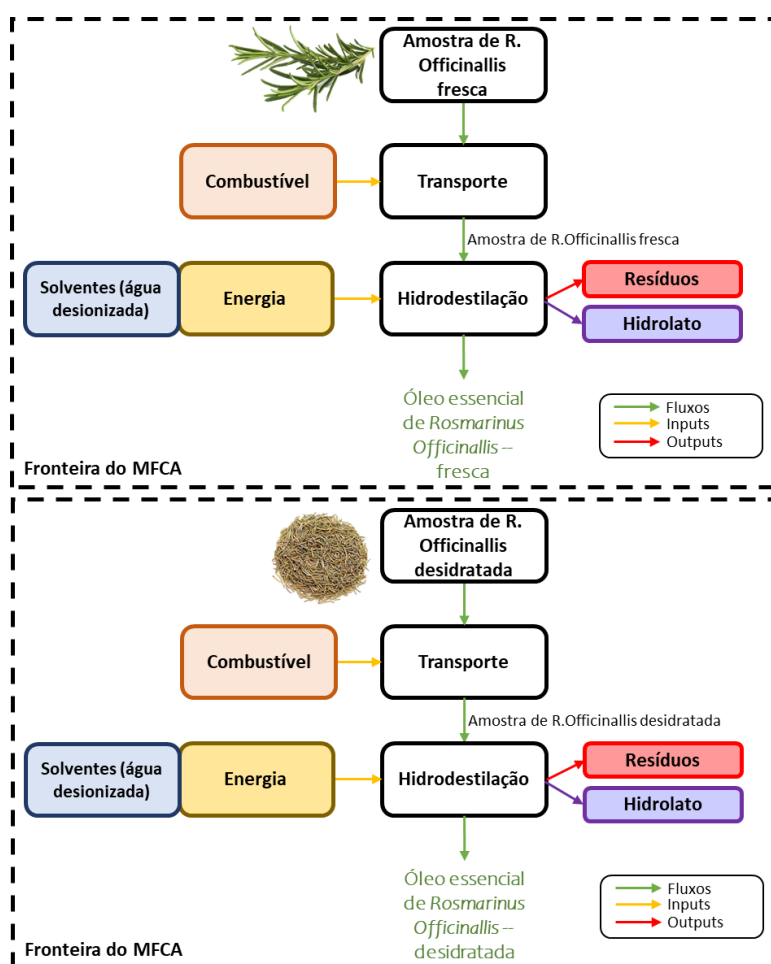


Figura 10- Produção dos óleos essenciais de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada - Mapa do fluxo dos materiais (Cenário C).



A Tabela 12 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresco e a Tabela 13 identifica os custos da produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratado.

Tabela 12 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidade/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de planta fresca	1000g	30€	133,71g	4,01€
	Combustível	443 km	34,94€	443 km	4,67€
CQ2: Hidrodestilação	Massa de planta fresca	27,41g	1,78€	133,71g	8,68€
	Energia	9,09 kWh	1,27€	44,34 kWh	6,29€
	Água desionizada	0,75L	0,12€	3,66 L	0,59€
	Resíduos	26,86g	3,11€	131,02g	15,17€
	Hidrolato (armazenado)	0,346g	0,040€	1,688g	0,1954€

Tabela 13 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidade/UF	Custos
CQ1: Transporte	Massa de planta desidratada	1000g	150€	165,56g	25€
	Combustível	443 km	34,94€	443 km	5,80€
CQ2: Hidrodestilação	Massa de planta fresca	75g	13,87€	165,56g	30,63€
	Energia	9,09 kWh	1,27€	20,06 kWh	2,81€
	Água desionizada	0,75 L	0,12€	1,656 L	0,26€
	Resíduos	74,45g	15,15€	164,35g	33,45€
	Hidrolato (armazenado)	0,096g	0,0195€	0,212g	0,043€

### VIII. Extrato enriquecido com micosteróis

No extrato enriquecido em micosteróis, são utilizados como matéria-prima biorresíduos de cogumelos. Esta produção inicia-se com a liofilização. Posteriormente, na técnica de trituração, os biorresíduos de cogumelos (BRC) liofilizados são triturados, sendo que uma parte é armazenada. De seguida, na fase extração entra a matéria-prima triturada e o solvente etanol. Na fase de centrifugação, entra a mistura da fase anterior. Por fim, a matéria-prima é filtrada usando um filtro de *nylon* e entra no evaporador, onde o solvente é recuperado e obtém-se o extrato seco. Este processo tem como resíduos: material sólido orgânico, o filtro de *nylon* e parte do solvente utilizado na fase de extração. A Figura 11 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato enriquecido em micosteróis.

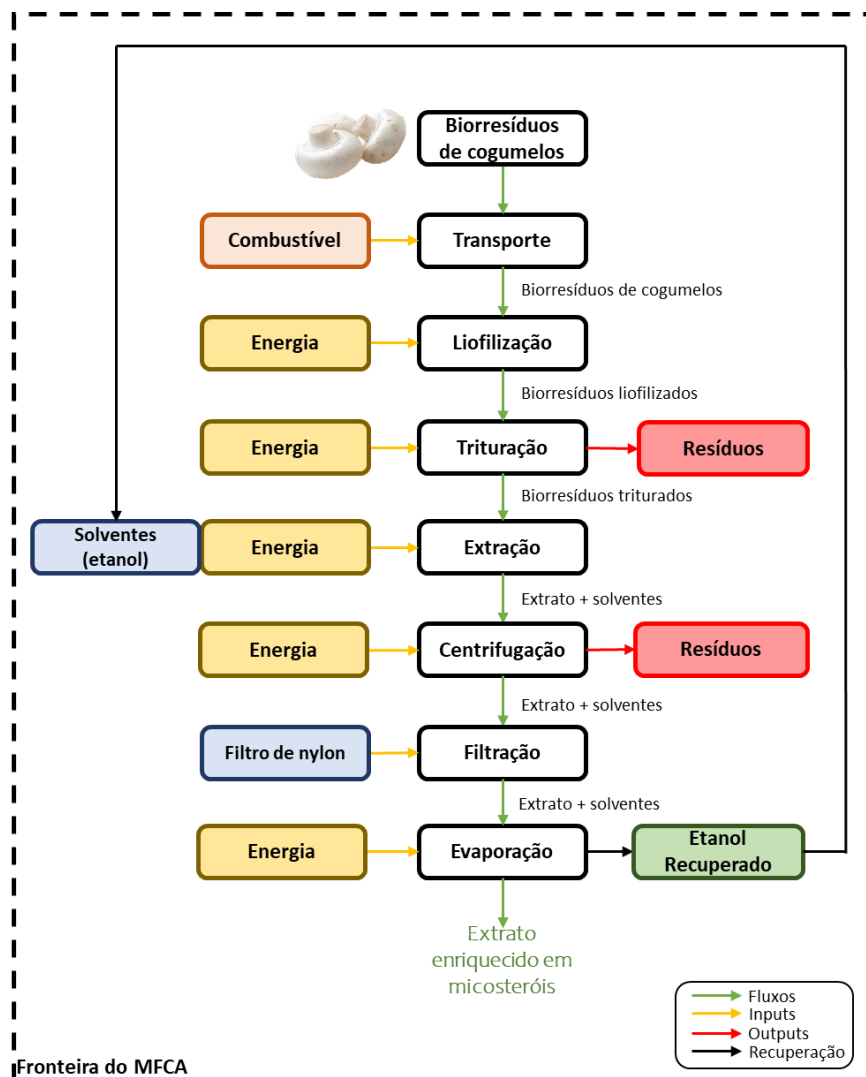


Figura 11 - Produção do extrato enriquecido em Micosteróis - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 14 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato enriquecido em micosteróis.

Tabela 14 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato enriquecido em Micosteróis. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de BRC	50 kg	250€	45,11g	0,23€
	Combustível	174,4 km	13,76€	174,4 km	0,01€
<b>CQ2:</b> Liofilização	Massa de BRC	1000g	5,27€	45,11g	0,24€
	Energia	24,84 kWh	3,48€	1,12 kWh	0,16€
	Vapor de água	810g	-	36,54g	-
<b>CQ3:</b> Trituração	Massa de BRC liofilizada	190g	1,66€	8,57g	0,07€
	Energia	0,112 kWh	0,02€	0,005 kWh	0,0007€
	Massa de BRC triturada (armazenada)	187g	1,65€	-	-
<b>CQ4:</b> Extração	Massa de BRC triturada	3g	0,03€	8,57g	0,08€
	Energia	0,09375 kWh	0,01€	0,268 kWh	0,04€
	Etanol	118,40g	0,51€	338,27g	1,44€
<b>CQ5:</b> Centrifugação	Massa de BRC macerada	3g	0,55€	8,57g	1,56€
	Energia	0,117 kWh	0,016€	0,334 kWh	0,05€
	Resíduos	1g	0,19€	2,86g	0,54€
<b>CQ6:</b> Filtração	Massa de BRC centrifugada	2g	0,37€	5,71g	1,07€
	Filtro de nylon	2,69g	0,07€	7,69g	0,20€
	Resíduos	1,65g	0,37€	4,71g	1,05€
<b>CQ7:</b> Evaporação	Massa de BRC filtrada	0,35g	0,08€	1g	0,22€
	Energia	0,7 kWh	0,10€	2 kWh	0,28€
	Solvente Recuperado (Etanol)	94,72g	0,40€	270,62g	1,16€

## **IX. Extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>**

No extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, é também obtido através de biorresíduos de cogumelos. Para este extrato, foram aplicados dois métodos (cenários):

- 1 – Irradiação UV no início do processo extrativo;
- 2 – Irradiação UV no fim do processo extrativo.

### **i. Cenário 1**

Para a conversão do ergosterol em Vitamina D<sub>2</sub>, aos biorresíduos de cogumelos foi aplicada a técnica de irradiação ultravioleta. De seguida, os biorresíduos irradiados são liofilizados e triturados. Seguidamente, na fase de extração, entra a matéria-prima triturada, utilizando como solventes o Hexano, o Metanol e o DMSO. Posteriormente, a matéria-prima volta a sofrer um processo de extração, utilizando como solvente o Hexano. Após este processo, a matéria-prima extraída é submetida ao processo de centrifugação e filtração. Na fase de evaporação, a matéria-prima da fase anterior entra no evaporador e os solventes Hexano e Metanol são evaporados até se obter um extrato seco. Por fim, de modo a retirar o DMSO do extrato, recorreu-se ao evaporador utilizando Acetato de Etilo. Este processo tem como resíduos: material sólido orgânico, o filtro de nylon e parte do solvente utilizado na fase de extração. A Figura 12 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1).

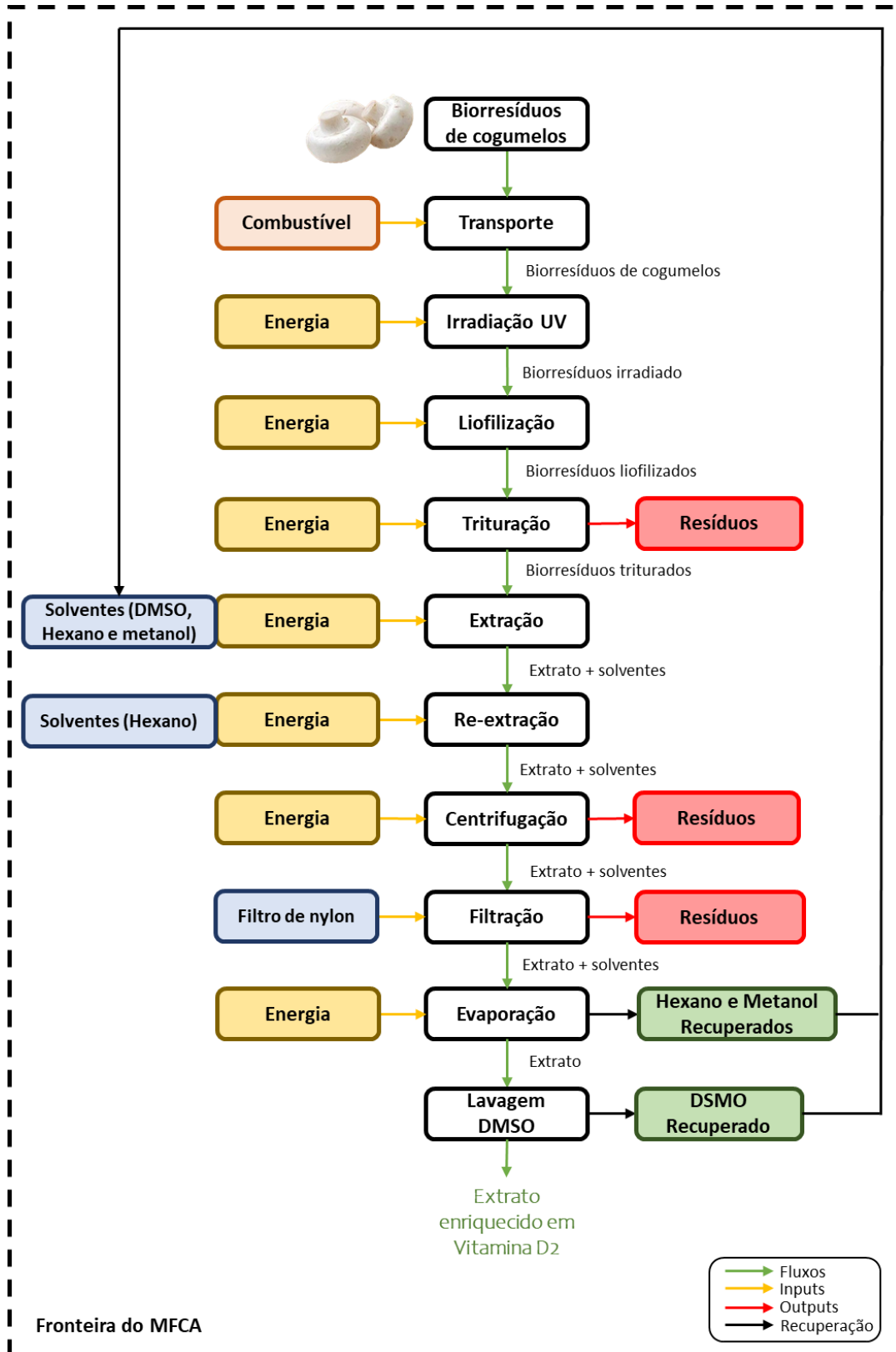


Figura 12- Produção do extrato enriquecido em Vitamina D2 – Cenário 1 - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 15 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1).

Tabela 15 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> – Cenário 1. UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidade/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de BRC	50 kg	250 €	37,59g	0,19€
	Combustível	174,4 km	13,76 €	174,4 km	0,01€
<b>CQ2:</b> Irradiação UV	Massa de BRC	1000g	5,27€	37,59g	0,20€
	Energia	0,133 kWh	0,02€	0,005 kWh	0,0007€
<b>CQ3:</b> Liofilização	Massa de BRC irradiada	1000g	5,28€	37,59g	0,20€
	Energia	24,84 kWh	3,48€	0,93 kWh	0,13€
	Vapor de água	810g	-	30,45g	-
<b>CQ4:</b> Trituração	Massa de BRC liofilizada	190g	1,66€	7,14g	0,06€
	Energia	0,112 kWh	0,02€	0,004 kWh	0,001€
	Massa de BRC triturada (armazenada)	188g	1,65€	-	-
<b>CQ5:</b> Extração	Massa de BRC triturada	2g	0,02€	7,14g	0,06€
	Energia	0,09375 kWh	0,01€	0,33 kWh	0,05€
	Hexano	13,21g	0,05€	47,19g	0,17€
	Metanol	7,87g	0,03€	28,09g	0,11€
	DMSO	10,96g	0,32€	39,13g	1,13€
<b>CQ6:</b> Re-extração	Massa de BRC macerada	2g	0,43€	7,14g	1,53€
	Hexano	19,81g	0,07€	70,75g	0,26€
	Energia	0,09375 kWh	0,01€	0,33g	0,05€
<b>CQ7:</b> Centrifugação	Massa de BRC macerada	2g	0,51€	7,14g	1,84€
	Energia	0,35 kWh	0,05€	1,25 kWh	0,18€
	Resíduos	1g	0,28€	3,57g	1,01€
<b>CQ8:</b> Filtração	Massa de BRC centrifugada	1g	0,28€	3,57g	1,01€
	Filtro de nylon	2,69g	0,07€	9,61g	0,25€
	Resíduos	0,72g	0,25€	2,57g	0,91€
<b>CQ9:</b> Evaporação	Massa de BRC filtrada	0,28g	0,10€	1g	0,35€
	Energia	0,7 kWh	0,10€	2,50 kWh	0,35€
	Solvente Recuperado (Hexano)	26,42g	0,10€	94,35g	0,35€
	Solvente Recuperado (Metanol)	6,29g	0,03€	22,47g	0,09€
<b>CQ10:</b> Lavagem DMSO	Massa de extrato	0,28g	0,20€	1g	0,70€
	Acetato de Etilo	20 mL	0,14€	71,43 mL	0,49€
	Energia	0,35 kWh	0,05€	1,25 kWh	0,18€
	Solvente Recuperado (DMSO)	10,96g	0,32€	39,13g	1,13€

**ii. Cenário 2**

Inicialmente recorreu-se à técnica de congelação, seguida do processo de liofilização e trituração. Posteriormente, procede-se à extração assistida por ultrassons, utilizando Etanol como solvente. A amostra segue para o processo de filtração, de modo a retirar a matéria orgânica sólida. Posto isto, na fase de evaporação, o extrato líquido da fase anterior entra no evaporador e o Etanol é evaporado. Para converter o extrato seco enriquecido em ergosterol em Vitamina D<sub>2</sub>, utilizou-se a técnica de irradiação ultravioleta. A Figura 13 ilustra o mapa do fluxo de material desenvolvido com base no sistema de produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2).

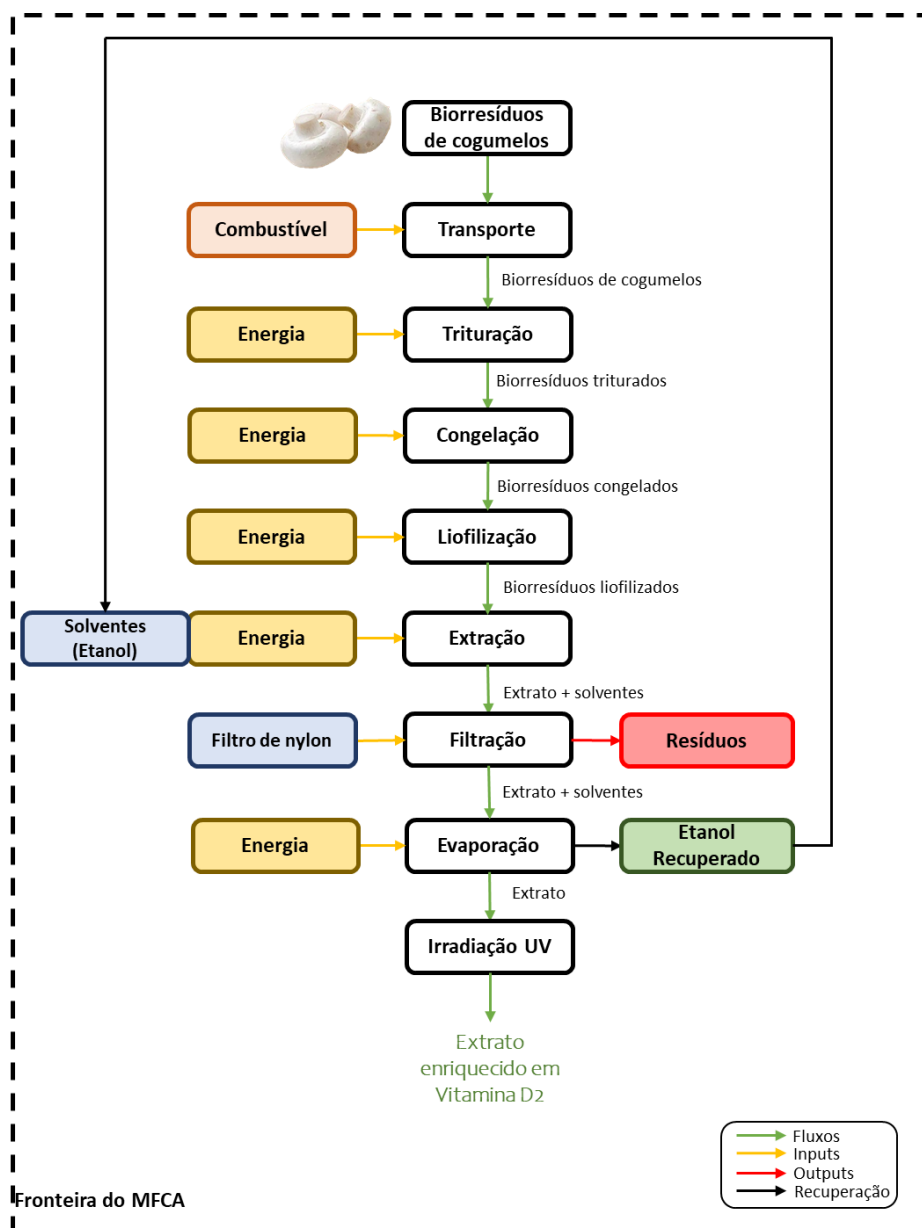


Figura 13 - Produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> – Cenário 2 - Mapa do fluxo dos materiais.

A Tabela 16 identifica os custos relacionados com os *inputs* e *outputs* do processo de produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2).

Tabela 16 - Custos de cada centro de quantidade – Produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> – 2º método.  
UF: 1g de extrato.

Centros de Quantidade	Materiais	Quantidades	Custos	Quantidades/UF	Custos
<b>CQ1:</b> Transporte	Massa de BRC	50 kg	249,50€	300g	1,50€
	Combustível	174,4 km	13,76€	174,4 km	0,08€
<b>CQ2:</b> Trituração	Massa de BRC	1000g	5,27€	300g	1,58€
	Energia	0,058kWh	0,01€	0,018 kWh	0,0025€
<b>CQ3:</b> Congelação	Massa de BRC triturada	1000g	5,27€	300g	1,58€
	Energia	0,098 kWh	0,01€	0,030 kWh	0,004€
<b>CQ4:</b> Liofilização	Massa de BRC congelada	1000g	5,29€	300g	1,59€
	Energia	100 kWh	14€	30 kWh	4,20€
	Vapor de água	900g	-	270g	-
	Massa de BRC liofilizada (armazenada)	97g	1,87€	-	-
<b>CQ5:</b> Extração	Massa de BRC liofilizada	3g	0,06€	30g	0,58€
	Energia	0,25 kWh	0,04€	2,5 kWh	0,35€
	Etanol	78,93g	0,34€	789,30g	3,37€
<b>CQ6:</b> Filtração	Massa de BRC macerada	3g	0,43 €	30g	4,30€
	Filtro de <i>nylon</i>	2,69g	0,07€	26,9g	0,71€
	Resíduos	2,9g	0,48€	29g	4,84€
<b>CQ7:</b> Evaporação	Massa de BRC filtrada	0,1g	0,02€	1g	0,17€
	Energia	0,7 kWh	0,10€	7 kWh	0,98€
	Solvente Recuperado (Etanol)	75,77g	0,32€	757,73g	3,24€
<b>CQ8:</b> Irradiação UV	Massa de extrato seca	0,1g	0,11€	1g	1,15€
	Energia	0,05 kWh	0,01€	0,5 kWh	0,07€



#### 4. Resultados

Nesta secção apresentam-se os resultados da MFCA, para os diferentes aditivos alimentares selecionados, ilustrado pelos respetivos mapas de fluxo de MFCA, o quais representam o fluxo económico baseado nos recursos consumidos em cada centro de quantidade (CQ), mapeando o valor dos resíduos e da produção de 1 g de extrato.

##### I. Extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.

Para a produção deste extrato, foram transportados 3,33 kg de cálices de *Hibiscus Sabdariffa* L. com um custo de 0,17 €. Para o transporte assumiu-se que a matéria-prima foi transportada 143,2 km por um veículo a gasolina (5,4 L/100 km), tendo um custo de 0,02 €. No processo de congelação foram utilizados 3,33 kg de cálices de *Hibiscus Sabdariffa* L. com um custo de 0,19 € (custo da matéria prima + transporte) e consumidos 0,001 kWh (0,0002€). Já no processo de trituração entram 3,33 g de massa de flor congelada com um custo de 0,19 €, em que todos os gastos anteriores a este processo estão associados a este custo, e são consumidos 0,0004 kWh (0,0001 €). As 3,33 g de matéria prima entram no processo de extração (placa de agitação) com um custo de 0,19 €, no qual se adicionam 39,88 g de água e 126,23 g de etanol, com custos de 0,00003 € e 0,54 €, respetivamente, e em que são consumidos 0,13 kWh (0,02 €). No processo de filtração por gravidade entram 1,67 g de massa de extrato, tendo estas um custo de 0,37 €, e é utilizado um filtro de *nylon* (8,97 g) com um custo de 0,24 €. Na fase de evaporação entram 1,67 g de massa de extrato filtrado com um custo cumulativo de 0,61 €, ao qual acresce o custo de 0,33 € relativo ao consumo energético do evaporador (2,33 kWh). No final deste processo é recuperado cerca de 94 % (118,66 g) de etanol com um valor de 0,51 €. Por fim, no processo de *spray-drying* entram 1,67 g de massa de extrato e com um custo cumulativo de 0,94 €, 0,33 g de maltodextrina com um custo de 0,01€ e são consumidos 16,67 kWh (2,33 €). No processo de *spray-drying* existe o desperdício total da água, dado que, esta é totalmente evaporada.

Tal como se observa na Figura 14, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L. tem um custo total de 3,65 €.

## Valor Natural - H. Sabdariffa

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	3,33	g	0,17 €	0,05 €	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	0,19 €	- €
Transporte	Combustível	143,20	km	0,02 €	-							
Congelação	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	0,19 €	- €
Congelação	Energia	0,00148	kWh	0,00 €	0,14 €							
Trituração	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	0,19 €	- €
Trituração	Energia	0,000373	kWh	0,00 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	Massa da amostra	1,67	g	0,75 €	0,22 €	0,37 €	0,37 €
Extração	Energia	0,133	kWh	0,02 €	0,14 €							
Extração	Água	39,88	g	0,00003 €	0,000001 €							
Extração	Etanol	126,23	g	0,54 €	0,0043 €	Etanol	122,45	g	-	-		
Filtração	Massa da amostra	1,67	g	0,37 €	0,22 €	Massa da amostra	1,67	g	0,61 €	0,37 €	0,61 €	- €
Filtração	Filtro de nylon	8,97	g	0,24 €	0,03 €							
Filtração	Etanol	122,45	g	-	-	Etanol	118,66	g	-	-		
Evaporação	Massa de extrato	1,67	g	0,61 €	0,37 €	Massa de extrato	1,67	g	0,94 €	0,56 €	0,94 €	- €
Evaporação	Energia	2,33	kWh	0,33 €	0,14 €							
Evaporação	Etanol	118,66	g	-	-	Etanol	118,66	g	0,51 €	-		
Spray-drying	Massa de extrato	1,67	g	0,94 €	0,56 €	Extrato à base de <i>H.Sabdariffa</i>	1	g	3,28 €	1,97 €	1,97 €	1,31 €
Spray-drying	Energia	16,67	kWh	2,33 €	0,14 €							
Spray-drying	Maltodextrina	0,33	g	0,01 €	0,03 €							

Custo Aproveitado	1,97 €
Custo Desperdiçado	1,69 €
Custo total por 1g	3,65 €

Figura 14 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.

O etanol recuperado no processo de evaporação pode ser utilizado numa segunda iteração deste processo, na qual apenas será necessário entrar 0,03 € de etanol “novo” no processo de extração. Assim, com a utilização do solvente recuperado (Figura 15), a produção de 1 g de extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L. tem um custo total de 3,14 €, sendo que 1,33 € é considerado custo desperdiçado (associado à massa de resíduos perdida ao longo do processo).

**Valor Natural - H. Sabdariffa**

Processo	Entradas				Saídas				Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado		
		Quant.	Un	Custo Total	Custo/un		Quant.	Un			Custo Total	Custo/un
Transporte	Massa da amostra	3,33	g	0,17 €	0,05 €	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	0,19 €	- €
Transporte	Combustível	143,20	km	0,02 €	-							
Congelação	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	0,19 €	- €
Congelação	Energia	0,00148	kWh	0,0002 €	0,14 €							
Trituração	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	0,19 €	- €
Trituração	Energia	0,000373	kWh	0,0001 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	3,33	g	0,19 €	0,06 €	Massa de extrato	1,667	g	0,24 €	0,07 €	0,12 €	0,12 €
Extração	Energia	0,133	kWh	0,02 €	0,14 €							
Extração	Água	39,88	g	0,00003 €	0,000001 €							
Extração	Etanol	126,23	g	0,03 €	0,00 €	Etanol	122,45	g	-	-		
Filtração	Massa da amostra	1,667	g	0,12 €	0,07 €	Massa de extrato	1,667	g	0,36 €	0,21 €	0,36 €	- €
Filtração	Filtro de nylon	8,967	g	0,24 €	0,03 €							
Filtração	Etanol	122,45	g	-	-	Etanol	118,66	g	-	-		
Evaporação	Massa de extrato	1,667	g	0,36 €	0,21 €	Massa de extrato	1,667	g	0,68 €	0,41 €	0,68 €	- €
Evaporação	Energia	2,333	kWh	0,33 €	0,14 €							
Evaporação	Etanol	118,66	g	-	-	Etanol	118,66	g	0,51 €	-		
Spray-drying	Massa de extrato	1,667	g	0,68 €	0,41 €	Extrato à base de H. Sabdariffa	1	g	3,02 €	1,81 €	1,81 €	1,21 €
Spray-drying	Energia	16,67	kWh	2,33 €	0,14 €							
Spray-drying	Maltodextrina	0,33	g	0,01 €	0,03 €							

Custo Aproveitado	1,81 €
Custo Desperdiçado	1,33 €
Custo total por 1g	3,14 €

Figura 15 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato corante à base de Hibiscus Sabdariffa L.

## II. Extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L.

Para a produção deste extrato, foram transportados 10,42 g de resíduos do fruto *Sambucus Nigra* L. com um custo de 0,38 €. Assumiu-se que a matéria-prima foi transportada 2,6 km, num veículo a gasolina (5,4 L/100 km), tendo o transporte um custo de 0,001 €. No processo de congelação entram 10,42 g de resíduos de fruto de *Sambucus Nigra* L. (massa de fruto) com um custo de 0,38 € e são consumidos 0,005 kWh (0,001 €). Na etapa de extração entram 10,42 g de massa de fruto congelada com um custo de 0,38 € e são consumidos 0,0002 kWh (0,00003 €) no aparelho liquidificador. No processo de centrifugação entram 10,21 g de sumo de fruto com um custo de 0,37 €, e são consumidos 0,004 kWh (0,001 €). Na fase de filtração entram 4,93 g de massa de extrato com um custo de 0,18 €, e utiliza-se um filtro de *nylon* (0,028 g) com um custo de 0,001 €. Por fim, no processo de *spray-drying* entram 1,67 g de extrato filtrado com um custo de 0,06 €, sendo que este custo está associado a todos os consumos descritos nesta produção, usam-se 0,33 g de maltodextrina com um custo de 0,0090€, e consomem-se 0,052 kWh (0,01 €). O produto final desta etapa é constituído por massa de fruto extraído + maltodextrina. Tal como se observa na Figura 16, a produção 1g de extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L. tem um custo de 0,39€, sendo que 0,35 € é considerado custo desperdiçado (associado à massa de resíduos perdida ao longo do processo).

### Valor Natural - S. Nigra

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	10,42	g	0,38 €	0,04 €	Massa da amostra	10,42	g	0,38 €	0,04 €	0,38 €	- €
Transporte	Combustível	2,60	km	0,001 €	-							
Congelação	Massa da amostra	10,42	g	0,38 €	0,04 €	Massa da amostra	10,42	g	0,38 €	0,04 €	0,38 €	- €
Congelação	Energia	0,005	kWh	0,001 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	10,42	g	0,38 €	0,04 €	Massa da amostra	10,21	g	0,38 €	0,04 €	0,37 €	0,01 €
Extração	Energia	0,0002	kWh	0,00003 €	0,14 €							
Centrifugação	Massa da amostra	10,21	g	0,37 €	0,04 €	Massa da amostra	4,93	g	0,37 €	0,04 €	0,18 €	0,19 €
Centrifugação	Energia	0,004	kWh	0,001 €	0,14 €							
Filtração	Massa da amostra	4,93	g	0,18 €	0,04 €	Massa de extrato	1,67	g	0,18 €	0,04 €	0,06 €	0,12 €
Filtração	Filtro de nylon	0,028	g	0,001 €	0,03 €							
Spray-drying	Massa de extrato	1,67	g	0,06 €	0,04 €	Extrato à base de <i>S.Nigra</i>	1	g	0,08 €	0,05 €	0,05 €	0,03 €
Spray-drying	Energia	0,052	kWh	0,01 €	0,14 €							
Spray-drying	Maltodextrina	0,33	g	0,01 €	0,03 €							

Custo Aproveitado	0,05 €
Custo Desperdiçado	0,35 €
Custo total por 1g	0,39 €

Figura 16 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L.

### III. Extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L.

Para a produção deste extrato, foram transportados 32,16 g de Inflorescências de *Gomphrena Globosa* L. (massa de planta) com um custo de 0,78 €. O transporte da matéria-prima foi efetuado pelos correios e teve um custo de 0,13 €. No processo de trituração entram 32,16 g de planta com um custo de 0,93 €, e consomem-se 0,004 kWh, (0,001 €). No processo de extração entram 32,16 g de massa de planta triturada com um custo de 0,93 €, consomem-se 0,26 kWh (0,04 €) na placa de agitação e 6413 g de água como solvente com um custo de 0,004 €. Na etapa de filtração entram 32,16 g de massa de extrato com um custo de 0,98 €, em que os custos associados a processos anteriores estão aqui inerentes, e utilizam-se filtro de *nylon* (17,30 g) com um custo de 0,46 €. Por fim, no processo de *spray-drying* entram 2,03 g de massa de extrato filtrado com um custo aproveitado de 0,09 €, consomem-se 0,41 g de maltodextrina com um custo de 0,01 € e 32,16 kWh (4,50 €). O produto final desta etapa é constituído por massa de fruto extraído + maltodextrina. Tal como se observa na Figura 17, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L. tem um custo total de 5,95 €, sendo que 3,68 € é considerado custo desperdiçado (associado à massa de resíduos perdida ao longo do processo).

#### Valor Natural - G. Globosa

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	32,16	g	0,80 €	0,03 €	Massa da amostra	32,16	g	0,93 €	0,03 €	0,93 €	- €
Transporte	Combustível	316	km	0,13 €	-							
Trituração	Massa da amostra	32,16	g	0,93 €	0,03 €	Massa da amostra	32,16	g	0,93 €	0,03 €	0,93 €	- €
Trituração	Energia	0,004	kWh	0,001 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	32,16	g	0,93 €	0,03 €	Massa da amostra	32,16	g	0,98 €	0,03 €	0,98 €	- €
Extração	Energia	0,26	kWh	0,04 €	0,14 €							
Extração	Água	6413	g	0,004 €	0,000001 €							
Filtração	Massa da amostra	32,16	g	0,98 €	0,03 €	Massa de extrato	2,03	g	1,43 €	0,04 €	0,09 €	1,34 €
Filtração	Filtro de nylon	17,30	g	0,46 €	0,03 €							
Spray-drying	Massa de extrato	2,03	g	0,09 €	0,04 €	Extrato à base de <i>G.globosa</i>	1	g	4,60 €	2,27 €	2,27 €	2,34 €
Spray-drying	Energia	32,16	kWh	4,50 €	0,14 €							
Spray-drying	Maltodextrina	0,41	g	0,01 €	0,03 €							

Custo Aproveitado	2,27 €
Custo Desperdiçado	3,68 €
Custo total por 1g	5,95 €

Figura 17 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L.

#### IV. Extrato corante à base de *Bixa Orellana* L.

Para a produção do extrato à base de *Bixa Orellana* L. foram transportados 5,61 g de sementes de *Bixa Orellana* com um custo de 0,56 €, sendo que o transporte desta matéria-prima foi efetuado por uma transportadora tendo um custo de 0,95 €. No processo de trituração entram 5,61 g de sementes de *Bixa Orellana* com um custo cumulativo de 1,51 €, e consome-se 0,003 kWh (0,0005 €). Na etapa de extração entram 5,61 g de massa de sementes de *Bixa Orellana* trituradas com um custo de 1,51 €, utilizam-se como solventes 175,10 g de etanol e 58,78 g de água, com um custo de 0,75 € e 0,00004 €, respetivamente, e consomem-se 0,28 kWh (0,04 €). No processo de filtração entram 5,61 g de massa de extrato com um custo de 2,30 €, e utilizam-se filtros de *nylon* (15,10 g) com um custo de 0,40 €. Na fase de evaporação entra 1 g de sementes de *Bixa Orellana* filtrada com um custo de 0,48 €, e consomem-se 3,93 kWh (0,55 €). No final deste processo é recuperado cerca de 96 % (168,10 g) de etanol com um valor de 0,70 €. Na etapa de congelação entra 1 g de extrato com presença de água e com um custo de 1,03 €, e consomem-se 0,14 kWh (0,02€). Por fim, no processo de liofilização entra 1 g de extrato congelado com um custo de 1,05€, sendo que este custo inclui os custos descritos nos processos anteriores, e consomem-se de 561,48 kWh (78,61 €).

Tal como se observa na Figura 18, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Bixa Orellana* L. tem um custo de 81,87 €.

## Valor Natural - B.Orellana

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo	
											Aproveitado	Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	5,61	g	0,56 €	0,10 €	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	1,51 €	- €
	Combustível	-	km	0,95 €	-							
Trituração	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	1,51 €	- €
	Energia	0,003	kWh	0,0005 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	Massa da amostra	5,61	g	2,30 €	0,41 €	2,30 €	- €
	Energia	0,28	kWh	0,04 €	0,14 €							
Extração	Etanol	175,10	g	0,75 €	0,004 €	Etanol	171,60	g	-	-		
Extração	Água	58,78	g	0,00004 €	0,000001 €							
Filtração	Massa de extrato	5,61	g	2,30 €	0,41 €	Massa de extrato	1	g	2,70 €	0,48 €	0,48 €	2,22 €
Filtração	Filtro de nylon	15,10	g	0,40 €	0,03 €							
Filtração	Etanol	171,60	g	-	-	Etanol	168,10	g	-	-		
Evaporação	Massa de extrato	1,00	g	0,48 €	0,48 €	Massa de extrato	1	g	1,03 €	1,03 €	1,03 €	- €
Evaporação	Energia	3,93	kWh	0,55 €	0,14 €							
Evaporação	Etanol	168,10	g	-	-	Etanol	168,10	g	0,72 €	-		
Congelação	Massa de extrato	1	g	1,03 €	1,03 €	Massa de extrato	1	g	1,05 €	1,05 €	1,05 €	- €
Congelação	Energia	0,14	kWh	0,02 €	0,14 €							
Liofilização	Massa de extrato	1	g	1,05 €	1,05 €	Extrato à base de <i>B. orellana</i>	1	g	79,66 €	79,66 €	79,66 €	- €
Liofilização	Energia	561,48	kWh	78,61 €	0,14 €	Água	58,78	g	0,00004 €	0,000001 €	-	0,00004 €

Custo Aproveitado	79,66 €
Custo Desperdiçado	2,22 €
Custo total por 1g	81,87 €

Figura 18 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de *Bixa Orellana L.*

O etanol recuperado no processo de evaporação pode ser utilizado numa segunda produção, na qual será apenas necessário 0,05 € de etanol “novo” para produzir novamente este extrato. Deste modo, com a reutilização do solvente, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Bixa Orellana L.* tem um custo total de 81,16 €, sendo que 1,63 € é considerado custo desperdiçado (associado à massa de resíduos perdida ao longo do processo), como se observa na Figura 19.

## Valor Natural - B.Orellana

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo total	Custo/un	Custo	Custo
											Aproveitado	Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	5,61	g	0,56 €	0,10 €	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	1,51 €	- €
Transporte	Combustível	-	km	0,95 €	-							
Trituração	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	1,51 €	- €
Trituração	Energia	0,003	kWh	0,00 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	5,61	g	1,51 €	0,27 €	Massa de extrato	5,61	g	1,58 €	0,28 €	1,58 €	- €
Extração	Energia	0,28	kWh	0,04 €	0,14 €							
Extração	Etanol	175,10	g	0,03 €	0,00 €	Etanol	171,60	g	-	-		
Extração	Água	58,78	g	0,00004 €	0,000001 €							
Filtração	Massa da amostra	5,61	g	1,58 €	0,28 €	Massa de extrato	1	g	1,98 €	0,35 €	0,35 €	1,63 €
Filtração	Filtro de nylon	15,10	g	0,40 €	0,03 €							
Filtração	Etanol	171,60	g	-	-	Etanol	168,10	g	-	-		
Evaporação	Massa de extrato	1,00	g	0,35 €	0,35 €	Massa de extrato	1	g	0,90 €	0,90 €	0,90 €	- €
Evaporação	Energia	3,93	kWh	0,55 €	0,14 €							
Evaporação	Etanol	168,10	g	-	-	Etanol	168,10	g	0,72 €	-		
Congelação	Massa de extrato	1	g	0,90 €	0,90 €	Massa de extrato	1	g	0,92 €	0,92 €	0,92 €	- €
Congelação	Energia	0,14	kWh	0,02 €	0,14 €							
Liofilização	Massa de extrato	1	g	0,92 €	0,92 €	Extrato à base de B. Orellana	1	g	79,53 €	79,53 €	79,53 €	- €
Liofilização	Energia	561,48	kWh	78,61 €	0,14 €	Água	58,78	g	0,00004 €	0,000001 €	-	0,00 €

Custo Aproveitado	79,53 €
Custo Desperdiçado	1,63 €
Custo total por 1g	81,16 €

Figura 19 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato corante à base de Bixa Orellana L.



## V. Extrato corante à base de *Curcuma Longa L.*

Para a produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* foram transportados 4,76 g de curcuma em pó com um custo de 0,06 €. Para o transporte assumiu-se que a matéria-prima foi transportada 2,9 km por um veículo a gasolina (5,4 L/100km) tendo um custo de 0,01 €. No processo de extração entram 4,76 g de curcuma em pó com um custo cumulativo de 0,07 €, utilizam-se como solventes, 33,25 g de etanol e 31,04 g de água com um custo de 0,14 € e 0,00002 €, respetivamente, e consomem-se 0,17 kWh (0,02 €). Na etapa de filtração entram 4,76 g de massa de extrato com um custo de 0,24 €, e utilizam-se filtros de *nylon* (7,88 g) com um custo de 0,21 €. Na fase de evaporação entra 1 g de massa de extrato filtrado com a presença de água e com um custo de 0,09€, e consomem-se 2,05 kWh (0,29 €). No final deste processo é recuperado cerca de 96 % (31,92 g) de etanol com um custo de 0,11 €. No processo de congelação entra 1 g de massa de extrato húmido com um custo de 0,38€ e consomem-se 0,07 kWh (0,01 €). Por fim, na fase de liofilização entra 1 g de massa de extrato congelado com um custo de 0,39 €, sendo que este custo inclui todos os custos descritos nos processos anteriores, e consomem-se 293 kWh (41,02 €).

Tal como se observa na Figura 20, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* tem um custo de 41,77 €. Com a recuperação do etanol, numa segunda iteração não será necessário etanol “novo” para produzir novamente este extrato. Deste modo, com a reutilização do solvente, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* tem um custo de 41,62 €, sendo que 0,24 € é considerado custo desperdiçado, como se pode observar na Figura 21.

## Valor Natural - C. Longa L.

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo	Custo
											Aproveitado	Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	4,76	g	0,06 €	0,01 €	Massa da amostra	4,76	g	0,07 €	0,02 €	0,07 €	- €
	Combustível	2,90	km	0,01 €	-							
Extração	Massa da amostra	4,76	g	0,07 €	0,02 €	Massa da amostra	4,76	g	0,24 €	0,05 €	0,24 €	- €
	Energia	0,17	kWh	0,02 €	0,14 €							
	Etanol	33,25	g	0,14 €	0,004 €	Etanol	32,59	g				
	Água	31,04	g	0,00002 €	0,000001 €							
Filtração	Massa da amostra	4,76	g	0,24 €	0,05 €	Massa de extrato	1,00	g	0,45 €	0,09 €	0,09 €	0,35 €
	Filtro de nylon	7,88	g	0,21 €	0,03 €							
	Etanol	32,59	g	-	-	Etanol	31,92	g				
Evaporação	Massa de extrato	1,00	g	0,09 €	0,09 €	Massa de extrato	1,00	g	0,38 €	0,38 €	0,38 €	- €
	Energia	2,05	kWh	0,29 €	0,14 €							
	Etanol	31,92	g	-	-	Etanol	31,92	g	0,11 €	-		
Congelação	Massa de extrato	1,00	g	0,38 €	0,38 €	Massa de extrato	1,00	g	0,39 €	0,39 €	0,39 €	- €
	Energia	0,07	kWh	0,01 €	0,14 €							
Liofilização	Massa de extrato	1,00	g	0,39 €	0,39 €	Extrato à base de C. longa	1,00	g	41,41 €	41,41 €	41,41 €	- €
	Energia	293	kWh	41,02 €	0,14 €	Água	31,04	g	0,00002 €	0,000001 €	-	0,00002 €

Custo Aproveitado	41,41 €
Custo Desperdiçado	0,35 €
Custo total por 1g	41,77 €

Figura 20 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de Curcuma Longa L.

## Valor Natural - C. Longa L.

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo total	Custo/un	Custo	Custo
											Aproveitado	Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	4,76	g	0,06 €	0,01 €	Massa da amostra	4,76	g	0,07 €	0,02 €	0,07 €	- €
	Combustível	2,90	km	0,01 €	-							
Extração	Massa da amostra	4,76	g	0,07 €	0,02 €	Massa de extrato	4,76	g	0,10 €	0,02 €	0,10 €	- €
	Energia	0,17	kWh	0,02 €	0,14 €							
	Etanol	33,25	g	0,00 €	0,00 €	Etanol	32,59	g				
	Água	31,04	g	0,00002 €	0,000001 €							
Filtração	Massa da amostra	4,76	g	0,10 €	0,02 €	Massa de extrato	1,00	g	0,31 €	0,06 €	0,06 €	0,24 €
	Filtro de nylon	7,88	g	0,21 €	0,03 €							
	Etanol	32,59	g	-	-	Etanol	31,92	g				
Evaporação	Massa de extrato	1,00	g	0,06 €	0,06 €	Massa de extrato	1,00	g	0,35 €	0,35 €	0,35 €	- €
	Energia	2,05	kWh	0,29 €	0,14 €							
	Etanol	31,92	g	-	-	Etanol	31,92	g	0,14 €	-		
Congelação	Massa de extrato	1,00	g	0,35 €	0,35 €	Massa de extrato	1,00	g	0,36 €	0,36 €	0,36 €	- €
	Energia	0,07	kWh	0,01 €	0,14 €							
Liofilização	Massa de extrato	1,00	g	0,36 €	0,36 €	Extrato à base de C. Longa	1,00	g	41,39 €	41,39 €	41,38 €	- €
	Energia	293	kWh	41,02 €	0,14 €	Água	31,04	g	0,00002 €	0,000001 €	-	0,00002 €

Custo Aproveitado	41,38 €
Custo Desperdiçado	0,24 €
Custo total por 1g	41,62 €

Figura 21 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato corante à base de Curcuma longa L.

## VI. Extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado

Para a produção do extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado foram transportados 0,063 g de curcuma em pó com um custo de 0,25 €, sendo que o transporte desta matéria-prima foi realizado por uma transportadora, tendo um custo de 0,09€. No processo de preparação da solução tampão e da solução aquosa, entram 0,063 g de curcuma em pó. Adicionalmente para este processo foram utilizados os seguintes consumíveis: 0,144 g de ácido cítrico (0,03 €); 1,31 g de citrato de sódio (0,11 €); 52,0 g de água (0,00004 €); 0,42 g de PVP40 (0,16 €); 0,063 g de tween80 (0,02 €) e 41,16 g de etanol (0,83 €). Para a correta mistura das soluções foi utilizada, nesta fase, uma placa de agitação com um consumo energético de 0,011 kWh (0,002 €). No processo de sonicação (extração assistida por ultrassons) entram 0,063 g de massa de curcuma, e são consumidos 0,002 kWh (0,0002 €). Por fim, no processo de *spray-drying* (modo *inert loop*) entram 0,063g de massa de extrato, utilizam-se 0,20 m<sup>3</sup> de azoto (2,57 €), e consome-se um total de 1,13 kWh (0,76 kWh no *spray-drying* e 0,37 kWh no *inert loop*) com um custo de 0,16 €.

Tal como se observa na Figura 22, a produção de 1 g de extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado tem um custo de 3,56 €, sendo que 1,78 € é considerado custo desperdiçado.

## Valor Natural - C. Longa encapsulado

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo	Custo
											Aproveitado	Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	0,063	g	0,25 €	4,02 €	Massa da amostra	0,063	g	0,34	5,51	0,34	0,00
	Combustível	-	km	0,09 €	-							
Preparação solução tampão e da solução aquosa	Massa da amostra	0,063	g	0,34 €	5,51 €	Massa da amostra	0,063	g	0,83	13,33	0,83	0,00
	Energia	0,011	kWh	0,00 €	0,14 €							
	Ácido Cítrico	0,144	g	0,03 €	0,19 €							
	Citrato de sódio	1,31	g	0,11 €	0,08 €							
	Água	52,01	g	0,00004 €	0,000001 €							
	PVP	0,42	g	0,16 €	0,38 €							
	Tween80	0,063	g	0,02 €	0,29 €							
	Etanol	41,18	g	0,18 €	0,004 €	Etanol	40,35	g	-	-		
Sonicação (EAU)	Massa da amostra	0,063	g	0,83 €	13,33 €	Massa de extrato	0,063	g	0,83	13,33	0,83	0,00
Sonicação (EAU)	Energia	0,002	kWh	0,0002 €	0,14 €							
Sonicação (EAU)	Etanol	40,35	g	-	-	Etanol	39,53	g	-	-		
Spray-drying (modo inert loop)	Massa de extrato	0,063	g	0,83 €	13,33 €	Extrato à base de C. longa encapsulado	1,000	g	3,56	3,56	3,56	0,00
	Azoto	0,20	m <sup>3</sup>	2,57 €	12,95 €							
	Energia - Spray-drying	0,76	kWh	0,11 €	0,14 €							
	Energia - Inert Loop	0,37	kWh	0,05 €	0,14 €							
		Etanol	39,53	g	-	-	Etanol	39,53	g	-	-	

Custo Aproveitado	3,56 €
Custo Desperdiçado	0,00 €
Custo total por 1g	3,56 €

Figura 22 - Aplicação do MFCA - Extrato corante à base de *Curcuma Longa L.* encapsulado.

## VII. Extrato aromático à base *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada

### i. Cenário A

Para a produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca (massa de planta fresca) foram transportados 38,46 g de amostra com um custo de 1,15 € e para a produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada (massa da planta desidratada) foram transportados 50,85 g de amostra com um custo de 7,63 €. Para o transporte da matéria-prima, assumiu-se que esta foi transportada 443 km por um veículo a gasolina (5,4 L/100km) o que resulta em um custo de transporte de: 1,34 € para a planta fresca e 1,78 € para a planta desidratada.

A produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca inicia-se com o processo de extração CO<sub>2</sub> supercrítico, no qual entram 38,46 g de massa de planta fresca com um custo de 2,50 €. Neste processo, utilizou-se 562,05 g de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) com um custo de 4,72 €, filtros de extração (0,04 €) e consumiram-se 23,08 kWh (3,23 €) no forno, 11,08 kWh (1,55 €) no banho termostático e 0,64 kWh (0,09 €) na bomba de vácuo do sistema de extração.

Para a produção do extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada, no processo de extração CO<sub>2</sub> supercrítico entram 50,85 g de massa de planta desidratada com um custo de 9,40 €. Neste processo, utilizou-se 743,05 g de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) com um custo de 6,24 €, filtros de extração (0,05 €) e consumiram-se 30,51 kWh (4,27 €) no forno, 14,64 kWh (2,05 €) no banho termostático e 0,85 kWh (0,12 €) na bomba de vácuo do sistema de extração.

Tal como se observa na Figura 23, a produção de 1 g de extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca tem um custo de 12,13 € (11,81€ desperdiçado) e a produção de 1g de extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada tem um custo de 22,14 € (21,70€ desperdiçado).

### Valor Natural - R.Officinallis - fresca - Extração CO2 Supercrítico (SFE)

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	38,46	g	1,15 €	0,03 €	Massa da amostra	38,46	g	2,50 €	0,06 €	2,50 €	- €
Transporte	Combustível	443	km	1,34 €	-							
Extração SFE	Massa da amostra	38,46	g	2,50 €	0,06 €	Extrato à base de <i>R.officinallis</i> - fresco	1	g	12,13 €	0,32 €	0,32 €	11,81 €
Extração SFE	Energia - Forno	23,08	kWh	3,23 €	0,14 €							
Extração SFE	Energia - Banho Term.	11,08	kWh	1,55 €	0,14 €							
Extração SFE	Energia - Bomba de Vácuo	0,64	kWh	0,09 €	0,14 €							
Extração SFE	Dióxido de Carbono (CO2)	562,1	g	4,72 €	0,01 €	Dióxido de carbono	438,40	g				
Extração SFE	Filtro de extração	3,85	unidades	0,04 €	0,01 €							

Custo Aproveitado	0,32 €
Custo Desperdiçado	11,81 €
Custo total por 1g	12,13 €

### Valor Natural - R.Officinallis - desidratada - Extração CO2 Supercrítico (SFE)

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	50,85	g	7,63 €	0,15 €	Massa da amostra	50,85	g	9,40 €	0,18 €	9,40 €	- €
Transporte	Combustível	443	km	1,78 €	-							
Extração SFE	Massa da amostra	50,85	g	9,40 €	0,18 €	Extrato à base de <i>R.officinallis</i> - desidratado	1	g	22,14 €	0,44 €	0,44 €	21,70 €
Extração SFE	Energia - Forno	30,51	kWh	4,27 €	0,14 €							
Extração SFE	Energia - Banho Term.	14,64	kWh	2,05 €	0,14 €							
Extração SFE	Energia - Bomba de Vácuo	0,85	kWh	0,12 €	0,14 €							
Extração SFE	Dióxido de Carbono (CO2)	743,1	g	6,24 €	0,01 €	Dióxido de carbono	743,05	g				
Extração SFE	Filtro de extração	5,08	unidades	0,05 €	0,01 €							

Custo Aproveitado	0,44 €
Custo Desperdiçado	21,70 €
Custo total por 1g	22,14 €

Figura 23 - Aplicação do MFCA - Extrato aromático à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada.

## ii. Cenário B

Como referido anteriormente, na produção dos óleos essenciais de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada através do processo de hidrodestilação, é obtido um produto (óleo essencial) e um subproduto (hidrolato). Este, é constituído por uma pequena quantidade de óleo essencial que está diluído numa determinada quantidade água. Deste modo, para a produção do extrato aromático de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada com aproveitamento do hidrolato, a seguir à hidrodestilação foi executada a liofilização do hidrolato.

No final do processo, o produto final será a soma entre o óleo essencial que sai do processo de hidrodestilação com óleo essencial que sai do processo de liofilização do hidrolato. Os fluxos de materiais, consumíveis, resíduos e custos foram recalculados para a unidade funcional (1 g de extrato) e encontram-se presentes na Figura 25.

No caso da planta fresca, no processo de liofilização entram 1,57 g de massa de hidrolato, resultante do processo de hidrodestilação, com um custo de 0,18 €, sendo que este custo tem em conta os consumos associados ao processo anterior. Na liofilização são consumidos 1309,09 kWh (183,27 €). Por fim, deste processo resultam 0,07 g de óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca.

No caso da planta desidratada, no processo de liofilização, entram 0,21 g de massa de hidrolato, resultantes do processo de hidrodestilação, com um custo de 0,04 €, sendo que este custo tem em conta os consumos associados ao processo anterior. Na liofilização são consumidos 626,09 kWh (87,65 €). Por fim, deste processo resultam 0,02 g de óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada.

Tal como se observa na Figura 24, com a liofilização do hidrolato a produção de 1 g de óleo de essencial (extrato) de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca tem um custo de 197,69 € e a produção de 1 g de óleo essencial (extrato) de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada tem um custo de 120,83 €, não sendo viáveis do ponto de vista económico.

### Valor Natural - R.Officinallis - fresca - Hidrodestilação + Liofilização

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	124,59	g	3,74 €	0,03 €	Massa da amostra	124,59	g	8,09 €	0,06 €	8,09 €	- €
Transporte	Combustível	443,00	km	4,35 €	-							
Hidrodestilação	Massa da amostra	124,59	g	8,09 €	0,06 €	Masse de óleo essencial	0,93	g	14,42 €	0,12 €	0,11 €	14,13 €
Hidrodestilação	Energia - Banho Term.	39,27	kWh	5,50 €	0,14 €							
Hidrodestilação	Energia - Placa de Aq.	2,05	kWh	0,29 €	0,14 €	Massa de hidrolato	1,57	g			0,18 €	
Hidrodestilação	Água Desionizada	3,41	L	0,55 €	0,16 €							
Liofilização	Massa de hidrolato	1,57	g	0,18 €	0,12 €	Massa de óleo essencial	0,07	g	183,45 €	116,65 €	7,95 €	175,50 €
Liofilização	Energia	1309,09	kWh	183,27 €	0,14 €	Extrato à base de R.Officinallis fresca	1,00	g			8,06 €	
							<b>Custo Aproveitado</b>		<b>8,06 €</b>			
							<b>Custo Desperdiçado</b>		<b>189,63 €</b>			
							<b>Custo total por 1g</b>		<b>197,69 €</b>			

### Valor Natural - R.Officinallis - desidratada - Hidrodestilação + Liofilização

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	163,04	g	24,46 €	0,15 €	Massa da amostra	163,04	g	30,15 €	0,18 €	30,15 €	- €
Transporte	Combustível	442,00	km	5,70 €	-							
Hidrodestilação	Massa da amostra	163,04	g	30,15 €	0,18 €	Massa de Óleo essencial	0,98	g	33,18 €	0,20 €	0,20 €	32,94 €
Hidrodestilação	Energia - Banho Term.	18,78	kWh	2,63 €	0,14 €							
Hidrodestilação	Energia - Placa de Aq.	0,98	kWh	0,14 €	0,14 €	Massa de hidrolato	0,21	g			0,04 €	
Hidrodestilação	Água Desionizada	1,63	L	0,26 €	0,16 €							
Liofilização	Massa de hidrolato	0,21	g	0,04 €	0,20 €	Massa de Óleo essencial	0,02	g	87,69 €	420,20 €	6,39 €	81,30 €
Liofilização	Energia	626,09	kWh	87,65 €	0,14 €	Extrato à base de R.Officinallis desidratada	1,00	g			6,59 €	
							<b>Custo Aproveitado</b>		<b>6,59 €</b>			
							<b>Custo Desperdiçado</b>		<b>114,24 €</b>			
							<b>Custo total por 1g</b>		<b>120,83 €</b>			

Figura 24 - Aplicação do MFCA – Extrato aromático à base de R. officinallis – fresca e desidratada (Cenário B).

### iii. Cenário C

Atendendo ao Cenário C, para a produção do óleo essencial (extrato) de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada (massa de planta fresca e desidratada), foram transportados 133,71 g e 165,56 g de amostra com um custo de 4,01 € e 24,83 €, respetivamente. Para o transporte da matéria-prima, assumiu-se que esta foi transportada 443 km por um veículo a gasolina tendo um custo de 4,67 € para a planta fresca e de 5,78 € para a planta desidratada.

No caso da planta fresca, a produção inicia-se no processo de hidrodestilação em que entram 133,71 g de massa de planta fresca com um custo de 8,68 €. Neste processo utilizou-se um banho termostático com um consumo de 42,15 kWh (5,90 €), uma placa de aquecimento com um consumo de 2,20 kWh (0,31 €) e 3,66 L de água desionizada com um custo de 0,59 €.



No caso da planta desidratada, a produção inicia-se no processo de hidrodestilação em que entram 165,56 g de massa de planta desidratada com um custo de 30,62 €. Neste processo, utilizou-se um banho termostático com um consumo de 19,07 kWh (2,67 €), uma placa de aquecimento com um consumo de 0,99 kWh (0,14 €) e 1,66 L de água desionizada com um custo de 0,26 €.

O hidrolato resultante da hidrodestilação da planta fresca ou desidratada não é considerado um resíduo, uma vez que pode ser armazenado e utilizado como uma água-floral ou para obtenção da quantidade residual de óleo essencial nele contido.

Tal como se observa na Figura 25, a produção de 1g de óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca tem um custo de 15,48 € (15,36 € desperdiçado) e a produção de 1 g de óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. desidratada tem um custo de 33,69 € (33,49 € desperdiçado).

### Valor Natural - R.Officinallis - fresca - Hidrodestilação

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	133,71	g	4,01 €	0,03 €	Massa da amostra	133,71	g	8,68 €	0,06 €	8,68 €	-
	Combustível	443	km	4,67 €	-							
Hidrodestilação	Massa da amostra	133,71	g	8,68 €	0,06 €	Extrato à base de <i>R.officinallis</i> - fresco	1	g	15,48 €	0,12 €	0,12 €	15,36 €
Hidrodestilação	Energia - Banho Term.	42,15	kWh	5,90 €	0,14 €							
Hidrodestilação	Energia - Placa de Aq.	2,20	kWh	0,31 €	0,14 €							
Hidrodestilação	Água Desionizada	3,66	L	0,59 €	0,16 €							
						Massa de hidrolato (água floral)	1,688	g			Custo armazenado	0,20 €

Custo Aproveitado	0,12 €
Custo Desperdiçado	15,36 €
Custo total por 1g	15,48 €

### Valor Natural - R.Officinallis - desidratada - Hidrodestilação

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	165,56	g	24,83 €	0,15 €	Massa da amostra	165,56	g	30,62 €	0,18 €	30,62 €	0,00 €
	Combustível	443,00	km	5,78 €	-							
Hidrodestilação	Massa da amostra	165,56	g	30,62 €	0,18 €	Extrato à base de <i>R.Officinallis</i> desidratada	1	g	33,69 €	0,20 €	0,20 €	33,49 €
Hidrodestilação	Energia - Banho Term.	19,07	kWh	2,67 €	0,14 €							
Hidrodestilação	Energia - Placa de Aq.	0,99	kWh	0,14 €	0,14 €							
Hidrodestilação	Água Desionizada	1,66	mL	0,26 €	0,16 €							
						Massa de Hidrolato (água floral)	0,21	g			Custo armazenado	0,04 €

Custo Aproveitado	0,20 €
Custo Desperdiçado	33,49 €
Custo total por 1g	33,69 €

Figura 25 - Aplicação do MFCA - Óleos essenciais (extrato) de *R. officinalis* L. fresca e desidratada (Cenário C).

### VIII. Extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol

Para a produção deste extrato, foram transportados 45,11 g de Biorresíduos de Cogumelos (BRC) com um custo de 0,23 €. Para o transporte, assumiu-se que a matéria-prima foi transportada 174,4 km por um veículo a gasolina (5,4L/100 km) tendo um custo de 0,01 €.

No processo de liofilização foram utilizados 45,11 g de BRC com um custo de 0,24 € e consumiram-se 1,12 kWh (0,16 €). Já no processo de trituração entram 8,57 g de massa de BRC liofilizada com um custo de 0,07 € e consomem-se 0,005 kWh (0,001 €). No processo de extração entram 8,57 g de massa de BRC triturada com um custo de 0,08 €, 338,27 g de etanol (1,44€) como solvente e consomem-se 0,27 kWh (0,04 €). Na etapa de centrifugação entram 8,57 g de massa de BRC com um custo de 1,56 €, e consomem-se 0,33 kWh (0,05 €). No processo de filtração entram 5,71g de BRC centrifugada com um custo de 1,07 €, e são utilizados filtros de *nylon* com 7,69 g com um custo de 0,20 €. Por fim, no processo de evaporação entra 1 g de massa de BRC filtrada com um custo aproveitado de 0,22 €, e consomem-se 2 kWh (0,28 €). No final deste processo, é recuperado cerca de 80 % (270,62 g) de etanol com um valor de 1,16 €.

Tal como se observa na Figura 26, a produção de 1 g de extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol, tem um custo total de 2,41 €. Com a recuperação do etanol, numa segunda iteração será apenas necessário 0,28 € de etanol “novo” para produzir novamente este extrato. Deste modo, tal como se observa na Figura 27, com a reutilização do solvente, a produção de 1 g de extrato enriquecido em micosteróis tem um custo de 1,24 € (sendo 0,88 desperdiçado).

## Valor Natural - Micosteróis

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo		
											Aproveitado	Desperdiçado	
Transporte	Massa da amostra	45,11	g	0,23 €	0,005 €	Massa da amostra	45,11	g	0,24 €	0,01 €	0,24 €	-	
	Transporte	Combustível	174,4	km	0,01 €								-
Liofilização	Massa da amostra	45,11	g	0,24 €	0,01 €	Massa da amostra	8,57	g	0,39 €	0,01 €	0,07 €	0,32 €	
	Liofilização	Energia	1,12	kWh	0,16 €								0,14 €
	Liofilização	Vapor de água	36,54	g	-								-
Trituração	Massa da amostra	8,57	g	0,07 €	0,01 €	Massa da amostra	8,57	g	0,08 €	0,01 €	0,08 €	-	
	Trituração	Energia	0,005	kWh	0,001 €								0,14 €
Extração	Massa da amostra	8,57	g	0,08 €	0,01 €	Massa da amostra	8,57	g	1,56 €	0,18 €	1,56 €	-	
	Extração	Energia	0,27	kWh	0,04 €								0,14 €
	Extração	Etanol	338,27	g	1,44 €								0,00 €
Centrifugação	Massa da amostra	8,57	g	1,56 €	0,18 €	Massa da amostra	5,71	g	1,60 €	0,19 €	1,07 €	0,53 €	
	Centrifugação	Energia	0,33	kWh	0,05 €								0,14 €
	Centrifugação	Etanol	315,72	g	-								-
Filtração	Massa da amostra	5,71	g	1,07 €	0,19 €	Massa de extrato	1	g	1,27 €	0,22 €	0,22 €	1,05 €	
	Filtração	Filtro de nylon	7,69	g	0,20 €								0,03 €
	Filtração	Etanol	293,17	g	-								-
Evaporação	Massa de extrato	1	g	0,22 €	0,22 €	Extrato enriquecido em micosteróis	1	g	0,50 €	0,50 €	0,50 €	-	
	Evaporação	Energia	2,00	kWh	0,28 €								0,14 €
	Evaporação	Etanol	270,62	g	-								-
						Etanol Recuperado	270,62	g	1,16 €				

Custo Aproveitado	0,50 €
Custo Desperdiçado	1,90 €
Custo total por 1g	2,41 €

Figura 26 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em micosteróis.

## Valor Natural - Micosteróis

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo		
											Aproveitado	Desperdiçado	
Transporte	Massa da amostra	45,11	g	0,23 €	0,005 €	Massa da amostra	45,11	g	0,24 €	0,01 €	0,24 €	-	
	Transporte	Combustível	174,4	km	0,01 €								-
Liofilização	Massa da amostra	45,11	g	0,24 €	0,01 €	Massa da amostra	8,57	g	0,39 €	0,01 €	0,07 €	0,32 €	
	Liofilização	Energia	1,12	kWh	0,16 €								0,14 €
	Liofilização	Vapor de água	36,54	g	-								-
Trituração	Massa da amostra	8,57	g	0,07 €	0,01 €	Massa da amostra	8,57	g	0,08 €	0,01 €	0,08 €	-	
	Trituração	Energia	0,005	kWh	0,001 €								0,14 €
Extração	Massa da amostra	8,57	g	0,08 €	0,01 €	Massa da amostra	8,57	g	0,39 €	0,05 €	0,39 €	-	
	Extração	Energia	0,27	kWh	0,04 €								0,14 €
	Extração	Etanol	338,27	g	0,28 €								0,00 €
Centrifugação	Massa da amostra	8,57	g	0,39 €	0,05 €	Massa da amostra	5,71	g	0,44 €	0,05 €	0,29 €	0,15 €	
	Centrifugação	Energia	0,33	kWh	0,05 €								0,14 €
	Centrifugação	Etanol	315,72	g	-								-
Filtração	Massa da amostra	5,71	g	0,29 €	0,05 €	Massa de extrato	1	g	0,50 €	0,09 €	0,09 €	0,41 €	
	Filtração	Filtro de nylon	7,69	g	0,20 €								0,03 €
	Filtração	Etanol	293,17	g	-								-
Evaporação	Massa de extrato	1	g	0,09 €	0,09 €	Extrato enriquecido em micosteróis	1	g	0,37 €	0,37 €	0,37 €	-	
	Evaporação	Energia	2,00	kWh	0,28 €								0,14 €
	Evaporação	Etanol	270,62	g	-								-
						Etanol Recuperado	270,62	g	1,16 €				

Custo Aproveitado	0,37 €
Custo Desperdiçado	0,88 €
Custo total por 1g	1,24 €

Figura 27 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato enriquecido em micosteróis.

## IX. Extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>

### i. Cenário 1

Para a produção deste extrato, foram necessários 37,59 g de Biorresíduos de Cogumelos (BRC) com um custo de 0,19 €. Tal como descrito no extrato enriquecido em micosteróis, para o transporte assumiu-se que a matéria-prima foi transportada 174,4 km por um veículo a gasolina tendo um custo de 0,01 €. No processo de irradiação UV entram 37,59 g de massa de BRC com um custo de 0,20 € e consomem-se 0,005 kWh (0,0007€). No processo de liofilização entram 37,59 g de massa de BRC irradiados com um custo de 0,20, e consomem-se 0,93 kWh (0,13 €). No processo de trituração entram 7,14 g de massa de BRC seco com um custo de 0,06 €, e consomem-se 0,004 kWh (0,001 €). No processo de extração entram 7,14 g de massa de BRC triturada (0,06 €), e consomem-se 0,33 kWh (0,05 €). Nesta etapa, foram usadas 47,19 g de hexano, 28,09 g de metanol e 39,13 g de DMSO como solvente com um custo de 0,17 €, 0,11 € e 1,13 €, respetivamente. Por fim, neste processo são recuperados 47,19 g de hexano que vão ser utilizados na fase seguinte, pelo que não existe um desperdício deste solvente. As mesmas 7,14 g de massa de BRC entram na etapa de re-extração com um custo útil cumulativo de 1,53 € e em que há um novo consumo de 0,33 kWh (0,05 €). Neste processo, foram utilizadas 117,94 g de hexano, sendo que 70,75 g são hexano “virgem” e 47,19 g são hexano da fase anterior. Assim, o custo do hexano que entra nesta fase é só associado às 70,75 g (0,26 €) deste, pois o custo associado às 47,19 g já se encontra associado a massa de BRC que entra nesta etapa. Na fase de centrifugação, entram 7,14 g de massa de BRC (1,84 €) e consomem-se 1,25 kWh (0,18 €). No processo de filtração entram 3,57 g de massa de BRC centrifugada com um custo de 1,01 €, e são utilizados filtros de *nylon* (9,61 g) com um custo de 0,25 €. Na fase de evaporação entram 3,57 g de massa de BRC filtrada com um custo de 1,26 €, e são consumidos 8,93 kWh (1,25 €). No final deste processo, é recuperado cerca de 20 % de dois dos solventes utilizados, isto é, 94,35 g de hexano e 22,47 g de metanol. Por fim, na fase de lavagem do DMSO entram 1 g de massa de extrato com um custo de 0,70 €, e consomem-se 1,25 kWh (0,18 €) e 71,43 mL de acetato de etilo com um custo de 0,49 €. No final, foi admitida a recuperação de 100% do solvente DMSO. Tal como se observa na Figura 28, a produção de 1 g de extrato enriquecido em vitamina D<sub>2</sub> tem um custo de 3,55 € (2,18 € desperdiçado).

**Valor Natural - Vitamina D2**

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado							
Transporte	Massa da amostra	37,59	g	0,19 €	0,005 €	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	0,20 €	0,00002 €							
	Transporte Combustível	174,4	km	0,01 €	-														
Irradiação UV	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	0,20 €	0,00003 €							
	Irradiação UV Energia	0,005	kWh	0,00 €	0,14 €														
Liofilização	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	Massa da amostra	7,14	g	0,33 €	0,01 €	0,06 €	0,27 €							
	Liofilização Energia	0,93	kWh	0,13 €	0,14 €														
	Liofilização Vapor de água	30,45	g	-	-														
Trituração	Massa da amostra	7,14	g	0,06 €	0,01 €	Massa da amostra	7,14	g	0,06 €	0,01 €	0,06 €	0,000001 €							
	Trituração Energia	0,004	kWh	0,001 €	0,14 €														
Extração	Massa da amostra	7,14	g	0,06 €	0,01 €	Massa da amostra	7,14	g	1,53 €	0,21 €	1,53 €	-							
	Extração Energia	0,33	kWh	0,05 €	0,14 €														
Extração	Hexano	47,19	g	0,17 €	0,00 €	Hexano	47,19	g	-	-	-	-							
Extração	Metanol	28,09	g	0,11 €	0,00 €	Metanol	26,69	g	-	-	-	-							
Extração	DMSO	39,13	g	1,13 €	0,03 €	DMSO	39,13	g	-	-	-	-							
Re-extração	Massa da amostra	7,14	g	1,53 €	0,21 €	Massa da amostra	7,14	g	1,84 €	0,26 €	1,84 €	-							
	Re-extração Energia	0,33	kWh	0,05 €	0,14 €														
	Re-extração Hexano	70,75	g	0,26 €	0,00 €								Hexano	110,07	g	-	-	-	-
	Re-extração Hexano (fase anterior)	47,19	g	-	-								-	-	-	-	-	-	-
	Re-extração Metanol	26,69	g	-	-								Metanol	25,28	g	-	-	-	-
	Re-extração DMSO	39,13	g	-	-								DMSO	39,13	g	-	-	-	-
Centrifugação	Massa da amostra	7,14	g	1,84 €	0,26 €	Massa da amostra	3,57	g	2,01 €	0,28 €	1,01 €	1,01 €							
	Centrifugação Energia	1,25	kWh	0,18 €	0,14 €														
	Centrifugação Hexano	110,07	g	-	-								Hexano	102,21	g	-	-	-	-
	Centrifugação Metanol	25,28	g	-	-								Metanol	23,88	g	-	-	-	-
	Centrifugação DMSO	39,13	g	-	-								DMSO	39,13	g	-	-	-	-
Filtração	Massa da amostra	3,57	g	1,01 €	0,28 €	Massa de extrato	1,00	g	1,26 €	0,35 €	0,35 €	0,91 €							
Filtração	Filtro de nylon	9,61	g	0,25 €	0,03 €														
Filtração	Hexano	102,21	g	-	-								Hexano	94,35	g	-	-	-	-
Filtração	Metanol	23,88	g	-	-								Metanol	22,47	g	-	-	-	-
Filtração	DMSO	39,13	g	-	-								DMSO	39,13	g	-	-	-	-
Evaporação	Massa de extrato	1,00	g	0,35 €	0,35 €								Massa de extrato	1,00	g	0,70 €	0,70 €	0,70 €	-
Evaporação	Energia	2,50	kWh	0,35 €	0,14 €								-	-	-	-	-	-	-
Evaporação	Hexano	94,35	g	-	-								Hexano	94,35	g	0,35 €	-	-	-
Evaporação	Metanol	22,47	g	-	-								Metanol	22,47	g	0,09 €	-	-	-
Evaporação	DMSO	39,13	g	-	-								DMSO	39,13	g	-	-	-	-
Lavagem DMSO	Massa de extrato	1	g	0,70 €	0,70 €	Extrato enriquecido em Vitamina D2	1	g	1,37 €	1,37 €	1,37 €	-							
Lavagem DMSO	Energia	1,25	kWh	0,18 €	0,14 €														
Lavagem DMSO	Acetato de Etilo	71,43	mL	0,49 €	0,01 €														
Lavagem DMSO	DMSO	39,13	g	-	-								DMSO	39,125	g	1,13 €	-	-	-

Custo Aproveitado	1,37 €
Custo Desperdiçado	2,18 €
Custo total por 1g	3,55 €

Figura 28 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 1).

O hexano e o metanol recuperados no processo de evaporação podem ser utilizados numa segunda iteração deste processo. Com a sua recuperação, existe um saldo positivo de 0,35 € de hexano e 0,09 € de metanol. Numa segunda iteração, no processo de extração o hexano vai apresentar um custo de 0,00 €, uma vez que se vai utilizar o hexano recuperado (0,17 €) e o metanol vai apresentar um custo de 0,02 € para a produção deste extrato, uma vez que, existe 0,09 € de metanol recuperado que pode ser utilizado. Relativamente ao DMSO, existe uma recuperação deste solvente no final do processo de

lavagem de DMSO, tendo um saldo positivo de 1,13 €, sendo que numa segunda iteração, este solvente entra a custo zero. Na fase seguinte, re-extração, o hexano vai ter um custo de 0,08 €, uma vez que utiliza o saldo que resta da fase anterior (0,18 €), completando o custo total de hexano neste processo (0,26 €). Tal como observamos na Figura 30, 1 g de extrato enriquecido em vitamina D<sub>2</sub> com a utilização de solventes recuperados tem um custo de 1,97 € (0,82€ desperdiçado).

### Valor Natural - Vitamina D2

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado
Transporte	Massa da amostra	37,59	g	0,19 €	0,005 €	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	0,20 €	0,00 €
Transporte	Combustível	174,4	km	0,01 €	-							
Irradiação UV	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	0,20 €	0,00 €
Irradiação UV	Energia	0,005	kWh	0,001 €	0,14 €							
Liofilização	Massa da amostra	37,59	g	0,20 €	0,01 €	Massa da amostra	7,14	g	0,33 €	0,01 €	0,06 €	0,27 €
Liofilização	Energia	0,93	kWh	0,13 €	0,14 €							
Liofilização	Vapor de água	30,45	g	-	-							
Trituração	Massa da amostra	7,14	g	0,06 €	0,01 €	Massa da amostra	7,14	g	0,06 €	0,01 €	0,06 €	0,00 €
Trituração	Energia	0,004	kWh	0,001 €	0,14 €							
Extração	Massa da amostra	7,14	g	0,06 €	0,01 €	Massa da amostra	7,14	g	0,13 €	0,02 €	0,13 €	- €
Extração	Energia	0,33	kWh	0,05 €	0,14 €							
Extração	Hexano	47,19	g	- €	0,004 €	Hexano	47,19	g	-	-		
Extração	Metanol	28,09	g	0,02 €	0,004 €	Metanol	26,69	g	-	-		
Extração	DMSO	39,13	g	- €	0,03 €	DMSO	39,13	g	-	-		
Re-extração	Massa da amostra	7,14	g	0,13 €	0,02 €	Massa de extrato	7,14	g	0,26 €	0,04 €	0,26 €	- €
Re-extração	Energia	0,33	kWh	0,05 €	0,14 €							
Re-extração	Hexano	70,75	g	0,08 €	0,004 €	Hexano	110,07	g	-	-		
Re-extração	Hexano (fase anterior)	47,19	g	-	-							
Re-extração	Metanol	26,69	g	-	-	Metanol	25,28	g	-	-		
Re-extração	DMSO	39,13	g	-	-	DMSO	39,13	g	-	-		
Centrifugação	Massa da amostra	7,14	g	0,26 €	0,04 €	Massa da amostra	3,57	g	0,43 €	0,06 €	0,22 €	0,22 €
Centrifugação	Energia	1,25	kWh	0,18 €	0,14 €							
Centrifugação	Hexano	110,07	g	-	-	Hexano	102,21	g	-	-		
Centrifugação	Metanol	25,28	g	-	-	Metanol	23,88	g	-	-		
Centrifugação	DMSO	39,13	g	-	-	DMSO	39,13	g	-	-		
Filtração	Massa da amostra	3,57	g	0,22 €	0,06 €	Massa de extrato	1,00	g	0,47 €	0,13 €	0,13 €	0,34 €
Filtração	Filtro de nylon	9,61	g	0,25 €	0,03 €							
Filtração	Hexano	102,21	g	-	-	Hexano	94,35	g	-	-		
Filtração	Metanol	23,88	g	-	-	Metanol	22,47	g	-	-		
Filtração	DMSO	39,13	g	-	-	DMSO	39,13	g	-	-		
Evaporação	Massa de extrato	1,00	g	0,13 €	0,13 €	Massa de extrato	1,00	g	0,48 €	0,48 €	0,48 €	- €
Evaporação	Energia	2,50	kWh	0,35 €	0,14 €							
Evaporação	Hexano	94,35	g	-	-	Hexano	94,35	g	0,35 €	-		
Evaporação	Metanol	22,47	g	-	-	Metanol	22,47	g	0,09 €	-		
Evaporação	DMSO	39,13	g	-	-	DMSO	39,13	g	-	-		
Lavagem DMSO	Massa de extrato	1	g	0,48 €	0,48 €	Extrato enriquecido em Vit. D2	1	g	1,15 €	1,15 €	1,15 €	- €
Lavagem DMSO	Energia	1,25	kWh	0,18 €	0,14 €							
Lavagem DMSO	Acetato de Etilo	71,43	mL	0,49 €	0,01 €							
Lavagem DMSO	DMSO	39,13	g	-	-	DMSO	39,125	g	1,13 €	-		

Custo Aproveitado	1,15 €
Custo Desperdiçado	0,82 €
Custo total por 1g	1,97 €

Figura 30 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 1).

## ii. Cenário 2

Para a produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> foram necessários 300 g de Biorresíduos de Cogumelos (BRC) com um custo de 1,50 €. O transporte de BRC, sendo semelhante ao descrito anteriormente (método 1), tem um custo 0,08 € para as 300 g. No processo de trituração entram 300 g de BRC (1,58 €), e consomem-se 0,018 kWh (0,002 €). Na fase de congelação, entram 300 g de BRC triturados (1,58 €), em que este custo está associado aos custos descritos anteriormente, e consomem-se 0,03 kWh (0,004 €). Na etapa de liofilização entram 300 g de BRC congelados (1,59 €), e consomem-se 30 kWh (4,20 €). Já no processo de extração entram 30 g de BRC liofilizados com um custo de 0,58 €, consomem-se 2,5 kWh (0,35 €), e como solvente utiliza-se 789,30 g de etanol (3,37 €). Na fase de filtração, entram 30 g de BRC de cogumelos com um custo útil cumulativo de 4,30 €, e utilizam-se filtros de *nylon* (0,71 €). Na etapa de evaporação entra 1 g de BRC filtrados com um custo de 0,17 € e consomem-se 7 kWh (0,98 €). No final desta etapa, é recuperado cerca de 96% (752,89 g) de etanol, com um custo recuperado de 3,24 €. Por fim, na fase de irradiação UV entra 1 g de extrato seco com um custo de 1,15 €, e consomem-se 0,5 kWh (0,07 €).

Tal como se observa na Figura 31, a produção de 1 g de extrato enriquecido em vitamina D<sub>2</sub> tem um custo de 11,27 €. Existe a possibilidade de o etanol recuperado na fase de evaporação ser utilizado numa segunda iteração, na qual será apenas necessário 0,13 € de etanol “novo” para produzir novamente este extrato. Tal como se observa na Figura 32, a produção de 1 g de extrato de vitamina D<sub>2</sub> com a incorporação de solvente recuperado tem um custo de 8,03 € (6,92 € desperdiçado)

## Valor Natural - Vitamina D2

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo Total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado	
Transporte	Massa da amostra	300,00	g	1,50 €	0,005 €	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	1,58 €	-	
	Transporte	Combustível	174,4	km	0,08 €								-
Trituração	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	1,58 €	-	
	Trituração	Energia	0,018	kWh	0,002 €								0,14 €
Congelação	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	Massa da amostra	300,00	g	1,59 €	0,01 €	1,59 €	-	
	Congelação	Energia	0,03	kWh	0,004 €								0,14 €
Liofilização	Massa da amostra	300,00	g	1,59 €	0,01 €	Massa da amostra	30	g	5,79 €	0,02 €	0,58 €	5,21 €	
	Liofilização	Energia	30,00	kWh	4,20 €								0,14 €
	Liofilização	Vapor de água	270,00	g	-								-
Extração	Massa da amostra	30	g	0,58 €	0,02 €	Massa da amostra	30	g	4,30 €	0,14 €	4,30 €	-	
	Extração	Energia	2,5	kWh	0,35 €								0,14 €
	Extração	Etanol	789,30	g	3,37 €								0,00 €
Filtração	Massa da amostra	30	g	4,30 €	0,14 €	Massa de extrato	1	g	5,01 €	0,17 €	0,17 €	4,84 €	
	Filtração	Filtro de nylon	26,9	g	0,71 €								0,03 €
	Filtração	Etanol	773,51	g	-								-
Evaporação	Massa de extrato	1	g	0,17 €	0,17 €	Massa de extrato	1	g	1,15 €	1,15 €	1,15 €	-	
	Evaporação	Energia	7	kWh	0,98 €								0,14 €
	Evaporação	Etanol	757,73	g	-								-
Irradiação UV	Massa de extrato	1	g	1,15 €	1,15 €	Extrato enriquecido em Vit.D2	1	g	1,22 €	1,22 €	1,22 €	-	
	Irradiação UV	Eletricidade	0,5	kWh	0,07 €								0,14 €

Custo Aproveitado	1,22 €
Custo Desperdiçado	10,05 €
Custo total por 1g	11,27 €

Figura 31 - Aplicação do MFCA - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 2).

## Valor Natural - Vitamina D2

Processo	Entradas	Quant.	Un	Custo total	Custo/un	Saídas	Quant.	Un	Custo total	Custo/un	Custo Aproveitado	Custo Desperdiçado	
Transporte	Massa da amostra	300,00	g	1,50 €	0,0050 €	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	1,58 €	-	
	Transporte	Combustível	174,4	km	0,08 €								-
Trituração	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	1,58 €	-	
	Trituração	Energia	0,018	kWh	0,002 €								0,14 €
Congelação	Massa da amostra	300,00	g	1,58 €	0,01 €	Massa da amostra	300,00	g	1,59 €	0,01 €	1,59 €	-	
	Congelação	Energia	0,03	kWh	0,00 €								0,14 €
Liofilização	Massa da amostra	300,00	g	1,59 €	0,01 €	Massa da amostra	30	g	5,79 €	0,02 €	0,58 €	5,21 €	
	Liofilização	Energia	30,00	kWh	4,20 €								0,14 €
	Liofilização	Vapor de água	270,00	g	-								-
Extração	Massa da amostra	30	g	0,58 €	0,02 €	Massa da amostra	30	g	1,06 €	0,04 €	1,06 €	-	
	Extração	Energia	2,5	kWh	0,35 €								0,14 €
	Extração	Etanol	789,30	g	0,13 €								0,004 €
Filtração	Massa da amostra	30	g	1,06 €	0,04 €	Massa de extrato	1	g	1,77 €	0,06 €	0,06 €	1,71 €	
	Filtração	Filtro de nylon	26,9	g	0,71 €								0,03 €
	Filtração	Etanol	773,51	g	-								-
Evaporação	Massa de extrato	1	g	0,06 €	0,06 €	Massa de extrato	1	g	1,04 €	1,04 €	1,04 €	-	
	Evaporação	Energia	7	kWh	0,98 €								0,14 €
	Evaporação	Etanol	757,73	g	-								-
Irradiação UV	Massa de extrato	1	g	1,04 €	1,04 €	Extrato enriquecido em Vit. D2	1	g	1,11 €	1,11 €	1,11 €	-	
	Irradiação UV	Eletricidade	0,5	kWh	0,07 €								0,14 €

Custo Aproveitado	1,11 €
Custo Desperdiçado	6,92 €
Custo total por 1g	8,03 €

Figura 32 - Aplicação do MFCA - Recuperação do solvente - Extrato enriquecido em vitamina D2 (Cenário 2).



## X. Discussão e análise crítica

Como descrito nas secções anteriores, existem alguns extratos em que ocorre a recuperação dos solventes utilizados em alguns processos decorrentes dessas produções. Numa segunda iteração destas produções verifica-se uma diferença no custo total de: 1,17 € no extrato enriquecido em micosteróis; 1,58 € no extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> – Cenário 1; 3,24 € no extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> – Cenário 2; 0,51 € no extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L.; 0,71 € no extrato corante à base de *Bixa Orellana* L.; 0,15 € no extrato corante à base de *Curcuma Longa* L. Embora a diferença no custo total seja mínima à escala laboratorial, a utilização do solvente recuperado numa segunda iteração é importante, pois em escalas de maiores dimensões (piloto ou industrial) estas diferenças entre os custos serão maiores e irão originar menores custos de produção.

Assim, para melhor entender os custos associados aos desperdícios ao longo de cada uma das produções, foi elaborada uma análise que consiste na avaliação comparativa dos custos de cada produção (Tabela 17) também apresentada através de um gráfico radar (Figura 33). Os vértices deste gráfico representam os extratos provenientes destas produções, sendo que para cada vértice estará associado o custo aproveitado, o custo não aproveitado e o custo armazenado. Com o objetivo de facilitar a análise de cada um dos gráficos, adaptou-se a escala destes a uma escala logarítmica de base 10.

Tabela 17 - Resumo dos custos associados a cada uma das produções.

Análise Inicial					
	Custo Aproveitado (€)	Custo Desperdiçado (€)	Custo Total (€)	Custo Armazenado (€)	
Micosteróis	0,37	0,88	1,24	0,00	
Vitamina D2 - Cenário 1	1,15	0,82	1,97	0,00	
Vitamina D2 - Cenário 2	1,11	6,92	8,03	0,00	
H.Sabdariffa L.	1,81	1,33	3,14	0,00	
S.Nigra L.	0,05	0,35	0,39	0,00	
G.Globosa L.	2,27	3,68	5,95	0,00	
Bixa Orellana L.	79,53	1,63	81,16	0,00	
Curcuma Longa L.	41,38	0,24	41,62	0,00	
Curcuma Longa L. encapsulado	3,56	0,00	3,56	0,00	
R.Officinallis L. - fresco - Cenário A	0,32	11,81	12,13	0,00	
R.Officinallis L. - desidratado - Cenário A	0,44	21,70	22,14	0,00	
R.Officinallis L. - fresco - Cenário B	8,06	189,63	197,69	0,04	
R.Officinallis L. - desidratado - Cenário B	6,59	114,24	120,83	0,00	
R.Officinallis L. - fresco - Cenário C	0,12	15,36	15,48	0,20	
R.Officinallis L. - desidratado - Cenário C	0,20	33,49	33,69	0,00	

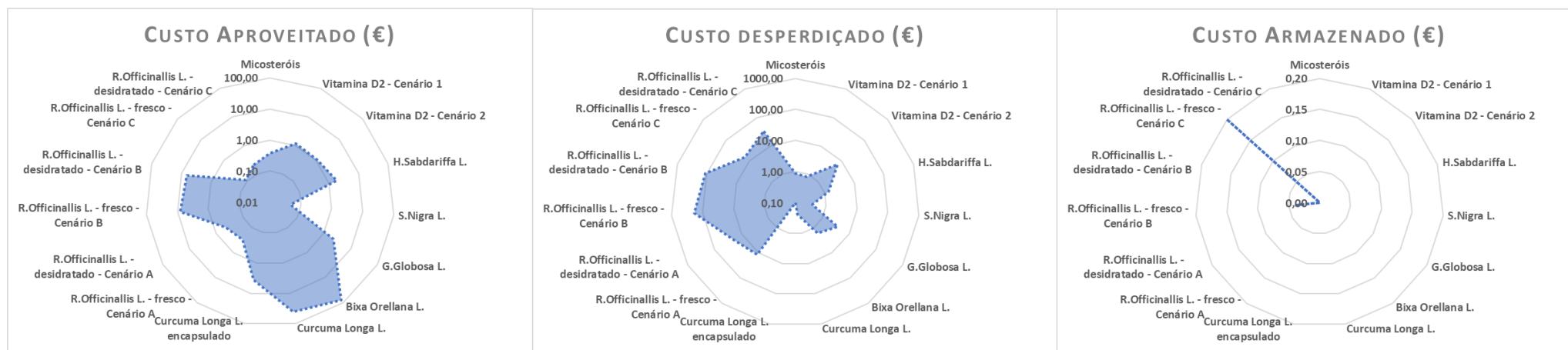


Figura 33 - Representação do gráfico radar correspondente aos custos aproveitado, não aproveitado e armazenado de todas as produções.

Cofinanciado por:

Como seria de esperar, o gráfico radar não é homogéneo, pois as produções utilizam materiais/energia diferentes e não são submetidas aos mesmos processos, pelo que não é possível haver um termo de comparação entre os fabricos. Observando a Figura 33, o óleo essencial de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca é a produção que tem um maior custo desperdiçado, o que poderá indicar necessidades de melhoria do processo.

De forma a compreender o desperdício existente em cada um dos processos unitários associados aos diferentes processos extrativos, foi elaborada uma análise que é apresentada através de um gráfico radar na Figura 34.

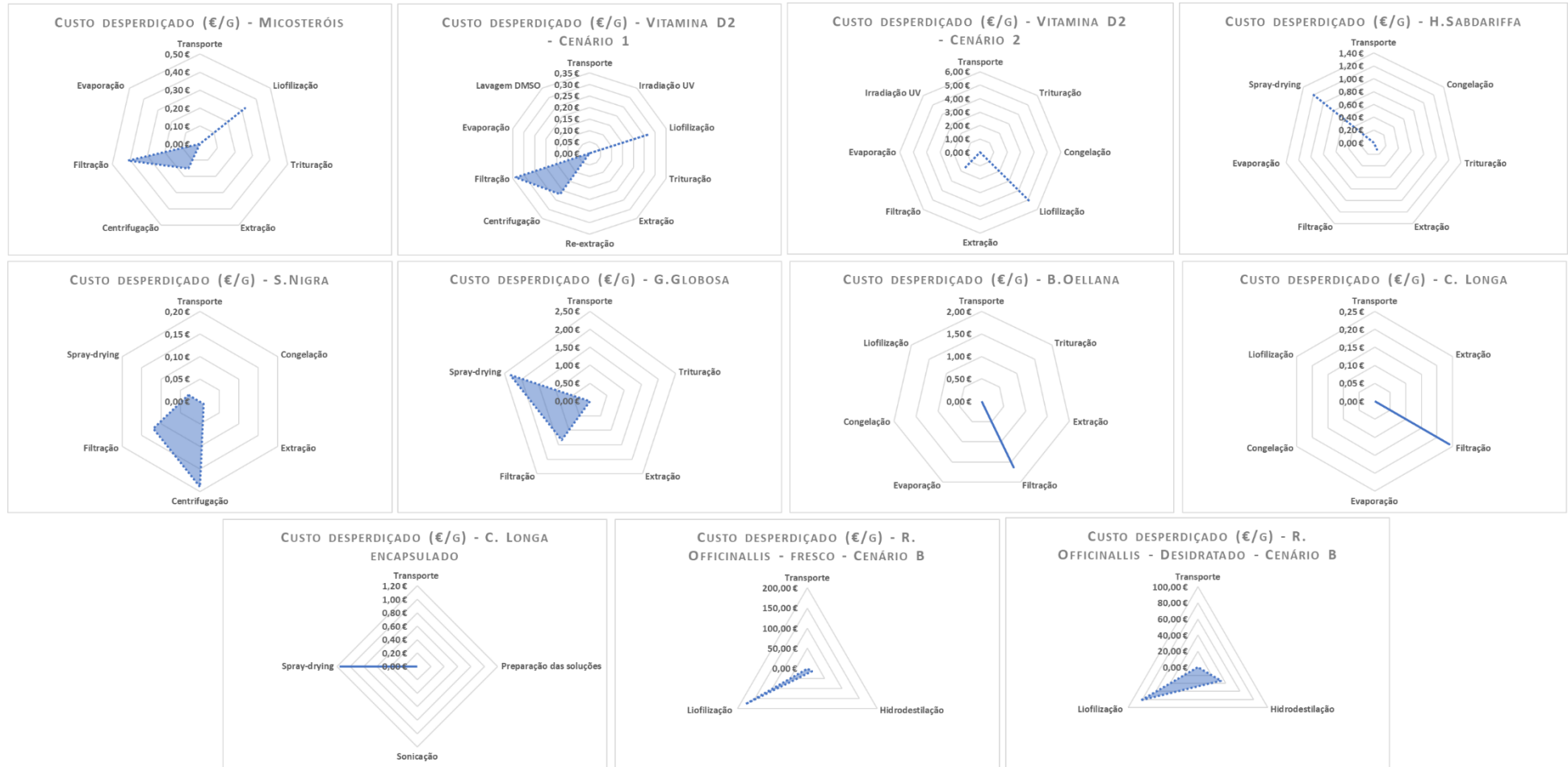


Figura 34 - Representação dos gráficos radar correspondentes aos custos não aproveitados relacionados com os processos associados a cada uma das produções.

Analisando esta figura, pode-se concluir que o processo de filtração é o processo que tem o maior custo desperdiçado na produção de extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol. Isto deve-se ao facto da quantidade de matéria-prima que fica retida no filtro de *nylon*. No extrato enriquecido em vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1), o processo de centrifugação é o que apresenta maior custo desperdiçado e para o extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2) é o processo de liofilização. Os restantes processos não apresentam um custo desperdiçado elevado, dado que, como foi clarificado no capítulo 4, os solventes recuperados são armazenados para uso posterior.

Relativamente ao extrato corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L., o processo que contém o custo desperdiçado elevado é a fase em que a matéria-prima é submetida a *spray-drying*, uma vez que, existe um desperdício de uma certa quantidade de matéria-prima. Também neste extrato, as restantes fases não apresentam um custo desperdiçado relevante, pois os solventes são armazenados para ser utilizados numa segunda experiência.

Atendendo ao extrato corante à base de *Sambucus Nigra* L., observa-se, embora com pouca relevância, que os processos de centrifugação e filtração são as fases que contêm um maior custo desperdiçado. Como se verifica na Figura 34, o processo de centrifugação é a fase que mais se destaca devido ao facto de entrarem 10,21 g de matéria-prima e só se aproveitarem 4,93 g para a fase seguinte, sendo que o restante é considerado desperdício. Por último, o processo de filtração é o que apresenta maior custo não aproveitado, dado que neste processo entram 4,93 g da fase anterior e só passam 1,67 g para a fase posterior. No que diz respeito ao extrato corante à base de *Gomphrena Globosa* L., as fases de filtração e *spray-drying* são as que revelam maior custo desperdiçado desta produção. Na fase de filtração são processadas 32,16 g de matéria-prima, mas apenas 2,03 g passam para a fase seguinte. O processo de *spray-drying* é a fase que mais se destaca devido ao facto de neste processo só se aproveitar 1 g de matéria-prima das 2,04 g que entram nesta fase, que apresentam um custo por quantidade de material mais elevado.

No extrato corante à base de *Bixa Orellana* L. a fase de filtração é a única que contribui para o custo desperdiçado, uma vez que nesta fase são processadas 5,61 g de massa de extrato e apenas 1 g passa para a etapa seguinte. Quanto ao extrato de *Curcuma*

*Longa* L. também se verifica um único custo de desperdício na fase de filtração, uma vez que, entram 4,76 g de massa de extrato e saem apenas 1 g para o processo seguinte. No extrato corante à base de *Curcuma Longa* L. encapsulado observa-se que o maior desperdício se concentra na fase de *spray-drying* em que metade dos consumíveis que entram no processo de preparação das soluções é considerado resíduo, assim como os solventes utilizados que são eliminados na totalidade.

Quanto aos extratos aromáticos à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada obtidos através de extração por fluido supercrítico, não foi possível realizar este tipo de gráfico, uma vez que, para a produção deste extrato só são necessários dois processos: o transporte da matéria-prima e a extração CO<sub>2</sub> supercrítico. Portanto, em ambas as produções, a extração CO<sub>2</sub> supercrítico é a fase que contém um maior custo desperdiçado associado, uma vez que a quantidade de matéria-prima que sai é inferior à quantidade que entra, e essa matéria-prima é considerada como desperdício. Do mesmo modo, para os processos extrativos dos óleos essenciais de *R. Officinallis* L. fresca e desidratada obtidos por hidrodestilação também não foi possível efetuar estes gráficos radar, uma vez que, só utilizam dois processos para produzir estes óleos: transporte da matéria-prima e hidrodestilação. Assim, em ambas as produções, a hidrodestilação é a fase que contém um maior custo desperdiçado, pelo facto de que a quantidade da matéria-prima que sai é inferior à quantidade de matéria-prima que entra. A diferença entre essas quantidades é considerada como substância desperdiçada. Relativamente aos extratos de *R. Officinallis* L. fresca e desidratada com aproveitamento do hidrolato, a fase de liofilização é a que apresenta maior destaque em termos de custos desperdiçados. Isto deve-se não só ao facto de sair uma quantidade menor de matéria-prima comparativamente à quantidade que entra, mas também à quantidade de energia consumida para realizar este processo.

## 5. Conclusões

Os aditivos alimentares, embora sejam ingredientes que se encontram em pequena quantidade mássica nos produtos, podem ter um impacte económico significativo. Para além disto, a existência de estudos científicos sobre *Material Flow Cost Accounting* no sector dos aditivos alimentares é reduzida. Desta forma, o contributo científico do presente estudo é importante para o desenvolvimento e caracterização económica da produção nesta área do conhecimento.

No âmbito do projeto ValorNatural®, foi recolhida informação, junto dos parceiros, para a identificação e caracterização dos sistemas em estudo dos aditivos com maior potencialidade e que se apresentavam num estado de desenvolvimento mais elevado. A caracterização dos processos produtivos foi realizada pelos parceiros à escala laboratorial. Espera-se que o contínuo desenvolvimento do trabalho dos parceiros possa conduzir, para alguns dos extratos, a uma nova bateria de dados numa escala piloto. Assim, os corantes naturais identificados com maior potencial de aplicação foram os extratos corantes à base de *Hibiscus Sabdariffa* L., de *Sambucus Nigra* L., de *Gomphrena Globosa* L., de *Bixa Orellana* L., de *Curcuma Longa* L. e de *Curcuma Longa* L. encapsulado. O extrato de aroma identificado com maior potencial foi o extrato de aroma *Rosmarinus Officinallis* L. (fresca e desidratada). Relativamente aos bioativos naturais, foram selecionados o extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente ergosterol e o extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, obtido através de dois métodos de produção diferentes.

No presente estudo, a utilização da metodologia MFCA tem como intuito realizar uma avaliação económica. Este método difere da maioria das restantes ferramentas de avaliação económica porque visa reunir aspetos ambientais e económicos e, assim, obter uma perceção mais profunda dos processos de fabrico dos novos aditivos alimentares. O MFCA divide todo o sistema produtivo em centros de quantidade (CQ), onde os *inputs* e *outputs* são quantificados, primeiramente em unidades físicas e, posteriormente em unidades monetárias. Para este caso específico, cada um dos processos envolvidos na produção de cada extrato foram definidos como centros de quantidade. Posto isto, todas as informações relacionadas com os CQ foram compiladas num mapa de fluxos, em que este apresenta os fluxos de materiais e energia como *input* e *output* de cada CQ. O custo do produto e o custo do desperdício de recursos são acumulados ao longo dos processos

e etapas do ciclo de vida. O custo de cada processo é igual ao valor de todos os recursos incorporados e que se mantém nesse mesmo processo.

Assim, foram determinados os custos de produção para os aditivos naturais identificados com maior potencial de aplicação. Assumindo o cenário com reutilização de solventes recuperados os custos de produção calculados são que se seguem: corante à base de *Hibiscus Sabdariffa* L. (3,14 €/g), corante à base de *Sambucus Nigra* L. (0,39 €/g), corante à base de *Gomphrena Globosa* (5,95 €/g), corante à base de *Bixa Orellana* L. (81,16 €/g), corante à base de *Curcuma Longa* L sem encapsulação (41,65 €/g) e com encapsulação (3,56 €/g), extrato enriquecido em micosteróis nomeadamente, Ergosterol (1,24 €/g), extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, considerando dois métodos de produção (1,97 €/g e 8,03 €/g), extratos aromáticos à base de *Rosmarinus Officinallis* L. fresca e desidratada obtidos através dos processos de extração com CO<sub>2</sub> supercrítico (fresca: 12,13 €/g; desidratada: 22,14 €/g) e de hidrodestilação sem aproveitamento do hidrolato (fresca: 15,48 €/g; desidratada: 33,69 €/g) e de hidrodestilação com liofilização do hidrolato (fresca: 197,69 €/g; desidratada: 120,83 €/g).

Neste projeto, o MFCA foi utilizado a uma escala laboratorial, pelo que os resultados apresentados foram também normalizados à mesma escala e para a unidade funcional definida (1 g de extrato produzido). Com isto, quando utilizados valores referentes a uma escala industrial, poderão ser obtidos resultados de MFCA diferentes.

Para melhor entender os custos associados aos desperdícios ao longo de cada uma das produções, foi elaborada uma análise que consiste na avaliação comparativa dos custos de cada produção através de gráficos radar de custo aproveitado, custo desperdiçado e custo armazenado. Segundo a MFCA, as perdas mássicas de matéria-prima, do extrato e de solventes ao longo do processo tem associados custos cumulativos desperdiçados que devem ser minimizados. Contudo, para a obtenção dos ingredientes em estudo, a diminuição da geração de resíduos (desperdícios) não é, muitas vezes, viável, uma vez que existem perdas mássicas fundamentais ao processo (ex.: vapor de água no processo de liofilização e matéria-prima perdida na filtração).



## 6. Referências

- [1] N. E. I. 14051:2011, “Environmental Management - Material Flow Cost Accounting - General Framework,” 2011.