



AMBIENTE E DIREITOS HUMANOS

Universidade de Aveiro · Portugal

8 > 10 MAIO'18



Conferência Internacional  
de Ambiente em Língua Portuguesa

XX Encontro REALP

XI CNA

Volume I

# **Ambiente e Direitos Humanos**

**Volume I**

## **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

Universidade de Aveiro

8 a 10 de maio de 2018

## **Ficha Técnica**

Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa,  
XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa  
XI Conferência Nacional do Ambiente

ISBN: 978-972-789-540-3

### **Nota explicativa**

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa e XI Conferência Nacional do Ambiente, que decorreu na Universidade de Aveiro, de 8 a 10 de maio de 2018.

### **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

### **Desenho da capa**

Joana Ivónia

### **Edição**

Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Universidade de Aveiro

# PEGADA DE CARBONO DO ABATE DE CARNE BOVINA NO NORDESTE DE PORTUGAL: COMPARAÇÃO ENTRE DUAS UNIDADES DE ABATE

**Pedro Henrique Presumido<sup>1</sup>, Filipe Maia<sup>2</sup>, Artur Gonçalves<sup>1</sup>, Tatiane Cristina Dal Bosco<sup>3</sup>, Manuel Feliciano<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Brasil

[pedrohpresumido@gmail.com](mailto:pedrohpresumido@gmail.com), [filipe.mc.maia@gmail.com](mailto:filipe.mc.maia@gmail.com), [ajq@ipb.pt](mailto:ajq@ipb.pt),  
[tatianebosco@utfpr.edu.br](mailto:tatianebosco@utfpr.edu.br), [msabenca@ipb.pt](mailto:msabenca@ipb.pt)

## Resumo

*A indústria cárnica gera emissões elevadas de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Este estudo teve por objetivo avaliar as emissões de GEE de dois sistemas de abate de carne bovina localizados no Nordeste de Portugal. A metodologia seguiu uma abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV), tendo-se utilizado o software GaBi 6.0 na análise de inventário e na avaliação de impacto. Os inputs energéticos representam as principais fontes de GEE. O poluente com maior contribuição foi o CO<sub>2</sub>. Medidas de eficiência energética podem ser aplicadas para a minimização dos impactos causados.*

## Introdução

As questões ambientais e de melhoria da eficiência dos processos produtivos têm vindo a tornar-se uma preocupação constante da estrutura de gestão da cadeia de valor do setor alimentar. Dentro deste setor, a produção de carne é um dos subsetores que mais pressão gera sobre o ambiente<sup>1</sup>.

A produção mundial de carne bovina, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos<sup>2</sup>, é aproximadamente de 60 milhões de toneladas em peso de carcaça produzida por ano. Os maiores produtores de carne são os Estados Unidos da América, com 19,0% da produção mundial, seguido pelo Brasil, com 15,3%, e a União Europeia, com 13,0%. Em Portugal são abatidas cerca de 88.645 toneladas de carne bovina por ano<sup>3</sup>.

A maior parte dos estudos de avaliação ambiental das indústrias de carne enfatiza a etapa de produção animal, onde estão os principais consumos de recursos e as principais emissões<sup>4,5</sup>. Além disso, existem diferenças substanciais na forma como a carne bovina é produzida. Comparativamente, existem menos estudos e informação bastante mais exígua sobre os processos de abate de carne bovina, principalmente no que respeita aos *inputs* de recursos, *output* de produtos e subprodutos e todas as emissões para o ambiente, por exemplo, as emissões de gases de efeito estufa (GEE). O setor pecuário mundial, por exemplo, é responsável por aproximadamente 18% das emissões globais dos GEE como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> <sup>6</sup>.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um quadro metodológico para avaliar os potenciais impactes ambientais e recursos decorrentes de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição de matérias-primas, passando pelas fases de produção e do uso do produto, até à gestão dos resíduos produzidos. Além disso, permite orientar o desenho ambientalmente consciente dos produtos, tendo por base a interpretação do ciclo de vida<sup>7</sup>.

Portanto, com este estudo pretendeu-se investigar as emissões diretas e indiretas de GEE associadas a dois sistemas de abate de carne bovina com diferentes sistemas de produção de energia térmica, caldeira de gás natural (Mng) e caldeira de pellets (Mgp), localizados no Nordeste de Portugal.

## **Material e métodos**

### **Características gerais dos sistemas de abate**

Os matadouros que forneceram os dados para este estudo fazem o abate de vários tipos de animais, entre eles, bovinos, caprinos, ovinos e suínos. Contudo, o estudo teve como objetivo apenas a ACV da produção da carne bovina. Foram considerados dois sistemas de abate de carne bovina, um matadouro com caldeira a gás natural (Mgn) e outro matadouro com caldeira a pellets (Mgp). Além da diferença no combustível das caldeiras, os matadouros apresentam eficiências de abate distintas.

O processo de abate no Mgn tem um funcionamento usual de 28 horas de trabalho semanais, resultando em aproximadamente 600.000 kg de carne abatida por ano. O combustível utilizado para a caldeira no matadouro é o gás natural. O gás natural é utilizado para a produção de água quente e no cozedor de sangue do matadouro.

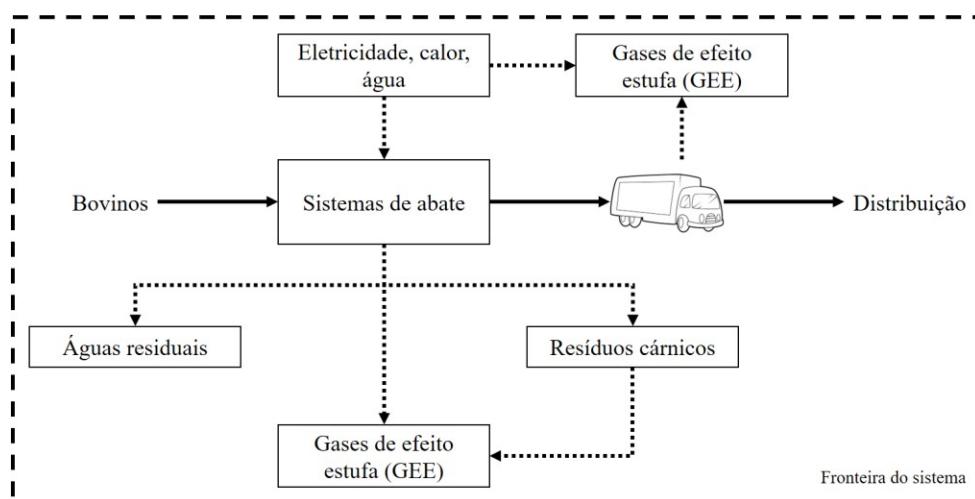
O processo de abate no Mgp também envolve um período de 28 horas de trabalho por semana, porém o abate de carne bovina é de aproximadamente 900.000 kg por ano. Além dos pellets como combustível para a caldeira, o matadouro possui uma caldeira

alimentada a gás propano, que é utilizada apenas no abate de suínos (chamuscagem) e como *backup* na falta de pellets.

## Unidade Funcional, Fronteira do Sistema e Alocação

Para auxiliar a interpretação e a comparação dos resultados, a unidade funcional (UF) utilizada foi de 1 kg de carcaça de bovino à saída do matadouro.

A fronteira do sistema para a ACV dos sistemas de abate de bovinos é apresentada na Figura 1. A disponibilização de carne bovina ao consumidor envolve um conjunto de etapas produtivas bastante complexas. O processo de abate consome calor, eletricidade e água e gera produtos, subprodutos, resíduos e águas residuais. Além do processo de abate, o uso de energia, o transporte (do resíduo produzido para o incinerador e da carne abatida para a distribuição) e o tratamento por incineração dos resíduos cárnicos produzidos nos matadouros foram incluídos como fontes de GEE.



**Figura 1:** Descrição da fronteira do sistema para ACV dos sistemas de abate de carne bovina.

Foram considerados os processos que são possíveis para se obter dados reais e confiáveis relativamente ao funcionamento das unidades de abate. Esta ACV pretendeu representar pelo menos 95% da massa total, 90% dos insumos energéticos totais<sup>8</sup> e todos os insumos de relevância ambiental significativa para a cadeia produtiva de carne bovina. Diante disso, alguns dados foram excluídos do estudo como agentes de limpeza, utensílios utilizados na construção dos matadouros e demais obras e o transporte do consumidor final até ao talho. A alocação dos *inputs* e *outputs* aplicada a este estudo foi efetuada com base na massa do peso dos animais<sup>9</sup>

## Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Para análise de inventário do ciclo de vida, foi levado em consideração as entradas dos processos, definidas como os recursos utilizados, e as saídas para o ambiente (emissões) ligadas ao abate da carne bovina. Os *inputs* baseiam-se, principalmente, nos dados obtidos através de questionários aplicados, mas também em informação recolhida junto de especialistas das diferentes etapas da fileira. Os principais *inputs*, expressos em kg por UF, encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1:** Principais *inputs* associados com os processos de abate nos matadouros Mgn e Mgp.

<i>Input</i>	Quantidade	Unidade
<b>Mgn</b>		
Água	0,008	kg/UF
Animal para abate	1,50	kg/UF
Energia elétrica	0,15	kWh/UF
Energia térmica	0,25	kWh/UF
<b>Mgp</b>		
Água	0,004	kg/UF
Animal para abate	1,80	kg/UF
Energia elétrica	0,08	kWh/UF
Energia térmica	0,22	kWh/UF

A determinação das emissões (*outputs*) dos sistemas de abates estudados foi assente nos dados de base do *software* GaBi 6.0 e de referências bibliográficas (Tabela 2).

Os *inputs* e *outputs* dos processos de energia elétrica foram obtidas através de um *mix* energético de produção de eletricidade para Portugal, onde estão incluídas as energias via queima de carvão, gás natural, combustíveis, biomassa, resíduos, energia hidroelétrica, fotovoltaica e eólica.

A base de dados do GaBi 6.0 também foi aplicada para os *inputs* e *outputs* dos transportes entre os sistemas de abate e a distribuição do produto final, o transporte dos resíduos gerados desde o matadouro até à unidade de incineração, as emissões da queima de combustível nos matadouros e resultantes da incineração dos resíduos cárnicos. As distâncias percorridas dos matadouros até ao tratamento dos resíduos gerados e até aos locais de comercialização da carne são, respetivamente, 100 km para Mgn e Mgp, e 50 km para Mgn e Mgp. Todos os processos incluídos no *software* foram utilizados para a aplicação em Portugal e/ou para a União Europeia.

**Tabela 2:** Principais outputs associados ao processo de abate de bovinos.

<b>Output</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>referência</b>
<b>Mgn</b>			
Águas residuais	0,008	kg/UF	Questionário
Carnia química de oxigênio (emissões orgânicas para água)	$3,92 \cdot 10^{-3}$	kg/UF	Mogensen et al. <sup>10</sup>
Carne bovina	1	kg/UF	UF
Nitrato (emissões inorgânicas para água)	$6,07 \cdot 10^{-4}$	kg/UF	Pinto et al. <sup>11</sup>
Resíduos sólidos	0,495	kg/UF	Questionário
Emissões orgânicas e inorgânicas para o ar	Base de dados do <i>software</i> Gabi 6.0		
<b>Mgp</b>			
Águas residuais	0,004	kg/UF	Questionário
Carnia química de oxigênio (emissões orgânicas para água)	$5 \cdot 10^{-3}$	kg/UF	Mogensen et al. <sup>10</sup>
Carne bovina	1	kg/UF	Unid. funcional
Nitrato (emissões inorgânicas para água)	$3,43 \cdot 10^{-4}$	kg/UF	Pinto et al. <sup>11</sup>
Resíduos sólidos	0,799	kg/UF	Questionário
Emissões orgânicas e inorgânicas para o ar	Base de dados do <i>software</i> Gabi 6.0		

## **Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida**

Na fase final de avaliação do impacto ambiental, os resultados foram interpretados em termos de aquecimento global para um horizonte de tempo de 100 anos pelo método de CML 2001<sup>12</sup> e atualizados para o ano de 2016<sup>13</sup> no *software* GaBi 6.0.

Os resultados foram expressos em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) que é a quantidade de emissão de dióxido de carbono que causaria o mesmo efeito radiativo integrado num determinado horizonte de tempo, como uma quantidade emitida de um GEE de longa duração ou uma mistura de GEE. A emissão de CO<sub>2</sub>-eq é obtida pela multiplicação da emissão de GEE pelo seu potencial de aquecimento global (PAG) para o horizonte de tempo dado<sup>14</sup>. A Equação 1 indica o modo de realização do cálculo da categoria de aquecimento global. Onde, PAG<sub>a,i</sub> é o PAG para a substância “i” integrada ao logo de

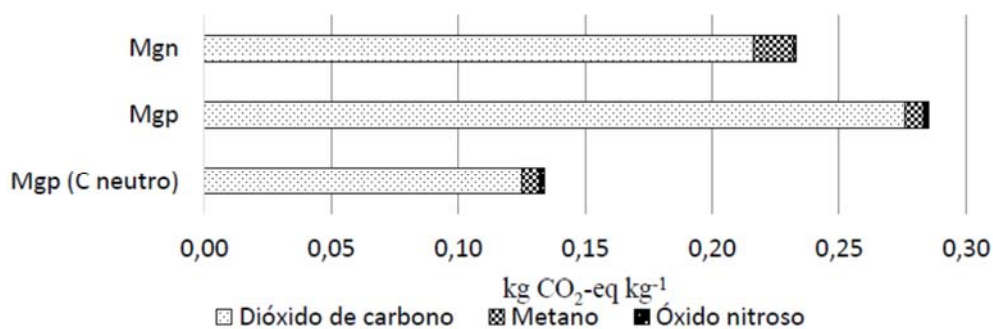
um ano, “*a*”, expressa em kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> de emissão e *mi* é quantidade de substância “*i*” emitida em kg.

$$PAG = \sum PAG_{a,i} * m_i \quad (1)$$

## Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta as emissões diretas e indiretas de GEE nos matadouros com caldeiras a gás natural (Mgn) e com caldeiras a pellets (Mgp). Os matadouros obtiveram emissões de 0,233 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para o Mgn e de 0,285 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para o Mgp.

A utilização de pellets de biomassa florestal como combustível é geralmente considerada com efeito neutro para o forçamento radiativo, uma vez que o dióxido de carbono libertado durante o processo de combustão é absorvido posteriormente pelas restantes árvores, criando assim um ciclo natural de absorção de dióxido de carbono<sup>15</sup>. Neste estudo, as emissões de GEE foram consideradas com e sem a contribuição deste processo de combustão para efeito de comparação entre os cenários.



**Figura 2:** Emissões de GEE decorrentes dos processos associados aos matadouros com caldeira a gás natural (Mgn) e com caldeira a pellets (Mgp/Mgp (C neutro)).

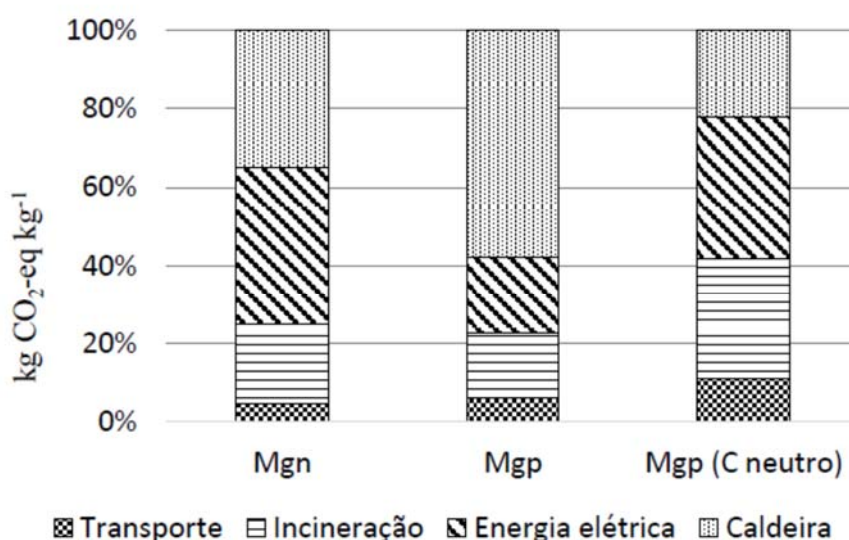
Mogensen et al.<sup>10</sup> estimaram emissões de GEE em todo o sistema produtivo de carne bovina na Dinamarca, desde a produção do alimento até ao abate, de 19 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, sendo que 0,2 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> foi atribuído aos processos do matadouro. Neste mesmo sentido, Desjardins et al.<sup>16</sup> reportaram que as emissões de GEE associadas ao transporte para as operações de matadouro e abate foram de 0,18 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, ou cerca de 2% das emissões de GEE da produção animal. Estes resultados mostram que a intensidade do impacte ambiental relacionado com as emissões de GEE nos matadouros é inferior à intensidade do impacte associada aos processos da produção animal.

O poluente com destaque para a emissão de GEE dos dois sistemas de abate de carne bovina estudados é o dióxido de carbono (Figura 2). Este poluente foi atribuído principalmente à produção e consumo de energia térmica e elétrica<sup>17</sup>.

Considerando-se a queima de pellets da caldeira do Mgp como neutra em relação ao carbono, as contribuições e emissões para a categoria de aquecimento global foram menores do que as estimadas para o Mgn. Para este estudo, os valores totais das emissões de GEE no Mgp foram reduzidos em 53% pela neutralização do carbono na caldeira a pellets (de 0,285 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para 0,134 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>).

### Principais contribuições da pegada de carbono

As contribuições por fonte para as emissões de GEE do processo de abate podem ser observadas na Figura 3.



**Figura 3:** Contribuição percentual de cada uma das fontes associadas aos matadouros (Mgn e Mgp/Mgp(C neutro)) para as emissões de GEE.

De um modo geral, constata-se que o uso de *inputs* como eletricidade e combustível, em particular, são os maiores contribuidores da pegada de carbono nos sistemas de abate estudados. O uso de energia elétrica contribui com 40,1% e 19,5% no Mgn e Mgp, respetivamente. Enquanto a produção local de energia térmica é responsável pela emissão 34,9% no Mgn e de 58,0% no Mgp.

Com os dados obtidos dos questionários dos sistemas de abate foi possível identificar a etapa ou o processo energeticamente mais intensivo (Tabela 3). Em ambos os

sistemas de abate, a refrigeração, requerida para o armazenamento temporário das carnes, foi o principal consumidor de eletricidade, seguindo-se os processos de produção, iluminação e ar comprimido. Estes resultados são similares a estudos de Ramírez et al.<sup>17</sup> que analisaram quatro sistemas de abate de carne bovina na União Europeia.

**Tabela 3:** Contribuições sobre a energia elétrica em percentagens e as quantidades de pegada de carbono para cada matadouro estudado.

Etapa / Processo	Mgn (%)	PAG (kg CO <sub>2</sub> -eq kg <sup>-1</sup> )	Mgp (%)	PAG (C neutro) (kg CO <sub>2</sub> -eq kg <sup>-1</sup> )
Refrigeração	60,0	0,049	47,5	0,023
Produção	20,0	0,016	36,6	0,018
Iluminação	15,0	0,012	7,6	0,004
Ar comprimido	5,0	0,004	8,3	0,004

Pode perceber-se a diferença na eficiência de processamento de carne de cada matadouro (Figura 3). Os resíduos cárnicos gerados dos matadouros foram considerados para a categoria de aquecimento global<sup>10</sup>. A quantidade de emissões de GEE do processo de tratamento de resíduos cárnicos produzidos é também um indicador de eficiência do processo de abate, uma vez que informa indiretamente acerca da quantidade de resíduos direcionados para incineração. Assim, quanto menor as perdas durante o processo de abate, maior a quantidade de carne disponível para comercialização. A incineração dos resíduos cárnicos contribuiu para as emissões de GEE em 20,5% para Mgn e 16,6% para Mgp (Figura 3).

Outro dado de destaque é a contribuição das emissões das caldeiras, em que se observa que o Mgp teve uma maior emissão de GEE (58,0%) do que o Mgn (34,9%) (Figura 3). Porém, quando se analisa o Mgp, considerando que a queima de pellets tem um efeito nulo para a categoria de aquecimento global, a contribuição da caldeira diminui para 22%, valor bem menor do que o estimado para o Mgn.

Os transportes utilizados durante o processo de abate da carne bovina apresentaram baixa contribuição para os GEE em comparação com os outros processos envolvidos. Os resultados foram de 4,50% para Mgn e 5,90% para Mgp.

## **Propostas de minimização dos potenciais de impactes ambientais**

Os impactes ambientais causados pelos matadouros são relevantes, principalmente para os processos de consumo de eletricidade e queima de combustíveis para obtenção de energia térmica.

Os resíduos cárnicos (subprodutos) gerados podem ser usados como matérias-primas ou subsidiárias de outras atividades. O objetivo principal da utilização dos subprodutos é reduzir o uso de recursos, a fim de evitar os custos do tratamento deste material e agregar valor ao resíduo<sup>10</sup>.

Para a minimização dos impactes causados pelos transportes, uma solução pode passar por localizar a entrega do produto final e o tratamento dos resíduos cárnicos em locais próximos do abate. Isso poderia minimizar a quantidade de quilómetros percorridos pelos veículos e, conseqüentemente, minimizar a quantidade de poluentes que são lançados no ambiente, visto que a quantidade de emissão dos veículos é calculada pelo consumo de combustível<sup>18</sup>.

Por fim, as emissões relacionadas com o consumo de energia elétrica e térmica representam o fator de impacto mais relevante dos matadouros. Por isso, algumas ações a ter em consideração devem envolver uma gestão racional da energia, com medidas de eficiência energética e estudos energéticos nos matadouros para identificar o ou os principais processos consumidores de energia elétrica em cada subsetor. Além disso, seria interessante um estudo para viabilizar a utilização de fontes renováveis de energia elétrica para os matadouros<sup>19</sup>. O calor produzido nas caldeiras também poderia, através de um estudo de caso, ser utilizado para produção de energia elétrica ou utilizar o calor residual para outros fins<sup>20</sup>.

## **Conclusões**

As principais diferenças e maiores contribuições para a pegada de carbono encontradas entre os sistemas de abate foram as emissões pela necessidade de utilização de energia térmica e elétrica, com maiores valores para o Mgn. Medidas de eficiência energética podem ser aplicadas para a minimização dos impactes causados. A diminuição dos GEE gerados pela incineração dos resíduos sólidos poderia ser diminuída com a adoção de tecnologias de reaproveitamento destes resíduos como subprodutos. A diminuição dos impactes gerados pelo transporte poderá ser reduzida com a diminuição das distâncias entre as unidades de abate e as unidades de tratamento dos resíduos cárnicos, criando uma relação interempresarial onde existam vantagens mútuas ao se comercializar resíduos ou subprodutos gerados num determinado processo produtivo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas envolvidas pela disponibilização de dados primários relevantes para este estudo.

## Referências

1. T. Garnett, "Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)?", *Food Policy*, 36, S23-S32 (2011) USDA/Foreign Agricultural Service, "Livestock and Poultry: World Markets and Trade", Office of Global Analysis, 2016.
2. Instituto Nacional de Estatística - INE, "Produção de carne por tipo de carnes e consumo nacional", 2015. Acedido em 18 de maio de 2017, em: <http://www.ine.pt>.
3. T. L. T. Nguyen, J. E. Hermansen, and L. Mogensen, "Environmental consequences of different beef production systems in the EU", *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 756-766 (2010).
4. L. Mogensen, T. Kristensen, N. I. Nielsen, P. Spleth, M. Henriksson, C. Swensson, A. Hessle, and
5. M. Vestergaard, "Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden", *Livestock Science* 174, 126-143 (2015).
6. S. Gonzalez-García, S. Belo, A. C. Dias, J. V. Rodrigues, R. R. da Costa, A. Ferreira, L. P. de Andrade, and L. Arroja, "Life cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of improvement options", *Journal of Cleaner Production* 100, 126-139 (2015).
7. R. Santagata, M. Ripa, and S. Ulgiati, "An environmental assessment of electricity production from slaughterhouse residues" Linking urban, industrial and waste management systems, *Applied Energy* 186, 175-188 (2017).
8. A. Pascale, T. Urmee, and A. Moore, "Life cycle assessment of a community hydroelectric power system in rural Thailand" *Renewable Energy*, 36(11), 2799-2808 (2011).
9. T. T. H. Nguyen, H. M. G. van der Werf, M. Eugène, P. Veysset, J. Devun, G. Chesneau, and M. Doreau, "Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems", *Livestock Science*, 145(1-3), 239-251 (2012).
10. L. Mogensen, T. L. T. Nguyen, N. T. Madsen, O. Pontoppidan, T. Preda, and J. E. Hermansen, "Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output", *Journal of Cleaner Production*, 133, 284-293 (2016).
11. E. M. M. Pinto, M. E. F. Silva, and I. P. L. Brás, "Monitorização do Funcionamento da ETAR de um Matadouro - Caso de Estudo". *Millenium*, 48, 173-183 (2015).
12. J. B. Guinée, M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. Oers, V. Wegener, A. Sleeswijk, S. Suh, Udo de Haes, H. A., H. de Bruijn, R. van Duin, and M. A. J. Huijbregts, "LCA – An operational guide to the ISO-standards", Part 2b: Operational annex (Final report. May 2001). Institute of Environmental Science (CML), Faculty of Science. Leiden University. The Netherlands, 2001.
13. CML, "CML-IA Characterisation Factors", Update information version 4.7, released January 2016. <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.htêml#downloads>.
14. IPCC, "Climate Change 2007: Synthesis Report", Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, RK and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.
15. M. Röder, C. Whittaker, and P. Thornley, "How certain are greenhouse gas reductions from bioenergy? Life cycle assessment and uncertainty analysis of wood pellet-to-electricity supply chains from forest residues", *Biomass and Bioenergy*, 79, 50-63 (2015).

16. R. L. Desjardins, D. E. Worth, X. P. C. Vergé, D. Maxime, J. Dyer, and D. Cerkowniak, "Carbon footprint of beef cattle", *Sustainability*, 4(12), 3279-3301 (2012).
17. C.A. Ramírez, M. Patel, and K. Blok, "How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries", *Energy* 31, 1711-1727 (2006).
18. EMEP/EEA, "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016", European Environment Agency. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.
19. A. González-González, M. Collares-Pereira, F. Cuadros, and T. Fartaria, "Energy self-sufficiency through hybridization of biogas and photovoltaic solar energy: An application for an Iberian pig slaughterhouse", *Journal of Cleaner Production*, 65, 318-323 (2014).
20. O. Ashrafi, S. Bédard, B. Bakhtiari, and B. Poulin, "Heat recovery and heat pumping opportunities in a slaughterhouse", *Energy*, 89, 1-13 (2015).