

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUÉLY FABIANA TONIOLLI

PEGADA DE CARBONO DE PORTÃO A PORTÃO DE FORNO ELÉTRICO

CURITIBA

2015

SUÉLY FABIANA TONIOLLI

PEGADA DE CARBONO DE PORTÃO A PORTÃO DE FORNO ELÉTRICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof. M.<sup>a</sup> Marcela Valles Lange  
Co-orientadora: Prof. M.<sup>a</sup> Greyce Maas

CURITIBA

2015

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus pela dádiva da vida e por me guiar por todos os caminhos.

Aos meus queridos pais Nilto e Izabel, que foram meus primeiros mestres, exemplos de dedicação e de amor, que me ensinaram a não desistir dos sonhos e que sempre estiveram ao meu lado.

As minhas irmãs Alessandra e Ana, por fazerem parte de minha vida, pelos bons e maus momentos, por todo apoio e cumplicidade.

Ao meu amor Silvio que além de fazer feliz, soube compreender as minhas ausências, que me motivou a buscar meus ideais, que dividiu todas as angústias e somou alegrias por todo este percurso e principalmente por não permitir que eu desistisse, me ajudando a alcançar essa conquista.

Um agradecimento especial a prof. M.<sup>a</sup> Marcela, que me orientou com excelência e simpatia, que não mediu esforços para me auxiliar e para permitir que esse trabalho fosse realizado da melhor forma possível. Obrigada pelas inúmeras sugestões, por toda atenção e dedicação. Agradeço a prof. M.<sup>a</sup> Greyce por todo auxílio, por todo o conhecimento contribuído enriquecendo este trabalho.

A todos os amigos, os que levo comigo há muitos anos, outros encontrados pelos caminhos da vida, mas que permaneceram devido a sua importância e aos conhecidos durante a especialização, muito obrigada por tonarem essa jornada mais leve, descontraída e muito mais alegre.

A todos os amigos da empresa, os quais eu divido grande parte de meu dia, obrigada pelo apoio, pelas risadas e por toda a ajuda.

A Instituição pela oportunidade de realizar esse curso e por me proporcionar conhecimento.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	6
1.1	Objetivos .....	11
1.1.1	Geral.....	11
1.1.2	Específicos .....	11
<b>b.</b>	Propor medidas e/ou estratégias de mitigação e diminuição da pegada de carbono do produto. ....	11
2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
2.1	PEGADA DE CARBONO DA FABRICAÇÃO DE FORNO ELÉTRICO ...	12
2.1.1	Objetivo da ACV .....	12
2.1.2	Escopo.....	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4	CONCLUSÕES .....	33
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

# **PEGADA DE CARBONO DE PORTÃO A PORTÃO DE FORNO ELÉTRICO**

Suély Fabiana Toniolli <sup>1</sup>

Orientadora: M.<sup>a</sup> Marcela Valles Lange

Co-orientadora: Prof. M.<sup>a</sup> Greyce Maas

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental, Bacharel, Rua Florianópolis nº 69 – Centro - Benedito Novo – SC, e-mail: suely.engambiental@gmail.com.

## **RESUMO**

Este estudo propõe-se realizar a contabilização da pegada de carbono do processo de fabricação do produto forno elétrico através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com escopo de portão a portão. Foram consideradas todas as entradas e saídas relevantes do processo de fabricação, contemplando assim o processo de aquisição de matéria-prima, consumo de água, energia elétrica e gás natural, emissão de efluentes líquidos e emissão atmosférica. Para contabilização da pegada de carbono e definição dos inventários utilizados, foi utilizado o software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool, o qual além de possuir base de dados própria, possui a maior base de inventários de ciclo de vida do mundo o ecoinvent. Quanto à avaliação dos processos produtivos constatou-se que os processos de pintura a pó e tratamento de superfície – decapagem são os que mais contribuem para a pegada de carbono, por sua vez as matérias-primas aço fino frio e o plástico injetado possuem a maior contribuição.

Palavras-chave: Pegada de Carbono, Gases de Efeito Estufa, Produto.

## **ABSTRACT**

This study proposes to realize the accounting for the carbon footprint of the production process of the product electric oven using the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) in a gate-to-gate scope. All the inputs and outputs of the relevant manufacturing process, contemplating acquirement of raw materials, consumption of water, electricity and natural gas, emissions of liquid effluents and atmospheric pollutants. For calculating the carbon footprint and defining the inventories, software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool was used, which has its

own database and also the largest LCA inventory database of the world, the ecoinvent database. Regarding the assessment of the productive processes it was found that the processes of powder coating and surface treatment - stripping are those which contribute the most to the carbon footprint, in turn raw materials fine cold steel and injected plastic have the greatest contribution.

Keywords: Carbon footprint, Greenhouse Gases, Product.

## 1 INTRODUÇÃO

Os primeiros vestígios da preocupação com as consequências dos atos antrópicos e com a variabilidade climática foram expostos na Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo (1972) na Suécia. Na época os impactos ao meio ambiente provenientes de ações humanas já estavam sendo debatidos:

Em nosso redor vemos multiplicar-se as provas do dano causado pelo homem em muitas regiões da terra, níveis perigosos de poluição da água, do ar, da terra e dos seres vivos; grandes transtornos de equilíbrio ecológico da biosfera; destruição e esgotamento de recursos insubstituíveis e graves deficiências, nocivas para a saúde física, mental e social do homem, no meio ambiente (ONU, 1972, p.1).

Tendo o conhecimento de tais impactos, durante a conferência debateu-se sobre a necessidade de definir marcos regulatórios, medidas preventivas e mitigatórias e a importância de se propor alternativas que cumprissem a finalidade de satisfazer as necessidades humanas, mas que não prejudicassem o meio ambiente. “O crescimento natural da população coloca continuamente, problemas relativos à preservação do meio ambiente, e devem-se adotar as normas e medidas apropriadas para enfrentar esses problemas” (ONU, 1972, p.2).

Posteriormente, no ano de 1987, foi proposto pelo Relatório Brundtland - denominado Nosso Futuro Comum, o conceito de desenvolvimento sustentável como aquele que: “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também às suas necessidades” (Nosso Futuro Comum, 1991, p.8).

O relatório Nosso Futuro Comum já destacava a importância da indústria para o crescimento global e para o desenvolvimento, trazendo a responsabilidade de repensar seu modo de agir, rever seus processos e primar por produtos que tenham um viés sustentável.

A indústria e seus produtos exercem um impacto sobre a base de recursos naturais da civilização ao longo do ciclo de exploração e extração de matérias-primas, sua transformação em produtos, consumo de energia, formação de resíduos uso e eliminação dos produtos pelos consumidores. Tais impactos podem ser positivos, melhorando a qualidade de um recurso ou ampliando seus usos; ou podem ser negativos devido a poluição causada pelo processo e pelo produto, ou ainda o esgotamento ou deterioração dos recursos (NOSSO FUTURO COMUM, 1991, p.232).

No decorrer do relatório também é enfatizada a importância de reconhecer e incentivar as indústrias que se moldam com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável: “Em geral deve-se encorajar as indústrias e atividades industriais que são mais eficientes em termos de uso de recursos, que geram menos poluição e resíduos, que se baseiam no uso de recursos renováveis [...]” (NOSSO FUTURO COMUM, 1991, p.238).

Em, 1988, no âmbito das Nações Unidas e da Organização Meteorológica Mundial, criou-se o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*), organização político-científica composta por diversos cientistas do mundo inteiro. Atualmente, as constatações sobre os impactos das mudanças climáticas são relatadas através de relatórios emitidos pelos três Grupos de Trabalho - GT, também descritos como WG do inglês Working Group. Os relatórios, denominados AR – Assessment Report, já estão na quinta publicação, onde enfatizam os impactos das mudanças climáticas, debatem os riscos e sugerem medidas adaptativas. “Nas últimas décadas, as mudanças climáticas têm causado impactos nos sistemas naturais e humanos sobre todos os continentes e através dos oceanos” (IPCC, 2014, p.6, tradução nossa). O documento ainda ressalta os riscos e impactos futuros das mudanças climáticas:

A continuação da emissão de gases de efeito estufa causará mais aquecimento e de longa duração alterações em todos os componentes do sistema do clima, aumentando a probabilidade de graves impactos difusos e irreversíveis para as pessoas e ecossistemas. Limitar as alterações climáticas seria exigir reduções substanciais e sustentadas

das emissões de gases de efeito estufa que, em conjunto com a adaptação, podem limitar os riscos das alterações climáticas. (p.8, tradução nossa).

Com o passar dos anos e com a disseminação do conceito do desenvolvimento sustentável, e também com o aumento da preocupação com impactos ambientais globais tais como as mudanças climáticas, foram desenvolvidas novas tecnologias e nasceu uma nova necessidade, que é a de produtos e serviços mais verdes, ecológicos e com uma pegada de carbono cada vez menor, impulsionando a adequação dos setores a essa nova realidade. Segundo Araujo et al. (2011, p.1) “os maiores responsáveis por esta mudança do consumo acabam sendo as próprias empresas que devem tornar os produtos, além de ecologicamente corretos, consumíveis e agradáveis aos consumidores”. A autora ainda ressalta que:

Nesse contexto as empresas devem buscar criar e desenvolver não somente produtos, mas soluções que possam atender as necessidades do consumidor, levando em consideração as questões ambientais e sociais na qual está inserido, buscando o equilíbrio entre a exploração da necessidade de consumo e a satisfação do consumidor (p.3).

Neste cenário surge a necessidade de métodos que definam e quantifiquem o impacto de processos e produtos, para que estes possam ser adaptados, modificados, substituídos ou até mesmo eliminados. Entre os métodos desenvolvidos destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a qual é definida pela norma ABNT NBR ISO 14040:2009 como sendo a: “Compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (p.2).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método estruturado, abrangente e internacionalmente padronizado. Ele quantifica todas as emissões e recursos consumidos e seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde e considera questões relacionadas ao esgotamento de recursos associadas a quaisquer bens ou serviços (“produtos”) (EUROPEAN COMMISSION, 2010, p.7).

A realização da ACV possui abrangências definidas conforme a conveniência do estudo, podendo ser realizada de berço ao túmulo, berço ao portão e de portão a portão. Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009 (p.21): “Não existe uma solução única que defina a melhor forma de aplicação da ACV dentro

do contexto de tomada de decisões. Cada organização tem que resolver e decidir essa questão caso a caso [...].”

O berço corresponde à extração de matéria-prima e recursos. A fase dos processos de fabricação caracteriza-se como de portão a portão e a fase final do ciclo de vida, ou seja, a sua última disposição é descrita como túmulo. As abrangências da ACV estão exemplificadas conforme a figura 1.

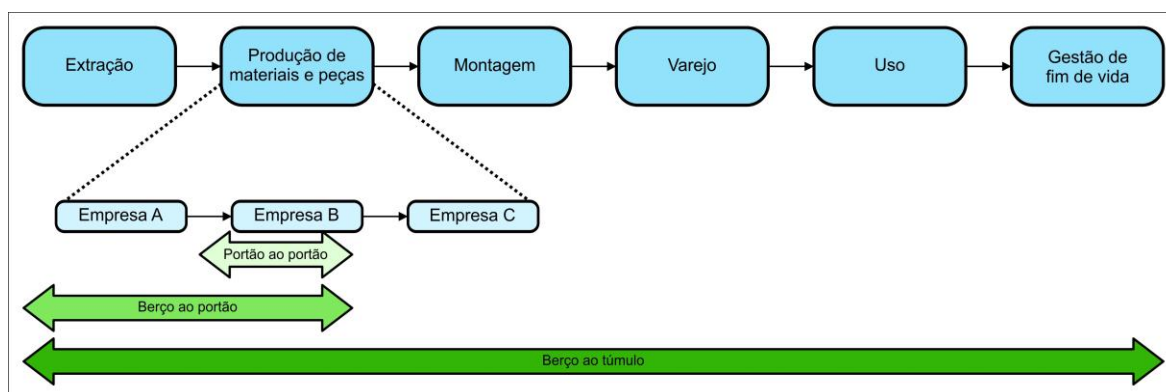


Figura 1. Conjuntos de dados do berço ao túmulo, do berço ao portão e do portão ao portão como partes do ciclo de vida completo; diagrama esquemático. Cada tipo desempenha uma função específica como um módulo para utilização em outros estudos de ACV.

Fonte: Adaptado de EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre - Institute For Environment And Sustainability. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance (p.12). Luxembourg: European Union, 2010. Traduzido por Luiz Marcos Vasconcelos.

“Um estudo de ACV é composto por quatro fases: a) a fase de definição de objetivo e escopo, b) a fase de análise de inventário (ICV), c) a fase de avaliação de impactos (AICV) e d) a fase de interpretação” (ABNT, 2009 a). A fase de definição de objetivo e escopo é importante para determinar o foco do trabalho e direcionar o estudo. A fase de ICV “trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema de estudo” (ABNT, 2009 a). A terceira fase a AICV tem como objetivo “prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental” (ABNT, 2009 a). A fase final da ACV é a de interpretação, nesta etapa “os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões,

recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo” (ABNT, 2009 a).

Em caso de realização de estudos comparativos é necessário atentar-se aos requisitos obrigatórios, a reprodutibilidade e a necessidade de uma revisão crítica. A reprodutibilidade é um requisito importante para a ACV, a qual é obtida através de uma avaliação qualitativa dos dados, fontes de dados e métodos, definindo assim até que ponto pode ser reproduzido. Para a definição de reprodutibilidade pode ser utilizada a revisão crítica.

Uma revisão crítica externa independente dos dados é uma maneira adequada de garantir a qualidade dos dados dos conjuntos de dados de ICV e a robustez/reprodutibilidade dos resultados de estudos comparativos de ACV, atendendo ao mesmo tempo às necessidades de confidencialidade: até onde a confidencialidade o permita, deve-se prover transparência pública de todos os dados e parâmetros. (ICLEI-BRASIL, MDIC, 2015 p.63).

Para a realização de uma ACV podem ser utilizadas abordagens qualitativas e quantitativas para avaliar os impactos.

Um dos métodos quantitativos para aplicação dessa abordagem é a pegada de carbono, a qual calcula as emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) dentro do ciclo de vida de um produto, possibilitando mensurar a contribuição de cada etapa do processo no valor total de gases emitidos, identificando aquelas etapas que respondem por maior quantidade de GEE e, portanto, são consideradas ‘hotspots’ – ou pontos de potenciais problemas ambientais – e devem ser o foco para melhorias ambientais. (ICLEI-BRASIL, MDIC, 2015 p.8).

Sendo assim, a definição da pegada de carbono de um produto ou processo permite que sejam elencadas possibilidades de melhorias, como medidas de redução e de compensação direcionadas àquelas fases do produto que apresentam maior impacto. Para realizar o levantamento da pegada de carbono é necessária a adoção de metodologias e auxílio de softwares, como o CCaLC2© Carbon Footprinting Tool (Ferramenta de pegada de carbono). O software gratuito é a segunda geração da ferramenta, e foi desenvolvido através de um projeto da Universidade de Manchester (*The University of Manchester*). É uma metodologia para realização da ACV e de apoio à tomada de decisões, pois além da pegada de carbono proporciona a avaliação de outros impactos ambientais, sendo estes: potencial de eutrofização, de acidificação, de depleção

da camada de ozônio, de criação de ozônio fotoquímico e de toxicidade humana. Possui duas bases de dados, sendo uma própria, desenvolvida para diferentes sistemas industriais e outra à base de dados internacional ecoinvent, porém de uma forma simplificada e restrita, aceita internacionalmente por seguir as metodologias ISO 14044 e PAS 2050 e pela consistência e transparência dos inventários.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Realizar um estudo de Pegada de carbono do produto Forno elétrico, obedecendo aos princípios e requisitos da ACV, com escopo reduzido de portão a portão, limitando-se às fronteiras de aquisição de matéria-prima e fabricação, considerando os processos produtivos de uma indústria de eletrodomésticos.

### **1.1.2 Específicos**

- a.** Identificar quais são os processos e matérias-primas que mais contribuem para a pegada de carbono do produto.
- b.** Propor medidas e/ou estratégias de mitigação e diminuição da pegada de carbono do produto.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

A ACV do forno elétrico foi realizada por meio da utilização do software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool versão 1.150<sup>1</sup>, conforme princípios e estrutura estabelecidos na ABNT NBR ISO 14040:2009 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura; e conforme requisitos e orientações estabelecidos na ABNT NBR ISO 14044:2009 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

---

<sup>1</sup> Software desenvolvido pela Universidade de Manchester possui caráter de acesso gratuito com fins educacionais, está disponível no site <http://www.ccalc.org.uk/index.php>.

## 2.1 PEGADA DE CARBONO DA FABRICAÇÃO DE FORNO ELÉTRICO

### 2.1.1 Objetivo da ACV

Conforme a ABNT NBR ISO 14044:2009 (p.7) “O objetivo e o escopo de uma ACV devem ser claramente definidos e devem ser consistentes com a aplicação pretendida”. O objetivo definido para a ACV conduzida neste trabalho é o de definir e avaliar a pegada de carbono de cada matéria-prima e do processo produtivo, para identificar quais possuem a maior pegada de carbono e propor melhorias. O grupo técnico composto pelo fabricante do produto forno elétrico é o alvo deste estudo, os quais poderão ter mais conhecimento sobre os impactos gerados pelo processo de fabricação, o que os auxiliará na tomada de decisões.

### 2.1.2 Escopo

#### 2.1.2.1 Sistema de produto (Forno Elétrico)

Para a definição do sistema de produto, é importante delimitar as fronteiras do sistema, que são o “conjunto de critérios que especificam quais processos elementares fazem parte de um sistema de produto” (ABNT, 2009a, p.5). Para o estudo de ACV do forno elétrico, na modalidade de portão a portão, a fronteira geográfica do sistema compreende os processos produtivos internos de fabricação da indústria de eletrodomésticos. Foram considerados apenas os processos produtivos que possuíam entrada e saída de fluxos de matéria e energia, sendo, portanto, desconsiderados os processos de apoio, como almoxarifado, expedição, Planejamento, Programação e Controle de Produção (PPCP).

O primeiro processo produtivo é o de corte das bobinas de aço, que acontece no setor da Central de Corte. Nesse processo, as bobinas de aço são cortadas por guilhotinas, conforme a especificação, transformando-as em blanques ou blanks (chapas planas de aço, cortadas com tolerâncias restritas).

A fase seguinte é a estampagem, processo feito por meio de prensas hidráulicas e ferramentas, onde ocorre a conformação dos blanques, os quais obtêm as formas das seguintes peças: gabinete, fundo da porta, bandeja, frente, laterais, teto/chão, tampa interna, tampa externa, base, dobradiça e chaminé.

Na próxima fase, as peças estampadas vão para dois processos diferentes, variando conforme a especificação do revestimento da peça, os quais são: Tratamento de Superfície - Decapagem e Tratamento de Superfície - Nanocerâmica.

No processo de decapagem, as peças: lateral do forno, teto/chão, tampa interna e bandeja passam por dois banhos de desengraxantes, um banho de enxague com água de poço, uma imersão em ácido clorídrico e mais dois enxagues com água de poço, seguindo então para um banho com neutralizador e por fim para a secagem em estufa aquecida com gás natural (GN). Esse processo é necessário para retirar todas as impurezas da superfície das peças, permitindo a aderência do esmalte.

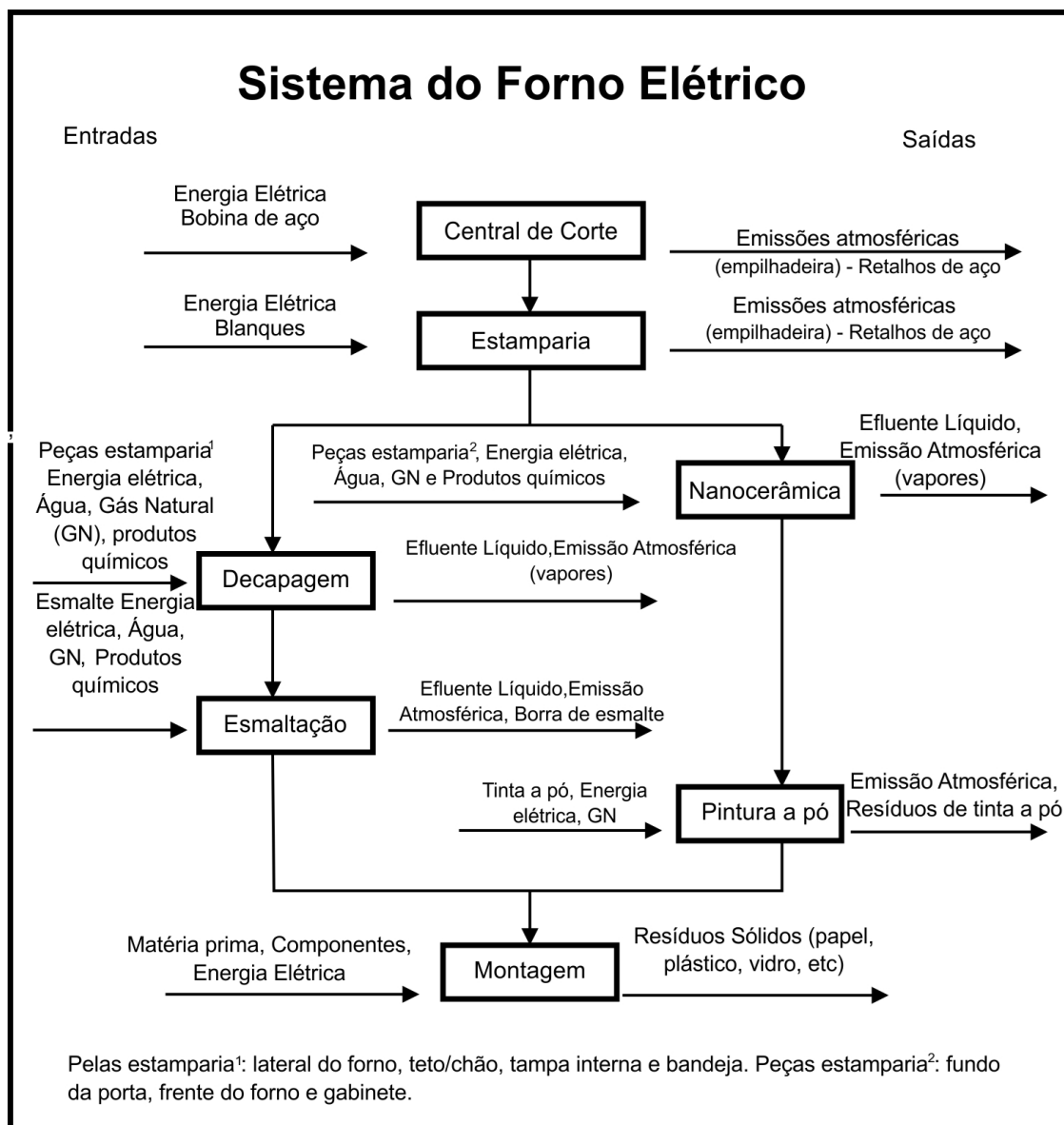
No processo de nanocerâmica, as peças: fundo da porta, frente do forno e gabinete passam por uma cabine onde são aplicados dois desengraxantes, depois passam por dois enxagues - o primeiro com água de poço e o segundo água deionizada (DI) - em seguida vão para aplicação da nanocerâmica (ácido a base de zircônio), recebem um enxague de água DI, passam por um túnel com sopradores e seguem para a estufa de secagem (GN). Esse processo tem como objetivo aumentar a eficiência da aderência da tinta a pó e propiciar uma proteção contra corrosão.

No processo de esmaltação, as peças que foram decapadas recebem esmalte líquido, em alguns casos de forma manual e em outros de forma mecanizada. As peças são então levadas às estufas de secagem a temperatura de 200°C (GN), para posterior queima em forno elétrico a temperatura de 850°C.

No processo de pintura a pó, as peças que passaram pelo processo de nanotecnologia seguem para a aplicação eletrostática de tinta a pó, para posterior secagem em estufa a 200°C (GN), onde a tinta se polimeriza.

O último processo é o de montagem, onde são recebidas todas as peças já esmaltadas e pintadas, além de outras matérias-primas, como vidro, componentes elétricos, material de embalagem, manuais, etiquetas, isolamento térmico entre outros. Neste processo são realizados testes elétricos e funcionais nos produtos. O sistema completo do forno elétrico encontra-se detalhado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema de produto do Forno Elétrico



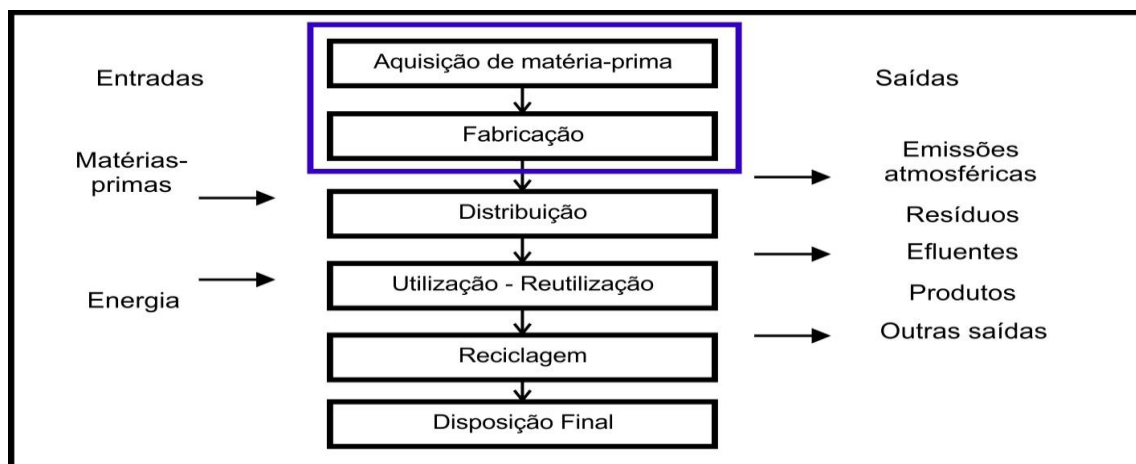
Fonte: Autora

Para a definição das matérias-primas que seriam incluídas no inventário, foi utilizado um critério de corte. Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009 (p.4) o critério de corte é a “especificação, em termos de fluxos de material ou energia ou do nível de significância ambiental associados a processos elementares ou ao sistema de produto, dos limites que definem a exclusão de dados de um estudo”. Consideraram-se todas as entradas de matéria prima cujas massas correspondiam a 2% ou mais da massa final do produto. Devido à significância ambiental foram consideradas ainda as matérias primas: esmalte composto principalmente de frita vítrea – da família dos silicatos inorgânicos e tinta a pó a

base de poliéster, mesmo estando fora do escopo pelo critério de corte baseado em massa. Para a definição das saídas contempladas, no caso dos resíduos sólidos enviados para a reciclagem, foi utilizada a abordagem *cut-off*, ou seja, desconsiderou-se o impacto relativo ao processo de reciclagem, entendendo que este é atribuído ao sistema do produto obtido da reciclagem. Como aproximadamente 97% dos resíduos sólidos gerados (aço, papel/papelão, poliestireno expandido - EPS, plástico e tinta a pó) são reciclados, desconsiderou-se a geração de resíduos sólidos para o sistema de produto avaliado. Apesar de os demais resíduos não serem considerados estes correspondem à: 1,6 % de resíduos não recicláveis, destinados para encapsulamento em aterro sanitário e 1,4% de resíduos contaminados, destinados para coprocessamento em aterro sanitário. Por sua vez, os efluentes líquidos, por terem uma significância ambiental elevada, foram considerados, sendo que são destinados a tratamento biológico aeróbio, dentro da empresa através de uma estação de tratamento de efluente - ETE. Os dados de saída referentes à emissão atmosférica da movimentação de empilhadeiras não foram considerados, devido à falta de informação e registro do consumo.

Quanto à cobertura temporal, para as análises e levantamento de dados optou-se pelo ano de 2014. O escopo com suas fronteiras está descrito no fluxograma da Figura 3

Figura 3 – Fronteiras do Sistema



Fonte: Adaptado de USEPA 2001, apud Ferreira, José Vicente Rodrigo, 2004.

A fronteira do sistema estudado restringe-se aos processos de aquisição de matéria-prima e fabricação.

#### 2.1.2.2 Função do sistema de produção de Forno Elétrico

“As funções são tipicamente relacionadas a propriedades específicas do produto ou processo” (ABNT NBR ISO/ TR 14049:2014 p.5). A principal função do forno elétrico é assar alimentos, de forma uniforme. O princípio de funcionamento se dá através do aquecimento de uma ou mais resistências elétricas, que são controladas por um termostato. O produto possui um isolamento térmico que aumenta a sua eficiência e diminui a perda de calor. Um exemplo apenas ilustrativo de um forno elétrico está demonstrado na Figura 4. Além da função principal, o forno elétrico possui as funções complementares de dourar alimentos e contribuir para o design da cozinha, principalmente os produtos de inox e vidros espelhados.

Figura 4 – Exemplo de forno elétrico (descaracterizado)



Fonte: A autora.

#### 2.1.2.3 Unidade Funcional

Conforme ABNT NBR ISO 14040:2009 (p.4), unidade funcional é o “desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como uma unidade de referência”. A unidade funcional definida para a ACV do produto Forno elétrico foi: Assar um bolo de 450g (massa pronta) em 40 minutos, consumindo apenas 0,61 kW a uma temperatura de 200°C. Isso já pré-aquecido por 10 min na mesma temperatura. O forno elétrico possui uma estimativa média de vida útil de 550 horas ou 33.000 minutos. Sendo assim, o fluxo de referência adotado foi de

33.000 minutos de vida útil, divididos por 50 minutos de utilização (40 min para assar + 10min para pré-aquecer), totalizando em 1/660 forno elétrico. Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009 (p.5) fluxo de referência é a “medida das saídas de processos em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional”.

#### 2.1.2.4 Procedimento de Alocação

Alocação é a distribuição proporcional das entradas e saídas de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e outros sistemas de produto (SILVA et al., 2014). No caso do produto em análise, os processos de central de corte, estamperia, tratamento de superfície - decapagem, esmaltação, tratamento de superfície - nanotecnologia e pintura a pó, fazem parte do sistema de outros produtos, sendo assim é necessária à alocação para distribuição das entradas e saídas correspondentes. A alocação foi calculada considerando a massa e o valor econômico.

#### 2.1.2.5 Tipos de Impactos e Metodologias de AICV

Como a ACV do forno elétrico é direcionada à pegada de carbono, os impactos contemplados são os relativos às mudanças climáticas. A metodologia de AICV adotada para o estudo foi a IPCC 2013. Adicionalmente, foram avaliados os impactos ambientais das seguintes categorias: potencial de acidificação, potencial de eutrofização, potencial de depleção da camada de ozônio, potencial de criação de ozônio fotoquímico e potencial toxicidade humana, através do método CML-IA 2001.

#### 2.1.2.6 Tipos e fontes de dados

Para a realização de uma ACV são utilizados dois tipos de dados conforme a EUROPEAN COMMISSION, 2010:

- Dados específicos de inventário sobre um ou mais processos a serem desenvolvidos no sistema de primeiro plano, e
- Dados médios ou genéricos (para modelagem atribucional), ou (mix de) processos marginais (para modelagem consequencial) do sistema de segundo plano (p.172).

Sendo assim, foram inventariados dados específicos dos processos produtivos dentro da organização a partir de: relatórios de processo, registro de dados de entradas e saídas, relação de matérias-primas, registros de produção, relatórios de emissões atmosféricas e indicadores de consumo de água e energia. Os colaboradores da indústria “X”, fabricante de forno elétrico foram às fontes diretas dos dados, envolvendo áreas de qualidade, meio ambiente, engenharia, processos, PPCP e operadores de produção.

Já para os processos produtivos que ocorrem fora dos portões da indústria, foram utilizados dados mais genéricos, provenientes de inventários disponibilizados pelo CCaLC2©, de uma base de dados ecoinvent. Essa base de dados contempla alguns inventários de ciclo de vida de produtos e processos, porém com informações simplificadas e restritas, já que é utilizado por um software de acesso livre e gratuito, mas com fins educativos.

#### 2.1.2.7 Requisitos de qualidade dos dados

A qualidade dos dados é definida como “características dos dados que se relacionam à sua capacidade de satisfazer requisitos estabelecidos” (ABNT, 2009a, p.4). Para a definição dos critérios de qualidade dos dados foram seguidas as orientações do software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool, que são compatíveis com a norma PAS2050. A norma determina que devam ser considerados os seguintes critérios para definição da qualidade dos dados: cobertura temporal; cobertura geográfica, cobertura tecnológica, exatidão e precisão, completeza, coerência, reprodutibilidade e fontes de dados (primárias e secundárias).

O software ainda define a seguinte classificação para a qualidade de dados: alta, média ou baixa. Os critérios utilizados pela metodologia estão descritos na Tabela 1, os quais podem ser combinados gerando assim um total de Indicador de Qualidade de dados (IQD) – alta, média, baixa. Para isso cada critério possui um peso referente à sua significância em uma escala de 1-10, conforme Tabela 2. Para cada IQD é definida uma pontuação máxima para cada critério, sendo que o

Indicador Alto possui um peso 3, o Médio 2 e o Baixo 1. Aplicando os pesos de significância para cada critério e sua pontuação máxima para os respectivos IQDs, a pontuação máxima de cada indicador é: 30 pontos para Alta; 20 para Média e 10 para baixa. Para realização da avaliação da qualidade dos dados foram adotadas as faixas:

- Qualidade dos dados baixa: pontuação na faixa de 1-10;
- Qualidade dos dados média: pontuação na faixa de 11-20; e
- Qualidade dos dados alta: pontuação na faixa de 21-30.

Tabela 1 – Definição do critério de qualidade de dados

Critério de qualidade de dados	Ponderação para cada critério em uma escala 1-10*	Qualidade Alta Pontuação máxima para cada critério: 3	Qualidade Média Pontuação máxima para cada critério: 2	Qualidade Baixa Pontuação máxima para cada critério: 1	Ex.: Avaliação da qualidade
Data	2	3	2	1	3
Cobertura geográfica	1	3	2	1	3
Fonte de dados	3	3	2	1	3
Integridade / Completeza	2	3	2	1	2
Reprodutibilidade	2	3	2	1	2
Pontuação máxima		Máx. Pontuação: 30 Escala de 21-30	Máx. Pontuação: 20 Escala de 11-20	Máx. Pontuação: 10 Escala de 1-10	26

\*A soma dos pesos é igual a 10.

Fonte: Adaptado de Software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool

Para a realização do cálculo de IQD primeiramente é necessário atribuir um peso para cada Critério de qualidade de dados (CQD), onde a soma total deve ser igual a 10. Posteriormente realiza-se a Avaliação da qualidade (AQ), pontuando cada critério de qualidade de dados de 1 a 3, conforme a qualidade dos dados (3 = alta, 2 = média ou 1 = baixa), como foi realizada no exemplo destacado em vermelho. Por fim o resultado se dá através da soma total, da multiplicação entre o valor definido na Avaliação, pelo peso atribuído ao Critério, como o exemplo:

$$IQD = (AQ_{data} \times CQD_{data}) + (AQ_{cobertura\ geogr\u00e1fica} \times CQD_{cobertura\ geogr\u00e1fica}) + \dots$$

$$IQD = (3 \times 2) + (3 \times 1) + (3 \times 3) + (2 \times 2) + (2 \times 2)$$

$$IQD = 6 + 3 + 9 + 4 + 4$$

$$IQD = 26$$

Tabela 2 – Indicador de qualidade de dados (IQD)

Crit\u00e9rio de qualidade de dados	Indicador de qualidade de dados (IQD)		
	Qualidade Alta	Qualidade M\u00e9dia	Qualidade Baixa
Data	< 5 anos	5 - 10 anos	> 10 anos
Cobertura geogr\u00e1fica	Espec\u00edfica	Parcialmente espec\u00edfica	Gen\u00e9rica / M\u00e9dia
Fonte de dados	Mensurada e / ou modelada com base em dados espec\u00edficos (por exemplo, com dados da empresa ou de fornecedores)	Modelada utilizando dados gen\u00e9ricos de bases de dados AVC, alguns dados de conhecimento de especialistas	Modelada utilizando dados gen\u00e9ricos de literaturas ou especialistas
Integridade / Completeza	Todas as entradas e sa\u00eddas consideradas	Considerada a maioria das entradas e sa\u00eddas relevantes	Algumas entradas e sa\u00eddas relevantes, consideradas ou conhecidas
Reprodutibilidade	Completamente reprodut\u00edvel / confi\u00e1vel	Parcialmente reprodut\u00edvel	N\u00e3o reprodut\u00edvel

Fonte: Adaptado de Software CCaLC2\u2122 Carbon Footprinting Tool

### 3 RESULTADOS E DISCUSS\u00c3O

#### 3.1 AN\u00c1LISE DO INVENT\u00c1RIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

A fase de análise do inventário consiste na identificação e quantificação das entradas e saídas, que nesse estudo contempla os processos produtivos elencados na Figura 2, referentes ao fluxo de referência que é 1/660 forno.

Os dados foram coletados conforme os critérios de corte e fontes pré-definidos no sistema de produto. Os dados correspondentes às entradas de matéria-prima estão descritos na Tabela 3, conforme quantidade utilizada por fluxo referência e relacionados ao inventário utilizado para quantificar sua contribuição na pegada de carbono. Os dados referentes ao consumo de energia elétrica, gás natural e água estão descritos na Tabela 4, 5 e 6 respectivamente, e estão relacionados ao inventário utilizado e aos cálculos de alocação. As saídas correspondentes à geração de efluentes líquidos estão descritas na Tabela 7 e às emissões atmosféricas na Tabela 8, cada qual relacionado ao inventário optado e com o cálculo de alocação necessário.

Tabela 3 – Matéria-prima

Processo	Matéria-Prima	Consumo/fluxo de referência (kg)	Qualidade dos dados	Descrição do material	Inventários utilizados
Linha de Montagem	Vidro da porta	0,0014697	Alta*	Vidro plano temperado	Fabricação do vidro plano: Flat glass production, uncoated Base de dados Ecoinvent (2013) Processo de têmpera: Tempering, flat glass Base de dados Ecoinvent (2010)
Linha de Montagem	Manta lã de vidro	0,0005386	Alta*	Lã de vidro	Fabricação da lã de vidro: Glass wool mat, at plant Base de dados Ecoinvent (2010)
Central de Corte	Bobina Fina Fria	0,0151389	Alta*	Aço laminado fino frio	Fabricação do aço: Steel, converter, low

					alloyed, at plant Base de dado Ecoinvent (2010) Processo de laminação: Sheet rolling, steel Base de dado Ecoinvent (2010)
Linha de Montagem	Suporte do painel de controle	0,0014955	Alta*	Plástico injetado	Fabricação do poliéster: Polyester resin, unsaturated, at plant Base de dado Ecoinvent (2010) Processo de injeção: Injection moulding Base de dado Ecoinvent (2013)
Linha de Montagem	Caixa de embalagem	0,0019083	Alta*	Papelão	Fabricação da caixa de papelão: Packaging, corrugated board mixed fiber, single wall, at plant Base de dado Ecoinvent (2010)
Esmaltação	Esmalte fundente e auto-limpante	0,0007447	Alta*	Frita Vítrea - silicato inorgânico	Fabricação da frita: Silica sand, at plant Base de dado Ecoinvent (2010)
Pintura a pó	Tinta a pó branca e preta	0,0003459	Alta*	Tinta a pó a base de poliéster	Fabricação de tinta a pó: Coating powder, at plant Base de dado Ecoinvent (2010)

\*Indicador de qualidade de dados com pontuação de 26 pontos.

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica

Setor	Consumo (%)	Consumo por fluxo de referência	Qualidade de dados	Inventário Utilizado
Central de corte	10%	0,00013721	Alta *	Electricity, high voltage, at grid, BR - Base de dados Ecoinvent 2010
Estamparia	25%	0,000343024	Alta *	
Tratamento de superfície - decapagem	10%	0,000137210	Alta *	
Tratamento de superfície - nanocerâmica	15%	0,000205815	Alta *	
Esmaltação	30%	0,000411629	Alta *	
Pintura a pó	5%	6,86049E-05	Alta *	
Linha de montagem	5%	6,86049E-05	Alta *	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>0,001372097</b>		

\*Indicador de qualidade de dados com pontuação de 24 pontos.

Tabela 5 – Consumo de gás natural (GN)

Processo	Consumo (%)	Consumo por fluxo de referência	Qualidade dos dados	Inventário Utilizado
Tratamento de superfície – decapagem	20%	9,56E-04	Alta *	Natural gas, from high pressure network (1-5 bar), at service station - Base de dados Ecoinvent 2010
Tratamento de superfície - nanocerâmica	25%	1,19E-03	Alta *	
Esmaltação	15%	7,17E-04	Alta *	
Pintura a pó	40%	1,91E-03	Alta *	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>0,004779468</b>		

\*Indicador de qualidade de dados com pontuação de 24 pontos.

Tabela 6 – Consumo de água

Processo	Consumo (%)	Consumo por Fluxo de Referência (m <sup>3</sup> )	Qualidade de dados	Inventário Utilizado
Tratamento de superfície – decapagem	66%	7,01E-06	Alta*	
Tratamento de superfície - nanocerâmica	17%	1,80E-06	Alta*	Metodologia Pfister (2009)**
Esmaltação	17%	1,80E-06	Alta*	
Total	100%	1,06147E-05		

\*Indicador de qualidade de dados com pontuação de 23 pontos.

\*\* Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S., 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. Environmental Science & Technology, 43 (11), 4098-4104.

Tabela 7 – Emissão de efluentes líquidos

Processo	Consumo (%)	Emissão por fluxo de referência (kg)	Qualidade de dados	Inventário utilizado
Tratamento de superfície - decapagem	66%	0,00961062	Alta*	
Tratamento de superfície - nanocerâmica	17%	0,00247546	Alta*	Waste treatment, Industrial 2 Base de dados ILCD (2003)
Esmaltação	17%	0,00247546	Alta*	
Total	100%	0,014561543		

\*Indicador de qualidade de dados com pontuação de 23 pontos.

Tabela 8 – Emissões atmosféricas

Processo	Parâmetro	Emissão por fluxo de referência (kg)	Qualidade de dados	Inventário utilizado
Tratamento de superfície - decapagem	Compostos Inorgânicos Clorados, em termos de HCL	2,29568E-07	Alta*	Emissions to air: Hydrogen chloride
Tratamento de superfície - nanocerâmica	Substâncias Inorgânicas Classe II em termos de Flúor – expresso como HF	1,4348E-08	Alta*	Emissions to air: Hydrogen chloride
Esmaltação	Material Particulado Inorgânico Classe II, em termos de Cobalto (Co)	1,4348E-07	Alta*	Emissions to air: Cobalt
	Material Particulado Inorgânico Classe III, em termos de Cromo (Cr)	1,57828E-07	Alta*	Emissions to air: Chromium (VI) ion
Pintura a pó	Compostos Orgânicos Voláteis totais (VOCT)	7,17401E-05	Alta*	GHG emissions: Carbon tetrachloride
Total		7,22853E-05		

\*Indicador de qualidade de dados com pontuação de 23 pontos

Devido ao forno elétrico não ser o único produto fabricado pela empresa “X”, foi necessária a realização dos cálculos de alocação para a definição do consumo de energia, gás natural e água, e da emissão de efluentes. Esses

processos fazem parte do sistema de fabricação de outros produtos (fogões e cooktop). Para o cálculo de alocação foi utilizada a fórmula:

$$\frac{\text{Quantidade} * \text{Massa do forno elétrico} * \text{valor de venda}}{(\text{quant.} * \text{massa do forno} * \text{valor de venda}) + (\text{quant.} * \text{massa do fogão} * \text{valor de venda}) + (\text{quant.} * \text{massa do cooktop} * \text{valor de venda})}$$

Para a contabilização das emissões atmosféricas, as quais fazem parte apenas do sistema de produção de forno elétrico e fogão, a fórmula utilizada para a alocação foi:

$$\frac{\text{Quantidade} * \text{Massa do forno elétrico} * \text{valor de venda}}{(\text{quant.} * \text{massa do forno} * \text{valor de venda}) + (\text{quant.} * \text{massa do fogão} * \text{valor de venda})}$$

### 3.2 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

“A fase de avaliação de impacto da ACV tem como objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados do ICV” (ABNT, 2009a, p.15). Para a realização da AICV foram utilizadas as modelagens contidas no Software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool. As categorias de impactos abordadas pelo trabalho foram subdivididas em principal (relativa ao objetivo do estudo) e adicionais.

Categoria principal:

- Mudanças Climáticas – representada através da pegada de carbono, corresponde a todas as emissões de gases de efeito estufa, contabilizadas em quilogramas de CO<sub>2</sub> equivalente. A modelagem utilizada é a do IPCC 2013. Os resultados relativos à pegada de carbono estão descritos nas Figuras 5 e 6.

Figura 5: Resultados da Pegada de Carbono por Setor

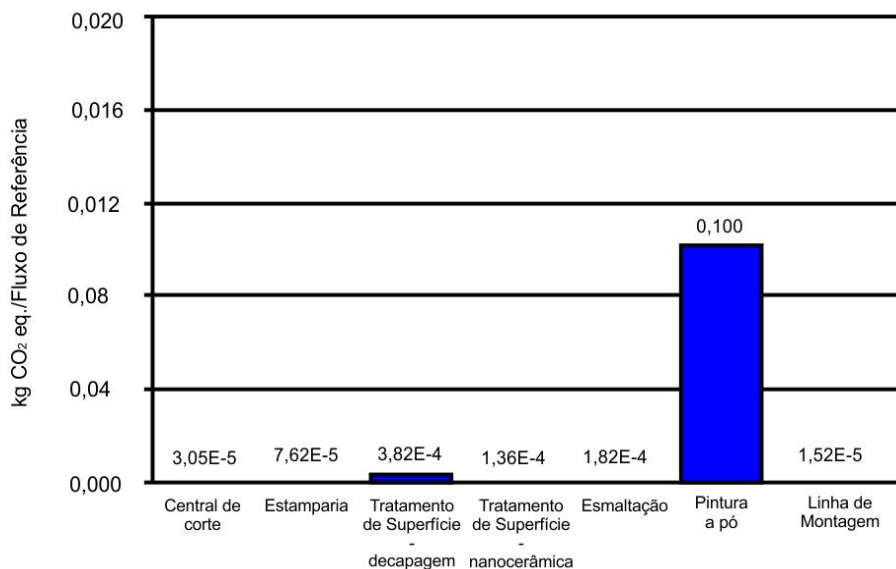
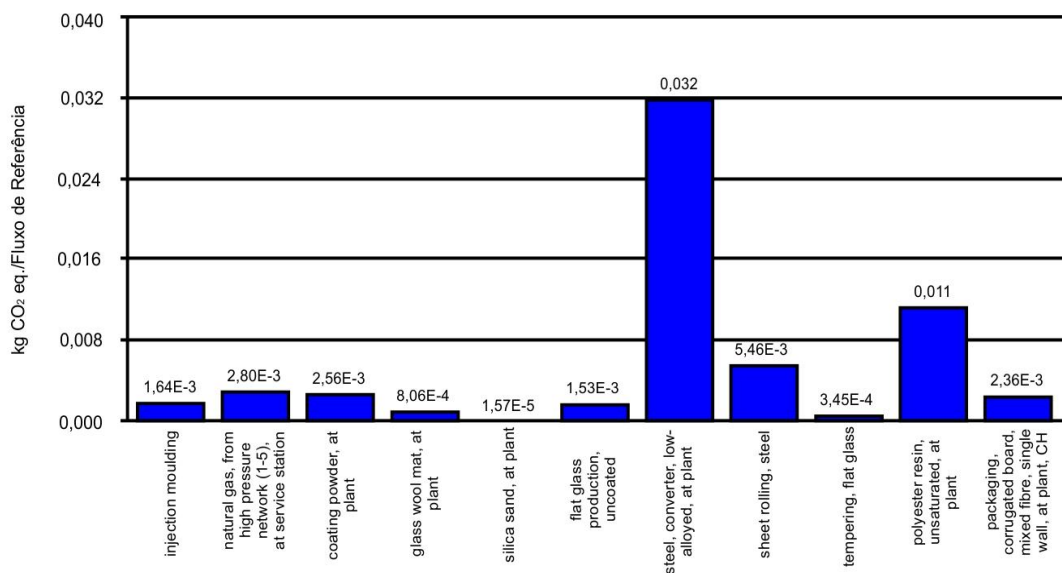


Figura 6: Indicador de Pegada de Carbono por Inventário de Matéria-Prima



### Categorias Adicionais:

O software CCaLC2© Carbon Footprinting Tool através de sua modelagem e base de inventários abrangentes proporciona a análise dos impactos das categorias adicionais. O método de avaliação dessas categorias utilizado pelo software foi o CML-IA 2001. Estes resultados são calculados concomitantemente ao cálculo da pegada de carbono. Na elaboração da ACV do processo de fabricação do forno elétrico foram consideradas ainda as seguintes categorias de impacto:

- Potencial de acidificação – as substâncias acidificantes causam diversos impactos sobre o solo, águas, organismos, ecossistemas, edificações e monumentos. É calculado através de modelagens de precipitação, descrevendo o destino e a deposição de substâncias acidificantes. Expresso pela emissão de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) equivalente por fluxo referência.
- Potencial de eutrofização – inclui todos os impactos devidos aos níveis excessivos de micronutrientes no ambiente, provenientes das emissões de nutrientes para o ar, água e solo. Representado pela emissão de kg de Fosfato equivalente por fluxo de referência.
- Potencial de depleção da camada de ozônio – devido à depleção da camada de ozônio, uma maior radiação de UV-B alcança a superfície terrestre, causando efeitos negativos sobre os ecossistemas e o ser humano. Expresso pela emissão do composto Tricloromonofluorometano (conhecido também como R11) equivalente por fluxo de referência.
- Potencial de criação de ozônio fotoquímico – proveniente da formação de substâncias reativas (principalmente de ozônio) que são prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas. Contabilizado pela emissão de Etileno equivalente por fluxo de referência.
- Potencial de toxicidade humana – são considerados os efeitos de substâncias tóxicas presentes no ambiente humano. Expresso pela quantidade de Diclorobenzeno equivalente por fluxo de referência.

A contribuição de cada categoria para a fabricação do produto em estudo está descrita na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado das categorias de impacto adicionais

Categoria	kg eq. / fluxo de referência			
	Aquisição de matéria-prima	Processos produtivos	Total	Indicador
Potencial de acidificação	2,32E-04	2,61E-06	2,35E-04	SO <sub>2</sub>
Potencial de eutrofização	1,16E-04	7,07E-07	1,17E-04	PO <sub>43-</sub>
Potencial de depleção da camada de ozônio	9,13E-07	4,66E-11	9,13E-07	CCl <sub>3</sub> F
Potencial de criação de ozônio fotoquímico	2,49E-05	1,81E-07	2,51E-05	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Potencial de toxicidade humana	1,83E-01	2,13E-04	1,83E-01	CCl <sub>3</sub> F

Pelos resultados expostos da Tabela 9, conclui-se que a categoria de impacto adicional com maior contribuição é a de Potencial de toxicidade humana, principalmente durante o processo de aquisição de matéria-prima. Porém devido as limitações do software não foi possível identificar qual a matéria-prima ou qual processo possui maior participação.

### 3.3. INTERPRETAÇÃO

A fase de interpretação da AICV é importante para analisar e identificar as questões significativas, através da avaliação de completeza, consistência,

sensibilidade, verificando se os resultados obtidos estão de acordo com os objetivos do estudo. Segundo ABNT NBR ISO 14040:2009:

Os resultados das fases de ICV ou AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo do escopo do estudo e a interpretação deve incluir uma avaliação e uma verificação de sensibilidade em relação às entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas, visando ao entendimento da incerteza dos resultados. (p.17)

A ACV ainda é um estudo pouco utilizado pelo setor industrial brasileiro, devido as grandes dificuldades de se encontrar inventários adequados a sua realidade. Os dados do ICV compreenderam as entradas e saídas relevantes do processo de fabricação do produto, considerando as dificuldades de se encontrar o registro de todas as informações de acordo com a necessidade. Considera-se que o estudo tem, portanto, completeza satisfatória. Conforme critério de qualidade de dados utilizado conclui-se que a consistência das informações, das fontes de dados e dos inventários utilizados para modelagem da AICV são satisfatórios. Já a análise de sensibilidade não foi realizada, devido não ser contemplada pelo software, podendo ser realizada em estudos futuros.

Quanto às categorias de impacto ambiental analisadas pela AICV, comparando a fase de aquisição de matéria-prima com a fase de produção, percebe-se que a fase de produção possui uma maior pegada de carbono, contando com 63% das emissões, conforme Figura 7. Analisando os processos que compõe a fase produtiva (Figura 5), conclui-se que o processo de pintura a pó é a etapa de produção que mais contribui para a pegada de carbono do produto. Isto se dá principalmente pelo fato de o processo possuir uma emissão atmosférica (Figura 8) de Compostos Orgânicos Voláteis totais (VOCT), para a qual foi utilizada uma abordagem conservadora, considerando assim a situação de maior criticidade, sendo esta a emissão do composto Carbono Tetraclorídrico. Como não se teve uma certeza da real contribuição do processo de pintura a pó para a pegada de carbono, o segundo setor com maior índice é de tratamento de superfície – decapagem, devido a sua grande emissão de efluente líquido, conforme representado na Figura 9.

Figura 7 – Resultado da participação das fases da ACV na pegada de carbono

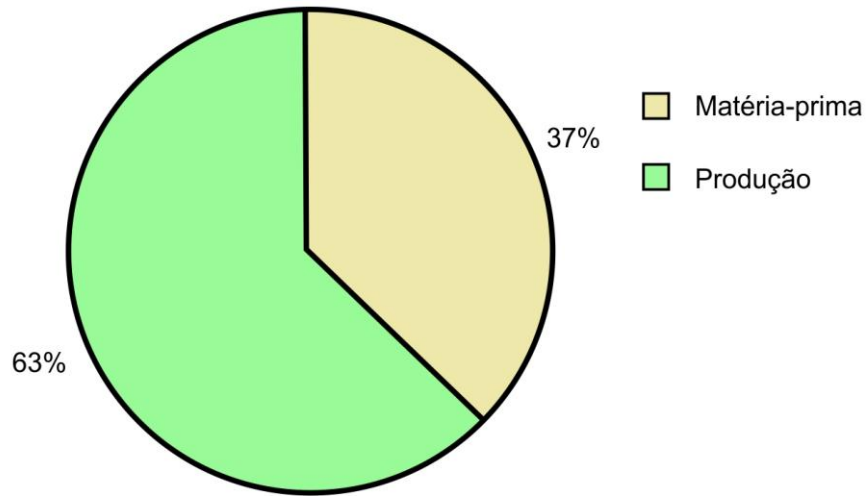


Figura 8 – Resultado da pegada de carbono do processo de Pintura a pó

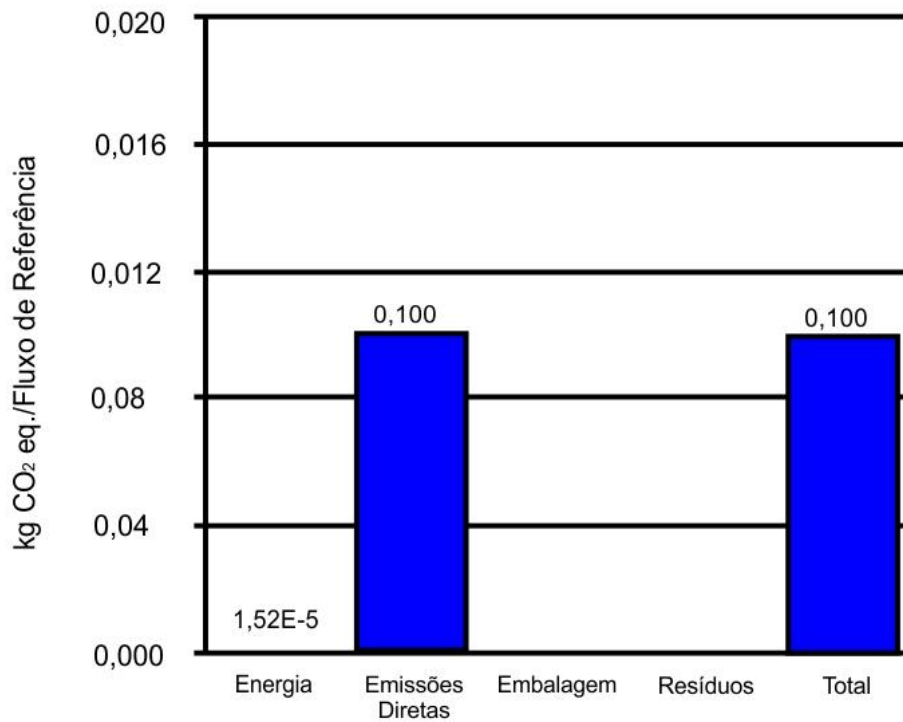
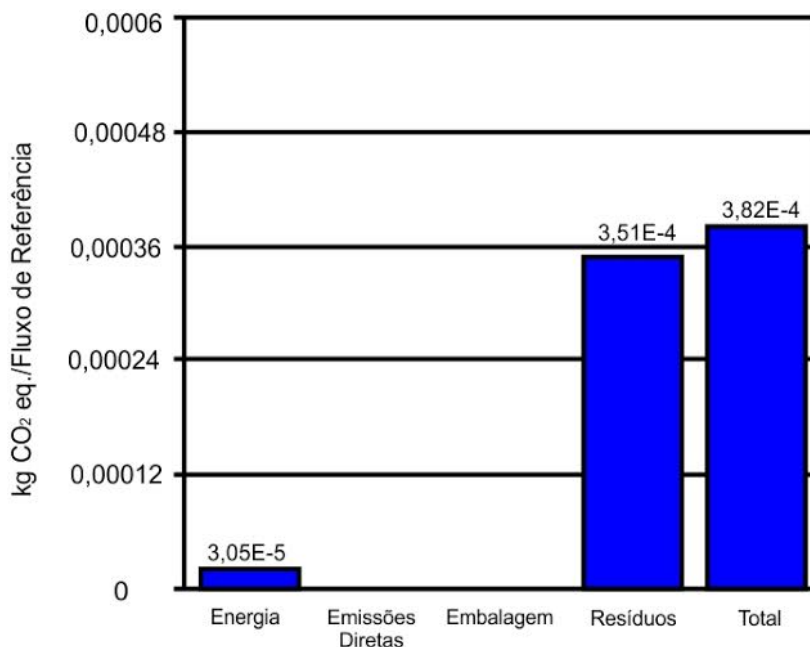


Figura 9 – Resultado da pegada de carbono do processo de Tratamento de superfície – decapagem



Percebe-se ainda que a produção das matérias-primas adquiridas tem elevado impacto nas emissões de GEE. Quando se analisa a fase de aquisição de matérias-primas, conclui-se que o Aço laminado fino frio é o que possui a maior contribuição para a pegada de carbono, principalmente devido ao seu processo de fabricação. Em segundo lugar quem tem a maior pegada de carbono é o plástico injetado, devido à fabricação da resina de poliéster. Analisando as categorias de impacto adicionais percebe-se que o sistema de produto apresenta alguma contribuição em todas elas, porém na fase de aquisição de matéria prima é aquela na qual o sistema de produto apresenta a maior contribuição, deduzindo-se que seja devido aos processos produtivos das matérias primas. Porém para definir qual a matéria-prima e/ou qual o processo produtivo é mais impactante é necessário realizar uma avaliação mais aprofundada.

Como alternativas de mitigação e/ ou eliminação da pegada de carbono sugere-se uma análise mais detalhada dos gases constituintes das emissões atmosféricas, para que se possa avaliar com precisão se o processo de pintura a pó possui realmente elevada contribuição para a pegada de carbono. Quanto ao

processo de tratamento de superfície, propõe-se a análise da substituição do processo de tratamento de efluente por um processo mais eficiente, como talvez o processo de ozonização. Para a diminuição da pegada de carbono do processo de aquisição de matéria prima propõem-se uma análise aprofundada do processo de fabricação destas, bem como a busca de alternativas de materiais similares que cumpram a mesma função, mas que possuam um impacto menor. Esta análise pode ser realizada tanto na fase de criação do projeto do produto, quanto nas fases de revisões e melhorias dos produtos.

#### **4 CONCLUSÕES**

A realização do processo de ACV é um estudo muito amplo com inúmeras vantagens podendo ser utilizado para diversos fins, apesar dos grandes obstáculos na busca por inventários, descrições de casos de aplicação e literaturas. A falta de informações, modelagens regionalizadas e softwares livres voltados para a área industrial, principalmente para a realidade brasileira ficou muito evidente.

Porém isso não diminui a utilidade dos resultados. A realização do estudo proporciona uma visão abrangente do processo ou produto que está sendo estudado, promovendo assim uma análise sistêmica das entradas e saídas mais relevantes e das categorias de impacto ambiental relacionadas.

Com o estudo pode-se calcular a pegada de carbono em todos os processos produtivos, bem como da aquisição de materiais. Por meio da aplicação da técnica foi possível propor alternativas de mitigação e redução da pegada de carbono, abrindo assim uma nova oportunidade de pesquisa, instigando o aprofundamento da sua aplicação.

Para estudos futuros sugere-se que seja aplicada a ACV de uma maneira mais detalhada, considerando todas as entradas e saídas que não se fizeram possíveis neste trabalho, como a contabilização da pegada de carbono dos resíduos sólidos que não seguem para a reciclagem e das emissões atmosféricas de GEE provenientes da movimentação das empilhadeiras. Também seria

importante considerar as demais categorias de impacto, não abordadas neste estudo. Pode-se ainda aumentar o escopo da ACV, trabalhando-a de berço a portão e se possível, de berço ao túmulo, podendo ter assim resultados mais próximos da realidade, que tenham maior contribuição para a tomada de decisões e para a definição de alternativas mais eficazes, como revisão e alteração de projetos de engenharia, modificação e/ ou substituição de processos e/ou materiais.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009** - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. 2009a, Versão corrigida 21/04/2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009** - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. 2009b. Versão corrigida 21/07/2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/TR 14049:2014** - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário. 2014.

ARAUJO, Fernanda Steinbruch; TOLFO, Cristiano. A Durabilidade Subjetiva dos produtos como auxílio às estratégias de sustentabilidade: Uma aplicação no sistema Produto-Serviço. In: **8º Congresso Brasileiro de Gestão de desenvolvimento de produto–CBGDP**. 2011.

DE PASSOS, Calmon; NOGUEIRA, Priscilla. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, v. 6, n. 6, 2009.

DIAS, Genebaldo Freire. **Pegada ecológica e sustentabilidade humana**. Global Editora e Distribuidora Ltda, 2013.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre - Institute For Environment And Sustainability. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD)**

**Handbook:** General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Luxembourg: European Union, 2010. Traduzido por Luiz Marcos Vasconcelos.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. Análise de ciclo de vida dos produtos. **Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu**, 2004.

ICLEI-BRASIL, MDIC. **Relatório técnico dos estudos sobre a pegada de carbono:** documento impresso e digital e do serviço de impressão. São Paulo, 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers.** Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf). Acesso em 11/08/2015.

NOSSO FUTURO, Comum. Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. **2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora da FGV**, 1991.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração da Conferência da ONU sobre o Ambiente Humano** - Estocolmo, 5-16 de junho de 1972.

PRé CONSULTANTS. SimaPro Database Manual - Methods library. Netherlands, 2015.

**Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum”** – definição e princípios. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/12906958/Relatorio-Brundtland-Nosso-Futuro-Comum-Em-Portugues#scribd>. Acesso: 20/05/15.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** Editora Garamond, 2000.

SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento includente, sustentável, sustentado.** Editora Garamond, 2004.

SILVA, G.A. [et. al.]. **Avaliação do ciclo de vida: ontologia terminológica** – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília: 2014.

Software **CCaLC2© Carbon Footprinting Tool** - versão 1.150. Disponível em: <http://www.ccalc.org.uk/index.php>. Acesso 20/05/15.