

Avaliação de ciclo de vida da maçã de refugo

Life Cycle assessment of nonconforming apple

Tânia I. B. Ribeiro*, Catarina A. S. Nunes e João M. S. A. Nunes

*Centro Tecnológico e de Inovação, Departamento de Agricultura e Tecnologias Alimentares, Associação BLC3 – Plataforma para o Desenvolvimento da Região Interior Centro, Av. Calouste Gulbenkian, nº 71 Zona Industrial, 3400-060 Oliveira do Hospital, Portugal,
E-mail: *tania.ribeiro@blc3.pt, author for correspondence*

Recebido/Received: 2014.09.05
Aceite/Accepted: 2015.03.27

RESUMO

As maçãs de refugo, consideradas como um subproduto frutícola, são descartadas devido ao seu calibre reduzido, manchas, deformações, entre outros. Estas frutas não correspondem aos padrões necessários para serem comercializadas no estado fresco. Contudo, devido às suas ótimas características organolépticas não deveriam ser desperdiçadas, mas sim consideradas pelo seu potencial valor acrescentado. O processamento agroalimentar desta fruta apresenta-se como uma ótima alternativa de aproveitamento, e de entre os vários processos a desidratação tem sido destacada. A desidratação apresenta inúmeras vantagens como maior tempo de prateleira e menor volume de produto, facilitando o seu transporte e armazenamento.

Neste artigo é aplicada a metodologia de ACV para avaliar os impactos ambientais do sistema de escoamento do refugo, em que são considerados dois cenários: a maçã de refugo vendida ao retalho (C1) e a maçã de refugo submetida ao processo de desidratação para a obtenção de snacks (C2). A avaliação de várias categorias de impactos ambientais demonstrou que a desidratação se apresenta como uma excelente alternativa de valorização e aproveitamento da maçã de refugo. Este cenário evidenciou-se pelo menor contributo em termos de impacto ambiental das fases de transporte e armazenamento.

Palavras-chave: maçã, maçã de refugo, análise de ciclo de vida, desidratação

ABSTRACT

Nonconforming apple, considered as a by-product in fruit production, is discarded due to its low calibre, presence of stains and deformations, among others. These apples do not match commercialization standards when sold as fresh fruit. However, due to their outstanding organoleptic characteristics, nonconforming apples should not be discarded, but instead considered as an added value product. The agro-alimentary processing of these fruits consists of a valuable alternative for taking advantage of these otherwise wasted food, in which dehydration methods have emerged as high profile options. The dehydration technique presents innumerable advantages, including an increase in shelf life and a reduction in product size, facilitating therefore its transport and storage.

In this paper, a Life Cycle Assessment (LCA) is performed to analyse the environmental impact of the nonconforming apple disposal system, considering two scenarios: nonconforming apple sold to retail (C1) and subjected to a dehydration process in order to obtain snacks (C2). The evaluation of various parameters of environmental impact has shown that dehydration consists an excellent alternative method for the recovery and reuse of nonconforming apple. This scenario is translated by a less impact of the transport and storage phases on the different environmental parameters.

Keywords: apple, nonconforming apple, lifecycle assessment, dehydration

Introdução

O sector da fruticultura em Portugal tem verificado um forte crescimento a nível de produção e exportação. Ao nível da exportação as “frutas; cascas

de citrinos; melões” (mais 3,1%, ou seja, mais de 10 milhões de euros) passaram para a 3ª posição como principal grupo de produtos exportado em

2013. Os principais países de destino foram Espanha (33,1%), França (18,2%), Países Baixos (10,0%) e Brasil (8,6%) (INE, 2013). Relativamente à produção observada em 2013, em Portugal as árvores de fruto representam a maior fonte de produção de frutas (96,3%, em 2013), sendo que a categoria dos principais frutos frescos corresponde à produção mais intensiva (59,7%), onde a maçã se destaca com uma representatividade de 52,5% (INE, 2013).

A maçã é a espécie com maior peso na produção de frutos, representando 30,2% do volume total de frutas produzidas em Portugal, no ano de 2013. Nesse mesmo ano, a produção rondou as 287,3 mil toneladas, o que correspondeu a um aumento de 30,1% face ao ano anterior e de 16,7% face à média do último quinquénio, posicionando este ano como o melhor da última década (INE, 2013). Embora o ano de 2013 tenha apresentado ótimos resultados graças às condições de temperaturas amenas que se fizeram sentir na floração/vingamento dos frutos, esta forte dependência de fatores climáticos causa frequentemente reduções significativas a nível da produção. Por exemplo, no ano de 2012 verificou-se uma redução de 10,7% da produção a nível nacional face a 2011, devido a problemas de polinização e vingamento provocados pelas baixas temperaturas ocorridas na fase de floração dos pomares de pomóideas, que conduziram a um menor número de frutos e a calibres irregulares (INE, 2012).

Aliado aos fatores climáticos necessários para um bom rendimento, outro fator que leva à diminuição da rentabilidade frutícola é a existência de vários critérios de padronização, classificação e apresentação para o consumo de fruta fresca. A padronização vigente leva a um aumento do número de frutas descartadas devido ao calibre reduzido, manchas e deformações, entre outros defeitos. Esta fruta não conforme é assim considerada o refugo da produção frutícola, ou seja, o subproduto. No Brasil, por exemplo, entre 2003 e 2004 aproximadamente 200 mil toneladas de maçãs foram descartadas, decorrente do rigoroso processo de seleção e classificação comercial utilizada para satisfazer as exigências do consumidor (Martello *et al.*, 2010).

As maçãs de refugo não atingem os critérios mínimos necessários para serem comercializadas no estado fresco nos mercados e grandes superfícies, de acordo com Regulamento (CE) n.º1619/2001 da Comissão de 6 de Agosto, que estabelece a norma de comercialização aplicável às maçãs e peras. Porém,

a venda de maçã de refugo com calibre reduzido pode ser efetuada em embalagens conjuntamente com maçãs que satisfaçam os requisitos de calibre. No entanto, os frutos de refugo que não alcancem o calibre mínimo previsto nunca podem ultrapassar 10% em número ou em peso, e apenas podem apresentar uma variação máxima de 5 mm aquém desse calibre (Regulamento (CE) n.º1619/2001). Outro tipo de defeitos como ataques graves do encortiçado ou vidrado; lesões ligeiras ou fendas não cicatrizadas; vestígios muito ligeiros de podridão e a presença de parasitas vivos no fruto e/ou alterações da polpa devidas aos parasitas são admitidas, no âmbito da tolerância da categoria II, no máximo de 2%, em número ou em peso (Regulamento (CE) n.º1619/2001).

Apesar da não conformidade deste subproduto frutícola com as disposições relativas à qualidade e calibre, estas frutas apresentam características favoráveis em termos de composição química, aroma e sabor, que a tornam numa ótima matéria – prima para a indústria de processamento alimentar.

O escoamento de refugos provenientes das produções frutícolas para a indústria de processamento agroalimentar apresenta-se como uma alternativa vantajosa na redução da carga do refugo, permitindo por outro lado responder à constante procura por frutas e seus derivados, em consequência do aumento de consciência dos consumidores para a saúde e da busca crescente por alimentos naturais e saudáveis (Chong *et al.*, 2013).

O sector agroalimentar é uma das áreas prioritárias contidas nas políticas europeias de produção e consumo sustentáveis (Comissão Europeia, 2008). De acordo com o regulamento europeu para a eficiência dos recursos (Comissão Europeia, 2011), as metas mais importantes definidas para a agricultura no futuro próximo consistem na redução de 50% na produção de resíduos, na preservação da biodiversidade e dos ecossistemas, na redução do uso do solo, na melhoria da qualidade do solo e em uma maior independência dos combustíveis fósseis. A desidratação representa uma opção sustentável de conservação e aproveitamento do refugo das produções frutícolas, consistindo adicionalmente numa excelente alternativa para evitar as possíveis perdas que ocorrem no transporte da fruta para as superfícies comerciais (Barrett *et al.*, 2011).

O processo de desidratação consiste essencialmen-

te na redução do teor de água para um nível, em que a deterioração microbiana e a deterioração por reações químicas e enzimáticas são minimizadas (Mrad *et al.*, 2012). Isto é traduzido num aumento do tempo de vida útil da fruta, além da substancial redução de volume, facilitando o transporte e armazenamento (Vega-Gálvez *et al.*, 2012).

Considerando os diferentes derivados alimentares atualmente aceites pela sociedade como sumos, purés, conservas de fruta, compotas, a fruta desidratada tem sido alvo de elevado interesse e aceitação por parte do consumidor (Mégias-Pérez *et al.*, 2014). A fruta desidratada pode ser considerada como um alimento de conveniência e de considerável valor nutricional, indo de encontro à maior procura de produtos saudáveis pelo mercado atual. Presentemente, existe um crescente interesse em alimentos que contenham compostos com efeitos benéficos para o bem-estar e saúde (Corey *et al.*, 2013), e que paralelamente sejam de fácil preparação e/ou prontos-a-consumir (Oikonomopoulou e Krokida, 2013).

Em comparação com as frutas frescas, as frutas desidratadas apresentam vantagens nutricionais, em termos de energia total, densidade de nutrientes, teor em fibra e atividade antioxidante. A diferença existente resulta de um aumento da concentração dos diferentes compostos, devida à perda de volume (Bennett *et al.*, 2011).

As técnicas de desidratação ocupam hoje em dia um lugar de relevo na indústria agroalimentar em todo o mundo (Mégias-Pérez *et al.*, 2014). Nos últimos anos, a presença de frutas desidratadas no mercado tem aumentado consideravelmente (Vega – Gálvez *et al.*, 2012). Todavia, este crescimento tem-se verificado não só para atender à procura dos consumidores diretos, mas também para responder às necessidades da indústria de processamento alimentar para a formulação de novos produtos agroalimentares como *snacks*, cereais de pequeno-almoço, entre outros, que incluem a fruta desidratada como ingrediente (Vega-Gálvez *et al.*, 2012). Em termos económicos, em 2006 a produção de frutas desidratadas na União Europeia totalizou 1.700 milhões de euros, correspondentes a 428 mil toneladas, verificando-se que o seu consumo foi avaliado em 2300 milhões de euros e 871 mil toneladas (Mégias-Pérez *et al.*, 2014). Pelos vários motivos indicados a desidratação tem sido considerada uma alternativa de valor acrescentado para o apro-

veitamento da fruta de refugo, e uma forte aposta no mercado português.

Estudos recentes demonstram que a produção e consumo de alimentos correspondem entre 10 a 30% do impacto ambiental total de um indivíduo (Stoessel *et al.*, 2012). Para a obtenção de produtos sustentáveis é essencial avaliar o seu impacto ambiental e a utilização de recursos, considerando todo o seu ciclo de vida (Manfredi e Vignali, 2014). De tal forma, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta indispensável para analisar o impacto ambiental de um produto ao longo do seu ciclo de vida (Roy *et al.*, 2008). A metodologia de ACV é regulamentada pela ISO14040 - série de padrões internacionais (ISO14040, 2006). Este método tem sido utilizado em muitos estudos para avaliar a sustentabilidade da produção de alimentos. Efetivamente os produtos agroalimentares e seus derivados têm sido frequentemente alvos de estudo (Roy *et al.*, 2009, Nemecek *et al.*, 2007). No entanto os estudos de ACV realizados têm avaliado sobretudo a fase de cultivo dos produtos vegetais, dado o seu impacto sobre o meio ambiente, nomeadamente pela utilização de fertilizantes, pesticidas, água e energia (Goglio *et al.*, 2012, Cellura *et al.*, 2012, Abeliotis, *et al.*, 2013). Contrariamente, o impacto associado à fase de processamento tem sido negligenciado. Poucos estudos têm-se focado nesta fase, a qual varia entre os diversos países dependendo do seu nível de industrialização (Karakaya e Özilgen, 2011; Salomone e Ioppolo, 2012) e envolve a utilização de eletricidade, gás natural, diesel e o consumo de água. Além do mais, é importante considerar todas as causas de impactos ambientais de toda a cadeia de produção e distribuição, tais como o transporte e o ciclo de vida das embalagens (Manfredi e Vignali, 2014). No entanto, não existem estudos que avaliem o impacto da alternativa de valorização de processamento do refugo.

Este estudo consiste na primeira análise de impacto ambiental do refugo da maçã, desde a sua saída do local de produção até à sua colocação no mercado. Foram propostos dois cenários como destino do refugo de maçã: venda a retalho e a desidratação. O objetivo desta investigação consiste na aplicação de uma metodologia de ACV para efetuar uma avaliação comparativa das entradas e saídas de massa e energia em cada etapa de produção, da maçã de refugo vendida ao retalho em superfícies comerciais e da maçã de refugo desidratada para obtenção de *snacks*.

Materiais e Métodos

Método de Avaliação de Ciclo de Vida

O ACV consiste em quatro fases principais: definição do objetivo e âmbito, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação (ISO 14044, 2006). Cada uma dessas fases encontra-se descrita abaixo com referência ao caso de estudo em questão.

Definição do objetivo e âmbito

O caso de estudo envolve um sistema de escoamento de refugo da produção de maçã em que são exploradas duas alternativas com o intuito de aumentar a rentabilidade agrícola. O objetivo proposto foi atingido através da criação de uma unidade funcional (UF), selecionando as fronteiras do sistema relevantes e determinando-se os requisitos de dados, conforme apresentados na Figura 1.

Unidade Funcional

De acordo com a norma UNI EN ISO 14040, a unidade funcional (UF) é definida como a unidade de referência por meio do qual o desempenho de um sistema de produto é quantificado numa avaliação

do ciclo de vida (ISO 14040, 2006). Esta unidade de referência denomina-se “funcional”, uma vez que está relacionada com a função do sistema, e possibilita comparações entre diferentes sistemas de produto que executam a mesma função ou produtos semelhantes que executam diferentes funções (Milà i Canals e Polo, 2003). A função do sistema é analisar duas opções distintas de aproveitamento do refugo de maçã comparando fruta fresca e fruta sujeita ao processo de desidratação. Neste contexto para que seja possível a comparação entre os diferentes cenários, definiu-se como unidade funcional 1 ha de exploração de maçã.

Assumiu-se que 1 hectare produz em média 35 toneladas de maçã, em que 15% foi considerado refugo (5,25 toneladas) por apresentar deformações e um calibre reduzido. Na definição da UF atendeu-se ao facto do refugo de maçã se tratar de um subproduto agrícola, e do sistema apresentado ter como objetivo a valorização do refugo e o aumento da rentabilidade do sistema de produção frutícola. Segundo Milà i Canals *et al.* (2006), uma UF de base de massa é adequada quando se analisam estágios agrícolas do ciclo de vida de uma fruta.

Fronteiras do sistema e considerações

Foram modelados dois cenários. O Cenário 1 (C1) é o destino mais comum do refugo da maçã, embora

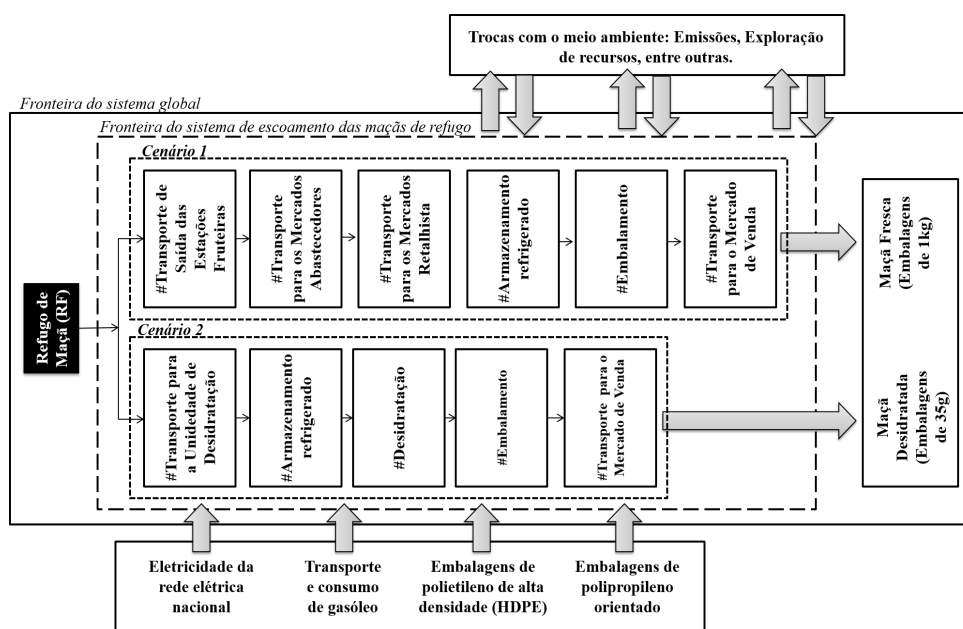


Figura 1 - Fronteiras do sistema de escoamento maçã de refugo. As linhas a tracejado (_ _ _ _) definem as fronteiras do sistema de escoamento de maçã de refugo. As linhas a tracejado mais fino (- - - - -) delimitam os diferentes cenários. Este sistema apresenta duas saídas finais, uma de maçã fresca e outra de maçã desidratada

não acolha toda a produção que apresente defeitos e de calibre reduzido, sendo esta por vezes doada para instituições de solidariedade. No C1 considera-se que toda a fruta de refugo (5,25 toneladas) produzida por 1 hectare de produção de maçã é encaminhada para o mercado retalhista para venda em sacos de 1 kg de polietileno de alta densidade (PE-HD), sendo consideradas as fases de armazenamento e embalagem, incluindo todas as fases de transporte. O Cenário 2 (C2) consiste no encaminhamento da maçã de refugo para uma unidade de desidratação, em que o principal objetivo consiste na produção de *snacks* de maçã desidratada em porções de 35g embaladas em polipropileno orientado (OPP). Neste cenário são consideradas as fases de armazenamento, desidratação, embalagem e todas as fases de transporte. A fase de consumo não é considerada devido à falta de dados e dificuldade em estimar o comportamento do consumidor (Manfredi e Vignali, 2014). As infraestruturas (instalações e equipamentos) também não foram tidas em conta. Sendo ainda de referir que não foram considerados os impactos na fase de produção agrícola, por se tratar de um sistema em que são avaliados cenários de valorização de refugo.

Inventário de ciclo de vida

O inventário de ciclo de vida (ICV) quantifica to-

dos os recursos utilizados, energia empregue e todas as emissões ambientais associados ao sistema avaliado (ISO 14040, 2006), pelo que são consideradas todas as entradas e saídas relevantes para os processos que ocorrem durante o ciclo de vida de um produto. Os dados de processo para as diferentes etapas foram recolhidos através de dados publicados em revistas e jornais técnico-científicos e outros resultantes de inventário próprio. No caso da desidratação da maçã, os dados foram obtidos através do protótipo de desidratação, que utiliza uma fonte de energia de biomassa com um rendimento de 70%. No Quadro 1 é descrito o inventário de ciclo de vida do escoamento da maçã de refugo para os dois cenários modelados. As saídas dos diferentes cenários modelados são de 5,25 toneladas de maçã fresca em embalagens de 1kg para o C1 e no caso do C2 de 0,898 toneladas de maçã desidratada em embalagens de *snack* de 35g.

Método de avaliação do impacto

A fase de avaliação de impacto é baseada nos dados recolhidos no ICV. Tendo em conta o consumo de energia e de matérias – primas e as emissões para o ambiente, efetuou-se a avaliação de impacto com o objetivo de avaliar os potenciais impactos ambientais do sistema analisado (ISO 14040, 2006) devido à emissão para efluentes, emissões para o

Quadro 1 - Inventário de Ciclo de Vida do sistema de escoamento da maçã de refugo

Inputs	Cenário 1		Cenário 2		Referência bibliográfica
	Valor	Unidade	Valor	Unidade	
Produção Agrícola Hectare de produção frutícola ^a	5,25	ton/ha	5,25	ton/ha	Inventário próprio
Transporte Deslocações de produto inicial e final ^b	2047,50	tkm	582,00	tkm	Inventário próprio
Armazenamento Armazenamento à frio ^c	5,40	MJ/ton/dia	5,40	MJ/ton/dia	Stoessel <i>et al.</i> , 2012
Desidratação Desidratação ^d	Não aplicável		8,00	MJ/ kgH ₂ O	Protótipo de Desidratação
Descasque, sistemas de alimentação e transporte	Não aplicável		0,042	kWh/kg fruta	Protótipo de Desidratação
Embalamento Embalamento	0,02	kW/kg maçã	0,02	KW/kg maçã	Inventário próprio
Filme de embalagem ^e	3,73	g/unidade de embalagem	4,04	g/unidade de embalagem	

a - Assumiu-se uma produção de 35 toneladas de maçã por hectare de produção de macieiras, em que 15% dessa produção é refugo.

b - Foi assumida a necessidade de três deslocações de ida e volta no Cenário 1: 30 km até à estação fruteira; 150 km até ao mercado abastecedor e 15 km até ao mercado retalhista e duas viagens de ida e volta, no caso do Cenário 2: 30 km até a unidade de processamento e 150 km até à superfície comercial.

c - O armazenamento é efetuado a -10°C, variando o tempo médio conforme o cenário. No Cenário 1: 6 meses e no Cenário 2: 32 dias.

d - Humidade inicial da maçã de 82,9% e final de 3% em base seca (dados obtidos por protótipo de desidratação).

e - Utilizado filme de polietileno de alta densidade (HDPE) para o Cenário 1 e polipropileno orientado filme E para o Cenário 2

ambiente e consumo de recursos. Foram adotados três métodos de avaliação de impacto: CML 2 Base-line2001, CML 2001, Cumulative Energy Demand, CED e Eco-indicador 99H. O CML2001 é uma metodologia de ACV desenvolvida pelo Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, na Holanda. Referente a este método foram consideradas as seguintes categorias de impacto: Potencial de Aquecimento Global para o horizonte temporal de 100 anos (Global Warming Potential – GWP100), Potencial de Oxidação Fotoquímica (Photochemical Oxidation Potential – POP), Potencial de Destrução da Camada de Ozono (Ozone Depletion Potential – ODP), Potencial de Acidificação (Acidification Potential – AP), e Potencial de Eutrofização (Eutrophication Potential – EP). O segundo método utilizado é o CED (*Cumulative Energy Demand* - Exigência de energia cumulativa), publicado pelo Ecoinvente que calcula a energia utilizada por um sistema expresso em MJ (Manfredi e Vignali, 2014). O Eco-indicador 99H é um método multifásico cuja abordagem está orientada para o dano, isto é, de acordo com a ISO corresponde ao ponto final no mecanismo ambiental. Neste método, uma emissão identificada no ICV é convertida numa contribuição para a categoria de impacto multiplicando-a por um fator equivalente (Goedkoop e Spriensma, 2000). As categorias de impacto são agrupadas em três categorias de dano: Saúde Humana (SH); Qualidade do Ecossistema (QE) e Recursos (R).

Resultados e Discussão

Os perfis ambientais dos diferentes meios de escoamento e valorização de maçãs de refugo são apresentados nos Quadros 2 e 3 para os diferentes cenários. Os resultados são apresentados em termos de impacto ambiental para os dois cenários modelados com o objetivo de compreender melhor os resultados do estudo de análise de impacto (Figura 2). Estes foram organizados dividindo o sistema em quatro fases: Transporte (inclui todas as deslocamentos), Armazenamento, Desidratação e Embalagem, apresentando-se simultaneamente o valor total de impacto.

De entre os cenários modelados, o C1 apresenta os maiores valores de impacto ambiental das várias categorias analisadas. A única exceção verifica-se para a categoria QE analisada através do método Eco-indicador 99H. A qualidade do ecossistema engloba as seguintes categorias de impacto: Mudanças climáticas; Radiação; Destrução da Camada do Ozono; Ecotoxicidade e Acidificação/Eutrofização. As categorias de impacto com maior expressão no sistema analisado, em ordem decrescente, são: CED, GWP 100, R, QE e AP. Os diferentes cenários foram analisados separadamente para estas categorias de impacto, de modo a que fosse possível compreender quais as fases que apresentam maior contribuição em termos de impacto nas categorias selecionadas.

Quadro 2 - Perfis ambientais do cenário 1 – Maçã de refugo na forma fresca

Maçã Fresca (Cenário 1)					
Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte	Armazenamento	Embalamento
CED	MJ eq	26031	7258,7	15533	2781,5
GWP100	kg CO ₂ eq.	1680	457	1090	130,9
POP	kg C ₂ H ₄	1,06	0,204	0,478	0,3784
ODP	kg CF-11 eq	0,0017	0,000627	0,000863	0,000214
AP	kg SO ₂ eq	16,8	3,28	12,1	1,34
EP	kg PO ₃ ⁻⁴ eq	0,992	0,55	0,396	0,0465
Saúde Humana	daly ^a	0,000209	0,000654	0,0013	0,000145
Qualidade do Ecossistema	PDF*m2 yr ^b	163	99,6	55,9	7,4
Recursos	MJ surplus ^c	2210	844	1090	278,7

^a "Disability adjusted life years" - anos de vida ajustados por incapacidade

^b "Potentially Disappeared Fraction" - Fração potencialmente desaparecida

^c "Mega Joules for surplus energy required for future acquisition" - Mega Joules para o excedente de energia necessários para futura aquisição

Quadro 3 - Perfis ambientais do cenário 2 – Maçã de refugo na forma desidratada

Maçã Desidratada (Cenário 2)						
Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte	Armazenamento	Desidratação	Embalamento
CED	MJ eq	21760	2039,4	2840,4	6446	10389,29
GWP100	kg CO ₂ eq.	1100	128,5	194	439	342,8
POP	kg C ₂ H ₄	2,58	0,0574	0,0851	2,34	0,09526
ODP	kg CF-11 eq	0,000717	0,0001759	0,000154	0,000376	0,0000109
AP	kg SO ₂ eq	13,9	0,923	2,16	9,01	1,794
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	1,99	0,1547	0,0703	1,64	0,12701
Saúde Humana	daly ^a	0,0054	0,0001843	0,00023	0,00473	0,0002564
Qualidade do Ecossistema	PDF*m2 yr ^b	319	28	9,94	276	5,808
Recursos	MJ surplus ^c	2170	238	194	463	1273,8

^a "Disability adjusted life years" - anos de vida ajustados por incapacidade

^b "Potentially Disappeared Fraction" - Fração potencialmente desaparecida

^c "Mega Joules for surplus energy required for future acquisition" - MegaJoules para o excedente de energia necessários para futura aquisição

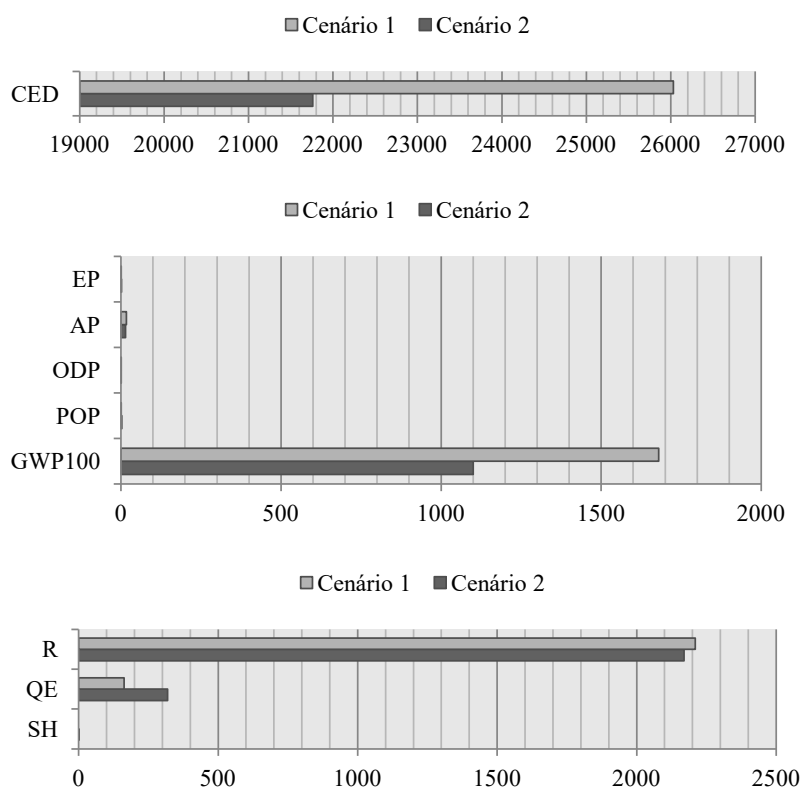


Figura 2 - Perfis ambientais dos cenários propostos analisados pelos três métodos de avaliação utilizados (CML 2001, CEDe-co-indicador99H)

Impacto do escoamento do refugo de maçã para o mercado no estado fresco (C1)

As potenciais contribuições do processo de obtenção de maçã de refugo no estado fresco em sacos de 1kg, em termos da unidade funcional de 1 hectare de exploração de maçãs para o CED, GWP 100, R, QE e AP, são representadas para as diferentes fases do C1 na Figura 3.

Após distribuição dos valores referentes ao impacto total pelas diferentes fases, é possível observar que o armazenamento é a fase com maior contributo para as categorias estudadas no C1, contribuindo entre 49 e 72% para todos os impactos, à exceção da QE em que o contributo é de 34%. A fase de transporte representa a fase com maior contributo para a QE (61,10%). Relativamente à fase de embalagem, esta contribui com cerca de 5 a 13% para o impacto das várias categorias avaliadas.

Impacto do escoamento do refugo de maçã para a obtenção de snacks (C2)

Tal como para o C1, as potenciais contribuições do C2 para a obtenção de maçã de refugo desidratada

em sacos de 35 g, em termos da unidade funcional de 1 hectare de exploração de maçãs encontram-se representadas na Figura 4.

Ao contrário do verificado em C1, as fases com maior contributo para o impacto são a desidratação (40 – 87%) e o embalagem (48 – 59%). O embalagem apresenta maior contributo para as categorias de impacto CED e R, por sua vez, a desidratação apresenta maior impacto para as restantes categorias. O contributo do transporte varia entre 7 e 12%, e o armazenamento apresenta um contributo entre 3 e 18%.

Comparação dos diferentes cenários em termos de avaliação dos impactos

Os cenários modelados nesta análise de impacto revelaram-se ótimas alternativas para o aumento do rendimento frutícola. Contudo, a desidratação permite não só aumentar o tempo de vida útil da fruta, como permite uma redução de volume substancial, que facilita o transporte e armazenamento (Vega-Gálvez *et al.*, 2012), sendo verificada a diminuição dos impactos destas fases no C2 em rela-

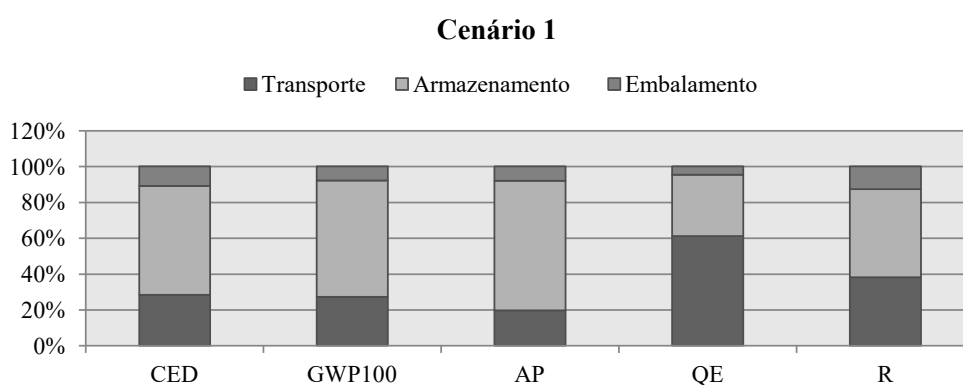


Figura 3 - Impactos ambientais do cenário 1 organizados pelas diferentes fases (Transporte, Armazenamento, Embalamento)

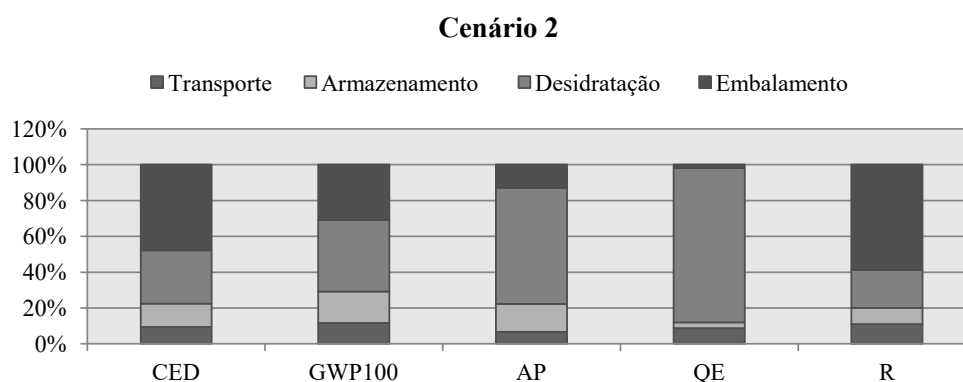


Figura 4 - Impactos ambientais do cenário 2 organizados pelas diferentes fases (Transporte, Armazenamento, Desidratação, Embalamento).

ção ao C1. Ao contrário do que acontece em C1, o armazenamento refrigerado das maçãs de refugo ocorre durante um período de tempo bastante menor. Após chegarem à unidade de processamento o refugo é apenas armazenado durante o tempo necessário para ser submetido à desidratação. Este menor tempo traduz-se numa redução substancial dos impactos do armazenamento, de 49 a 72% (C1) para 3 a 18% (C2).

Relativamente à fase de transporte, os menores impactos no C2 estão relacionados com o menor número de deslocamentos necessários e com o menor volume de produto final (0,898 toneladas). Pelo contrário, no C1 o escoamento total da maçã de refugo implica um maior número de viagens.

O maior contributo para os impactos ambientais da fase de embalagem no C2 em relação ao C1 deve – se ao tipo de filme utilizado nas embalagens. A utilização do polipropileno orientado na amostra desidratada vai de encontro às maiores exigências de proteção contra a humidade, oxigénio, perda de cor e de aromas voláteis. Durante o armazenamento e distribuição a fruta desidratada está exposta a uma grande variedade de condições ambientais como alta temperatura, humidade, oxigénio e luz. Estas podem desencadear vários mecanismos de reação, conduzindo à degradação da fruta e à perda de antioxidantes alterando de tal forma o produto que este possa ser rejeitado pelo consumidor ou mesmo tornar-se prejudicial (Henríquez *et al.*, 2013). O polipropileno orientado apresenta maiores impactos ambientais que o polietileno de alta densidade em parte devido ao seu maior peso. Uma das estratégias para minimizar o impacto ambiental da embalagem envolve a redução na quantidade de material utilizado - embalagem mais fina (Barlow e Morgan, 2013). Outra opção é a utilização de filmes mais ecológicos, que sejam de materiais de base biológica, evitando como tal o uso de materiais produzidos a partir de recursos não renováveis (Macedo *et al.*, 2013). Os filmes NatureFlex® à base de celulose feita a partir da polpa de madeira renovável constituem uma excelente alternativa para a redução dos impactos ecológicos, permitindo adicionalmente o controlo da permeabilidade à humidade necessário em produtos desidratados (<http://www.innoviafilms.com/>). A eficiência dos filmes NaturFlex® no embalamento de produtos secos como a granola apresentou resultados bastantes satisfatórios em relação ao tempo de prateleira do produto (Macedo *et al.*, 2013).

Como tal, estes filmes surgem como uma opção viável de forma a reduzir os contributos para os impactos ambientais da fase de embalagem verificada em C2.

O consumo de eletricidade e gás natural são aspetos importantes a serem considerados em termos de impactos ambientais. Alguns estudos afirmam que a eletricidade proveniente de fontes não fósseis, como os sistemas fotovoltaicos, podem representar uma economia significativa em comparação com os sistemas tradicionais de produção de energia (Peng *et al.*, 2013). Neste sistema, a utilização de uma fonte de energia de biomassa com um rendimento de 70% no protótipo de desidratação permitiu que os impactos ambientais fossem muito menos pronunciados. Porém, a utilização de um sistema combinado em que se recorra a sistemas fotovoltaicos e à biomassa poderá ser uma alternativa para reduzir significativamente os impactos ambientais da desidratação, cujo contributo é principalmente evidente na categoria QE.

Conclusões

No sentido de avaliar as alternativas de escoamento de maçã de refugo existentes, foi efetuada uma análise de ciclo de vida considerando dois cenários: Maçã Fresca (C1) e Maçã Desidratada (C2). Ao aplicar a metodologia de ACV foram considerados os consumos energéticos e de matérias – primas, as emissões para o ambiente e o consumo de recursos, de modo a executar uma avaliação dos potenciais impactos ambientais do sistema analisado. O cenário C2 apresentou um menor contributo para todas as categorias analisadas, a exceção da categoria QE. Este maior impacto está relacionado essencialmente com a fase de desidratação que não existe no cenário alternativo. O recurso a painéis fotovoltaicos poderá ser uma opção para reduzir este impacto.

O cenário C2 revelou ser a melhor opção tendo em conta o menor contributo das fases de transporte e armazenamento. Em contrapartida, no C1 existe uma maior necessidade de deslocamentos para que todo o refugo seja escoado, assim como um maior tempo de armazenamento devido à menor taxa de escoamento do produto fresco.

O tipo de filme utilizado no embalamento provoca um elevado impacto desta fase no cenário C2, o que implica processos de otimização de forma a

reduzir estes efeitos. A substituição de materiais produzidos a partir de recursos não renováveis por matérias de base biológica, como os filmes NatureFlex® poderá ser uma escolha viável.

Em suma, o cenário da desidratação da maçã de refugo revelou menores impactos ambientais, apresentando-se como uma excelente alternativa para aumentar a rentabilidade agrícola da produção frutícola. Adicionalmente, a fruta desidratada apresenta-se como um produto de valor acrescentado, permitindo o fornecimento de nutrientes e compostos promotores de saúde. A perecibilidade da fruta fresca condiciona o tempo de prateleira desta, assim como aumenta as possíveis perdas ao longo de todo o sistema de escoamento. Deste modo, a fruta desidratada surge como um produto nutritivo de maior conveniência e durabilidade. Um estudo económico poderá ser uma mais-valia, de modo a avaliar a rentabilidade dos dois cenários. Todavia, este estudo representa um ponto de partida de incentivo a um maior processamento de subprodutos frutícolas por técnicas de desidratação. Apresentando a desidratação como uma metodologia sustentável e economicamente viável.

Agradecimentos

Este estudo realizou-se com o apoio dos fundos estruturais da União Europeia, através do projeto IDT Empresas em Co-Promoção: "Fruit ECO-Drying Line". QREN/COMPETE/AdI_23266/2012.

Referências bibliográficas

- Abeliotis, K.; Detsis, V. e Pappia, C. (2013) - Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *Journal of Cleaner Production*, vol. 41, n. 1, p. 89-96.
- Barlow, C.Y.; Morgan e D.C. (2013) - Polymer film packaging for food: An environmental assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 78, n. 1, p.74-80
- Barrett, D. M. e Lloyd, B. (2011) - Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 92, n. 1, p. 7-22.
- Bennett, L. E.; Jegasothy, H.; Konczak, I.; Frank, D.; Sudharmarajan eS.; Clingeffer, P. R. (2011) - Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of Functional Foods*, vol. 3, n. 2, p. 115-124.
- Cellura, M.; Ardente, F e Longo, S. (2012) - From the LCA of food products to the environmental assessment of protected crops districts: a case-study in the south of Italy. *Journal of Environmental Management*, vol. 93, n. 2, p.194-208.
- Chong, C. H.; Law, C. L.; Figiel, A.; Wojdyło, A. e Oziembłowski, M. (2013) - Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*, vol. 141, n. 4, p. 3889-3896.
- Corey, M. E.; Kerr, W. L.; Mulligan, J. H. e Lavelli, V. (2011) - Phytochemical stability in dried apple and green tea functional products as related to moisture properties. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 44, n. 1, p. 67-74.
- European Commission (2008) - Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan. COM/2008/397.
- European Commission (2011) - Road map to a Resource Efficient Europe. COM/2011/571.
- Goedkoop, M. e Spriensma, R. (2000) - The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. *PRé Consultants, Amersfoort, Netherlands*. [citado em 2014-08-28]. Disponível em: <<http://teclim.ufba.br/jsf/indicadores/holan%20ecoindicator%2099.pdf>>
- Goglio, P.; Bonari, E. e Mazzoncini, M. (2012) - LCA of cropping systems with different external input levels for energetic purposes. *Biomass Bioenergy*, vol. 42, n. 1, p. 33-42.
- Henriquez, C.; Cordova, A.; Lutz, M. e Saavedra, J. (2013) - Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. *Industrial Crops and Products*, vol. 45, n. 1, p. 121-127.
- INE, Instituto Nacional de Estatística (2012) - Estatísticas Agrícolas 2012 [citado em 2014-08-18]. Disponível em: <http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=153380933&PUBLICACOESmodo=2>
- INE, Instituto Nacional de Estatística (2013) - Estatísticas Agrícolas 2013 [citado em 2014-08-19]. Disponível em: <http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=210756829&PUBLICACOESmodo=2>
- ISO 14040 (2006) - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. *International Organisation for Standardisation, Ge-*

neva, Switzerland.

- Karakaya, A. e Özilgen, M. (2011) - Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy*, vol. 36, n. 1, p. 5101-5110.
- Macedo, I.S.M.; Sousa-Gallagher, M.J.; Oliveira, J.C. e Byrne, E.P. (2013) - Quality by design for packaging of granola breakfast product. *Food Control*, vol. 29, n. 2, p. 438-443.
- Manfredi, M. e Vignali, G. (2014) - Life cycle assessment of a packaged tomato puree: a comparison of environmental impacts produced by different life cycle phases. *Journal of Cleaner Production*, vol. 73, n. 1, p. 275-284.
- Martello, G.; Marafon C.; Mazzoneto, V.; Rech, A.; Rodrigues, C.; Dalla Costa da Rocha, R. e Barbieri G. (2010) - Aproveitamento de maçãs impróprias para consumo humano para produção de bioetanol. *TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul*, vol. 14, n. 1, p. 39-42.
- Megías-Pérez, R.; Gamboa-Santos, J.; Soria, A. C.; Villamiel, M. e Montilla, A. (2014) - Survey of quality indicators in commercial dehydrated fruits. *Food Chemistry*, vol. 150, n. 1, p. 41-48.
- Milà i Canals, L. e Clemente Polo, G. (2003) - Life cycle assessment of fruit production. In: Mattsson, B., Sonesson, U. (Eds.), *Environmentally-Friendly Food Processing*. Woodhead. Publishing Ltd., Cambridge, UK, p. 29-53.
- Milà i Canals, L.; Burnip, G.M. e Cowell, S.J. (2006) - Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 114, n. 2-4, p. 226-238.
- Mrad, N. D.; Boudhrioua, N.; Kechaou, N.; Courtois, F. e Bonazzi, C. (2012) - Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and bioproducts processing*, vol. 90, n. 3, p. 433-441.
- Nemecek, T.; Kägi, T. e Blaser, S. (2007) - Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. *Final report ecoinvent v.2.0 n.15*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, Zurich, Switzerland.
- Oikonomopoulou, V. P. e Krokida, M. K. (2013) - Novel Aspects of Formation of Food Structure during Drying. *Drying Technology*, vol. 31, n. 9, p. 990-1007.
- Peng, J.; Lu, L. e Yang, H. (2013) - Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, n. 1, p. 255-274.
- Roy, P.; Nei, D.; Okadome, H.; Nakamura, N.; Orikasa, T. e Shiina, T. (2008) - Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. *Journal of Food Engineering*, vol. 86, n. 2, p. 225-233.
- Roy, P.; Nei, D.; Orikasa, T.; Xu, Q.; Okadome, H.; Nakamura, N. e Shiina, T. (2009) - A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, vol. 90 n. 1, p. 1-10.
- Salomone, R. e Ioppolo, G. (2012) - Environmental impacts of olive oil production: a Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily). *Journal of Cleaner Production*. vol. 28, n. 1, p. 88-100.
- Stoessel, F.; Juraske, R.; Pfister, S. e Hellweg, S. (2012) - Life Cycle Inventory and Carbon and Water FoodPrint of Fruits and Vegetables: Application to a Swiss Retailer. *Environmental Science & Technology*, vol. 46, n. 6, p. 3253-3262.
- Vega-Gálvez, A.; Ah-Hen, K.; Chacana, M.; Vergara, J.; Martinez-Monzo, J.; Garcia-Segovia, P.; Lemus-Mondaca, R. E Di Scala, K. (2012) - Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*, vol. 132, n. 1, p. 51-59.