

Avaliação do Ciclo de Vida da Farinha de Mandioca

Evaluation of the life cycle of yellow cassava flour

Hélio CORRÊA FILHO [1](#); Marcos Ximenes PONTE [2](#); Sebastião Roberto SOARES [3](#)

Recebido: 10/08/2017 • Aprovado: 07/09/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Material e métodos](#)
 - [3. Resultados e discussões](#)
 - [4. Conclusões](#)
- [Referências bibliográficas](#)

RESUMO:

A farinha de mandioca é o principal produto derivado da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no Brasil. O objetivo foi mensurar e comparar os impactos ambientais na cadeia produtiva da farinha amarela de mandioca, produzida pelo método tradicional por agricultores familiares no Pará e pelo método industrial no Paraná, utilizando a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida de acordo as normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044. Os resultados mostram que a farinha amarela produzida no método tradicional é mais impactante nas categorias de impacto Uso da Terra e Demanda Acumulada de Energia, e no método industrial são Acidificação e Aquecimento Global.

Palavras-chave: Farinha amarela de mandioca; Avaliação do ciclo de vida; Impacto ambiental.

ABSTRACT:

Cassava flour is the main product derived from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Brazil. The objective was to measure and compare the environmental impacts in the production chain of yellow cassava flour, produced by the traditional method by family farmers in Pará and by the industrial method in Paraná, using the methodology of the Life Cycle Assessment according to the ABNT NBR ISO 14040 and 14044. The results show that the yellow flour produced in the traditional method is more impacting in the categories of impact Land Use and Accumulated Energy Demand, and in the industrial method are Acidification and Global Warming.

Keywords: Yellow cassava flour; Life cycle assessment; Environmental impact.

1. Introdução

A farinha de mandioca é o principal derivado da raiz tuberosa da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), a qual está incorporada na alimentação brasileira. Devido à diversidade de farinhas existentes no Brasil o Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, por meio da Portaria nº 554, de 30 de agosto de 1995, definiu farinha de mandioca em três grupos: a) farinha d'água de mandioca; b) farinha mista de mandioca; e c) farinha de seca de mandioca. O produto, farinha amarela de mandioca avaliado, nesta pesquisa, considerara o

processamento das raízes no método tradicional, é similar a farinha mista de mandioca, que depende da maceração das raízes em água.

A farinha amarela de mandioca produzida no método industrial de processamento de raízes, no Estado do Paraná, por dispensar o processo de maceração das raízes de mandioca em água, difere no cheiro e sabor da farinha produzida no Pará. A coloração amarelada é proveniente da adição de corante amarelo durante o processo de fabricação, e varia de intensidade dependendo da região em que será comercializada.

Atualmente, a produção de farinha de mandioca, quer seja por processos menos elaborados, comumente encontrado em casas de farinha de agricultores familiares, ou por processos industriais em maior escala, requer o uso de insumos, energia, máquinas e equipamentos que contribuem para diversas categorias de impactos ambientais.

Porém, diferentemente de outros produtos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACVs) comparativas, como automóveis/combustíveis por Maclean et al (2003); de plásticos por Harding et al (2007); da variabilidade nos impactos ambientais da soja brasileira de acordo com a produção agrícola e cenário de transporte por Prudêncio da Silva et al (2010); a ACV no balanço energético do óleo de palma por Queiroz et al (2012); Hong et al (2014) comparou a produção de etileno a base de milho e de mandioca. Os impactos ambientais inerentes ao produto farinha amarela de mandioca são desconhecidos no contexto de abordagem holística.

Neste sentido, a pesquisa teve como objetivo comparar e explicar as contribuições ambientais inerentes a farinha amarela de mandioca, referentes as categorias de impacto ambiental descritas em Goedkoop et al (2013): Acidificação, Aquecimento Global e Uso do Terra. Acrescida da Demanda Acumulada de Energia (Hischier et al, 2010).

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das formas aceitas na comunidade científica para mensurar, avaliar e comparar holisticamente diferentes categorias de impactos ambientais. Estudos de ACV comparativa remontam as décadas de 60 e 70, e evoluíram ao longos das décadas, incluindo modelos de cálculos, e teve forte crescimento na primeira década do século XXI (GUINÉE et al, 2011).

O ciclo de vida é definido por US EPA (2006), como as principais atividades que compreendem a vida útil de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, a fabricação, o uso e manutenção, descarte ou reciclagem. Para Goedkoop et al (2009), a ACV é uma ferramenta metodológica utilizada no contexto de impacto ambiental para analisar quantitativamente o ciclo de vida de produtos e/ou atividades. Atualmente, a ACV é uma importante ferramenta de avaliação de impacto ambiental capaz de ser aplicada para avaliar diferentes produtos e/ou serviços.

As principais contribuições desta pesquisa são a: elaboração do Inventário da produção de farinha de mandioca nos moldes da ACV; ACV da cadeia produtiva da farinha amarela de mandioca produzida no método tradicional, por agricultores familiares, em Santarém no Pará; ACV da farinha amarela de mandioca produzida no método industrial, envolvendo agricultura industrial de larga escala, em Paranavaí no Paraná; Comparação dos impactos ambientais decorrentes das ACVs da farinha amarela produzida no Pará com a farinha amarela produzida no Paraná, considerando as seguintes categorias de impactos: Acidificação, Aquecimento Global, Uso da Terra e Demanda Acumulada de Energia e Análise de sensibilidade considerando o cenário sem a ocorrência de *El Niño* na produção da farinha amarela.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: inicialmente é descrito os métodos de produção de farinha amarela tradicional e industrial adotados nos Estados do Pará e no Paraná respectivamente; na sequência os materiais e métodos são descritos; culminando, na última sessão, a discussão dos resultados e conclusões.

2. Material e métodos

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta metodológica largamente aceita na

comunidade científica para estimar impactos ambientais associados a produtos e serviços, conforme a ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014).

2.1. Caracterização a área de estudo

A farinha amarela de mandioca, objeto de pesquisa comparativa das ACVs, é caracterizada por dois métodos de produção: 1) tradicional; e 2) industrial, em duas regiões do Brasil, nos anos de 2015 e 2016.

1. No método tradicional a farinha amarela é produzida por processos semi industrial, conforme descrito por Bezerra (2006). Similar a encontrada na casa de farinha pesquisada, localizada na comunidade Boa Esperança, localizada no Km 43 da Rodovia Curuá-Una (PA-370), em Santarém, Oeste do Pará.

Na fase agrícola, as raízes de mandioca são cultivadas pelos membros da família, nos moldes da agricultura familiar, com o uso parcial de mecanização agrícola. O solo é caracterizado por teor de argila de 56%, teor de matéria orgânica de 3,2% e pH em água de 4,1%, e apresenta baixos teores de nutrientes essenciais como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme resultados de análise química do solo, realizado no Laboratório de Análises de Solos da EPAGRI [4]/SC, a qual foi comparada com (Ribeiro et al, 1999).

A área pesquisada está em processo de intensificação da agricultura, eliminando o sistema de pousio longo, porém não utilizaram insumos que visem a reposição de nutrientes ao solo, como calcário e fertilizantes químicos. Com exceção do gradeamento do solo e o uso de glifosato, as demais operações agrícolas foram realizadas manualmente.

O transporte das raízes para o galpão da casa de farinha realizado em caminhonete. Em seguida, ocorre as demais etapas de processamento das raízes de mandioca, que resulta na farinha amarela. As etapas de processamento realizadas em um galpão que dispõe de poucos equipamentos motorizados, desconexos, de modo que a maior parte do trabalho foi realizado de forma manual, o que limita a capacidade de processamento de raízes a 1 ou 2 toneladas de raízes por semana.

2. No método industrial a farinha amarela de mandioca é produzida em larga escala em indústrias na Região Sul do Brasil. O Estado do Paraná é o maior produtor de derivados de mandioca industrializados, em especial farinha e fécula. Onde está localizada a Fábrica de Farinha de Mandioca Pioneira, no Distrito de Mandiocaba, município de Paranavaí, Estado do Paraná, local que ocorreu a pesquisa.

A indústria cultiva parte das raízes destinada ao próprio consumo e complementa o suprimento de matéria prima com o fornecimento de raízes de mandioca por produtores locais ou de municípios vizinhos. O cultivo das raízes é proveniente da agricultura industrial com o uso intensivo de mecanização e de insumos agrícolas, tais como calcário, fertilizantes químicos e herbicidas.

O solo é predominantemente arenoso e apresenta boa produtividade. A tipificação do solo está em conformidade com Takahashi (1998), caracterizado como predominante composto por 89% de areia, 10% de argila e 1% de silte. Classificado como Podzólico Vermelho Amarelo distrófico (Embrapa, 1984, citado por Takahashi, 1998).

O trabalho é realizado com o auxílio por máquinas, exceto a separação das raízes das cepas e seu acondicionamento em *bags* durante a colheita. Após a colheita as raízes são transportadas em caminhões *bitrem* até a indústria farinheira, onde o processo de transformação automatizado é capaz de processar até 200 toneladas de raízes por dia.

Os resíduos sólidos como cascas e descartes são reaproveitados como ração animal. Os efluentes líquidos são destinados a dois biodigestores que o processam produzindo biogás que é consumido na caldeira da própria indústria para aquecimento dos fornos durante o processo de secagem da farinha.

As coletas de dados no município de Santarém que subsidiaram as entradas no sistema foram realizadas a partir de pesquisas em campo com medições *in loco*. Na área colhida foram coletadas coordenadas com GPS Garmin Etrex, e posteriormente foram processadas com o *software* de Geoprocessamento QGIS 2.14.11 para determinar o tamanho da área colhida. No galpão da casa de farinha foram realizadas as pesagens das raízes de mandioca, assim como as pesagens subsequentes, em cada etapa de processamento para realização do balanço de massa da farinha amarela de mandioca. Os dados complementares, em especial da fase de cultivo, foram obtidos com aplicações de questionários e entrevistas.

Também foram realizadas visita *in loco* na Indústria de Farinha Pioneira no município de Paranavaí no Paraná, ocasião em que foram realizadas coletas de dados de produção mediante observação *in loco*, aplicação de questionários e realização de entrevistas.

A coleta de dados do cultivo da mandioca no sistema industrial foi realizada mediante entrevistas por telefone, por e-mail e trocas de mensagens de texto. Esse método de coleta de dados também foi utilizado nos casos citados anteriormente.

Dados complementares foram obtidos a partir da literatura científica e da base de dados ecoinvent 3.3 utilizada por meio do *software* SimaPro 8.2, com base no método CML 2001 atualizado com o IPCC 2007, acrescido da demanda acumulada de energia.

Os cálculos para conversão de DQO em CH₄ e CO₂ estão em conformidade com Faria (2012). As taxas de emissões de N no solo proveniente de resíduo da cultura, e a estimativa das emissões de N₂O proveniente do gerenciamento dos solos foram calculadas de acordo com (IPCC, 2006). A quantidade de P perdida através de escoamento para rios está em conformidade com os cálculos de Walther et al (2001, citado por NEMECEK et al, 2007). Não foram contabilizadas as emissões de P por lixiviação do solo.

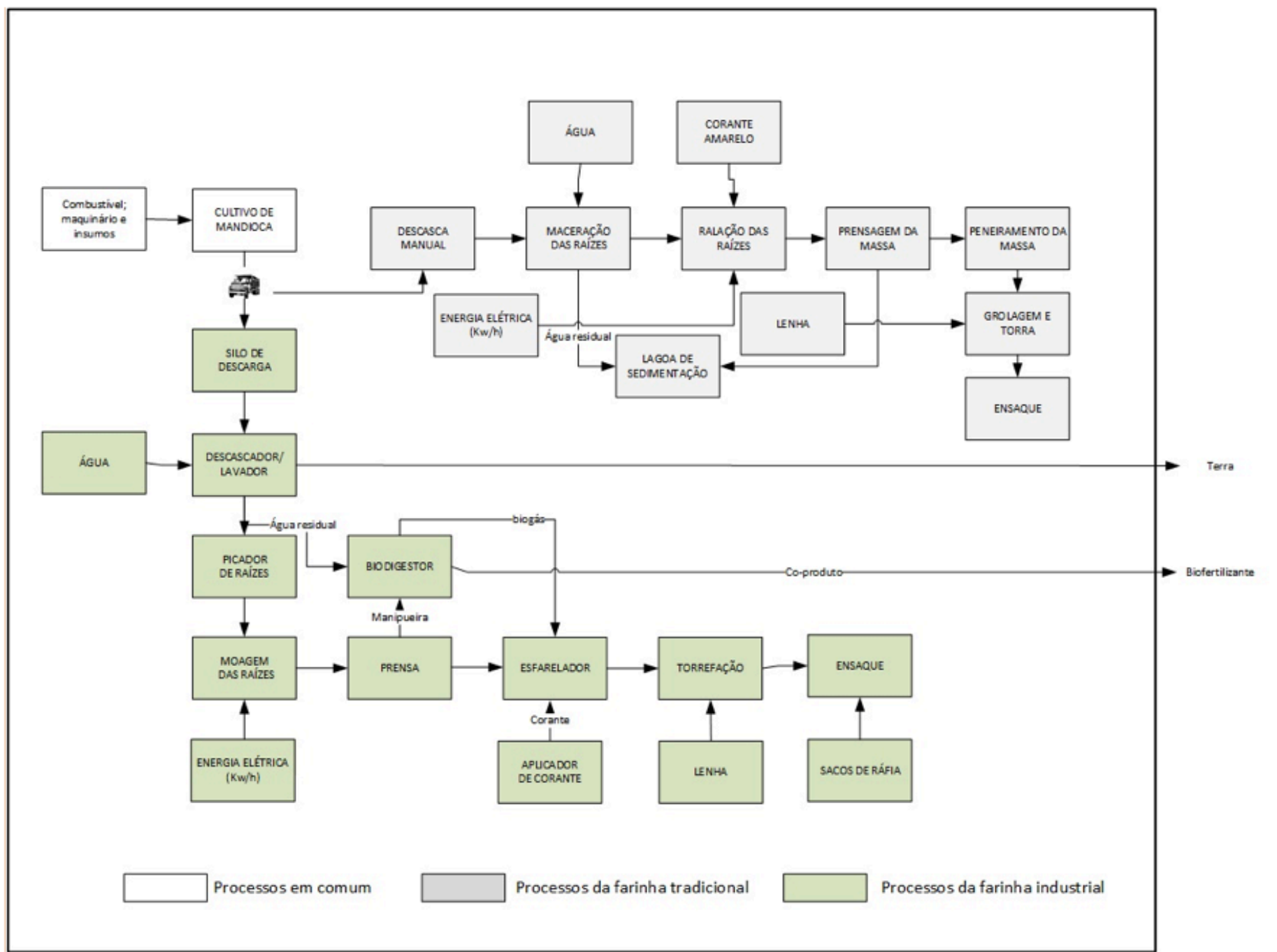
2.2. Objetivo, escopo e unidade funcional

A definição do objetivo e escopo são fases do processo de ACV que permitem determinar a finalidade do estudo, assim como dos métodos de impactos ambientais da ACV no processo de tomada de decisão (US EPA, 2006).

A ACV da Farinha de Mandioca tem como objetivo comparar os impactos ambientais inerentes ao produto farinha amarela de mandioca. Para tanto, faz-se necessário quantificar as entradas e saídas no decorrer do processo produtivo do cultivo da mandioca, do transporte das raízes, do processamento da matéria prima e do tratamento dos resíduos, quando aplicável, resultando no produto pronto no portão da fábrica, especificando os impactos ambientais dos fluxos materiais decorrentes do processo produtivo, respeitando as limitações da fronteira do sistema. A figura 1 representa o fluxograma das cadeias produtiva da produção de farinha amarela de mandioca do método tradicional e do método industrial.

Figura 1

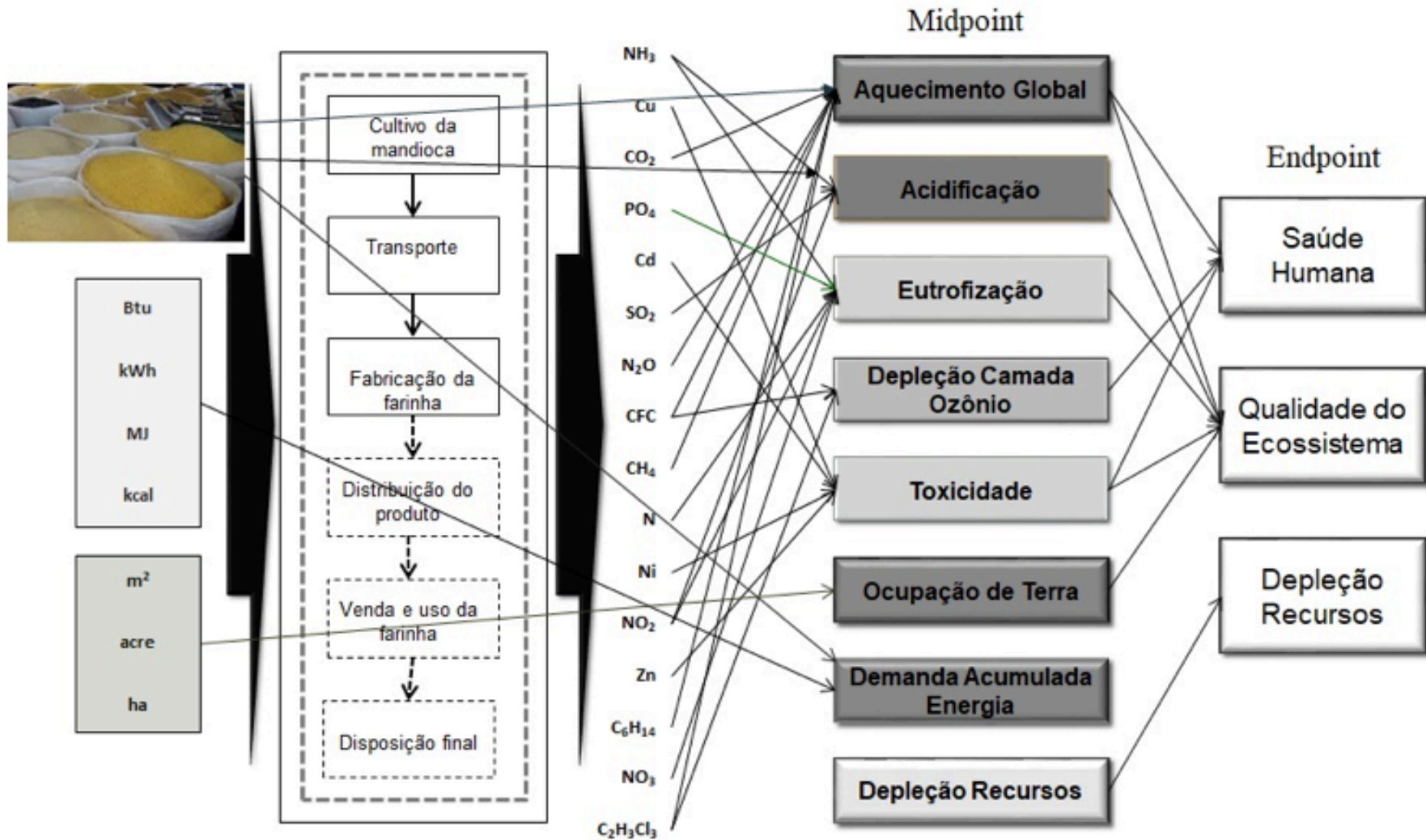
Fluxo simplificado da fronteira do sistema



Fonte: Autor, 2017.

Delimitada a fronteira do sistema, especial atenção foi dada as categorias de impacto descritas em Goedkoop et al (2009): a Acidificação, o Aquecimento Global, o Uso da Terra e a Demanda Acumulada de Energia por Hirsch et al (2010) e Huijbregts et al (2010), que compõem os *mindpoints* alvos da comparação desta ACV, como mostra a figura 2.

Figura 2
Mindpoints alvos



Fonte: Adaptado de Goedkoop et al (2013).

Assim, adotou-se uma tonelada de farinha amarela como unidade funcional, que subsidia a atribuição dos impactos ambientais ao produto no decorrer desta pesquisa, que foi desenvolvida englobando a cadeia produtiva da farinha amarela de mandioca, conforme a ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014). Os impactos decorrentes da terra destinada a aterro e da utilização do biofertilizante presente na lama do biodigestor estão fora da fronteira do sistema e, portanto, não serão contabilizados.

2.3. Inventário do Ciclo de Vida (LCI)

Os dados são pré-requisito básicos para a qualidade da ACV, que em geral requer grandes quantidades de dados, que são tratados na fase de Inventário do Ciclo de Vida (LCI), que representam os fluxos de massa e de energia nas diversas entradas e saídas durante o ciclo de vida do produto.

A fim de melhorar a compreensão, os dados de inventário foram dispostos na tabela 1, representando as entradas no sistema de produção de farinha amarela e mandioca no método tradicional, no método industrial e também as entradas da produção de farinha amarela de mandioca referente a análise de sensibilidade. Todos os casos foram relacionados com a unidade funcional de uma tonelada do produto farinha amarela.

Na tabela 1 estão dispostos dados referentes ao produto farinha amarela de mandioca no método industrial (FA_ind); da farinha amarela de mandioca no método tradicional (FA_trad), e também dados utilizados na modelagem da análise de sensibilidade (FA_trad_AS).

Tabela 1
Inventário do ciclo de vida da farinha de mandioca amarela

Descrição	FA_ind.	FA_trad.	FA_trad_AS

	Unidade	Montante/UF		Montante/UF
ENTRADAS				
Área	ha	0,09	0,42	0,28
Diesel (total)	MJ	287,25	65,5	104
Trator	Kg	1,84	0,578	0,385
Maquinário agrícola	Kg	0,04	1,72	1,72
Uréia	Kg	0,74		
Fósforo	Kg	2,63		
Potássio	Kg	2,98		
Diuron	Kg	0,18		
DMA 2,4 D	Kg	0,09		
Glifosato	Kg	0,37	1,47	0,978
Herbicidas não especificados	Kg	0,30		
Transp. Calcário para a fazenda	tkm	1595		
Calcário (aa.)	Kg	27,9		
SAÍDAS				
Raízes de mandioca	Kg	3190	5.129,76	4.000
TRANSPORTE				
Transporte das raízes	tkm	239,25	30,8	24
PROCESSAMENTO				
Água lavagem (raízes)	Kg	9300		
Cascas de mandioca	Kg	7,79	832,56	311,6
Terra	Kg	255,20		
Água de maceração	M3		4,3	3,7
Manipueira	M3	0,957	2,33241	1,48805

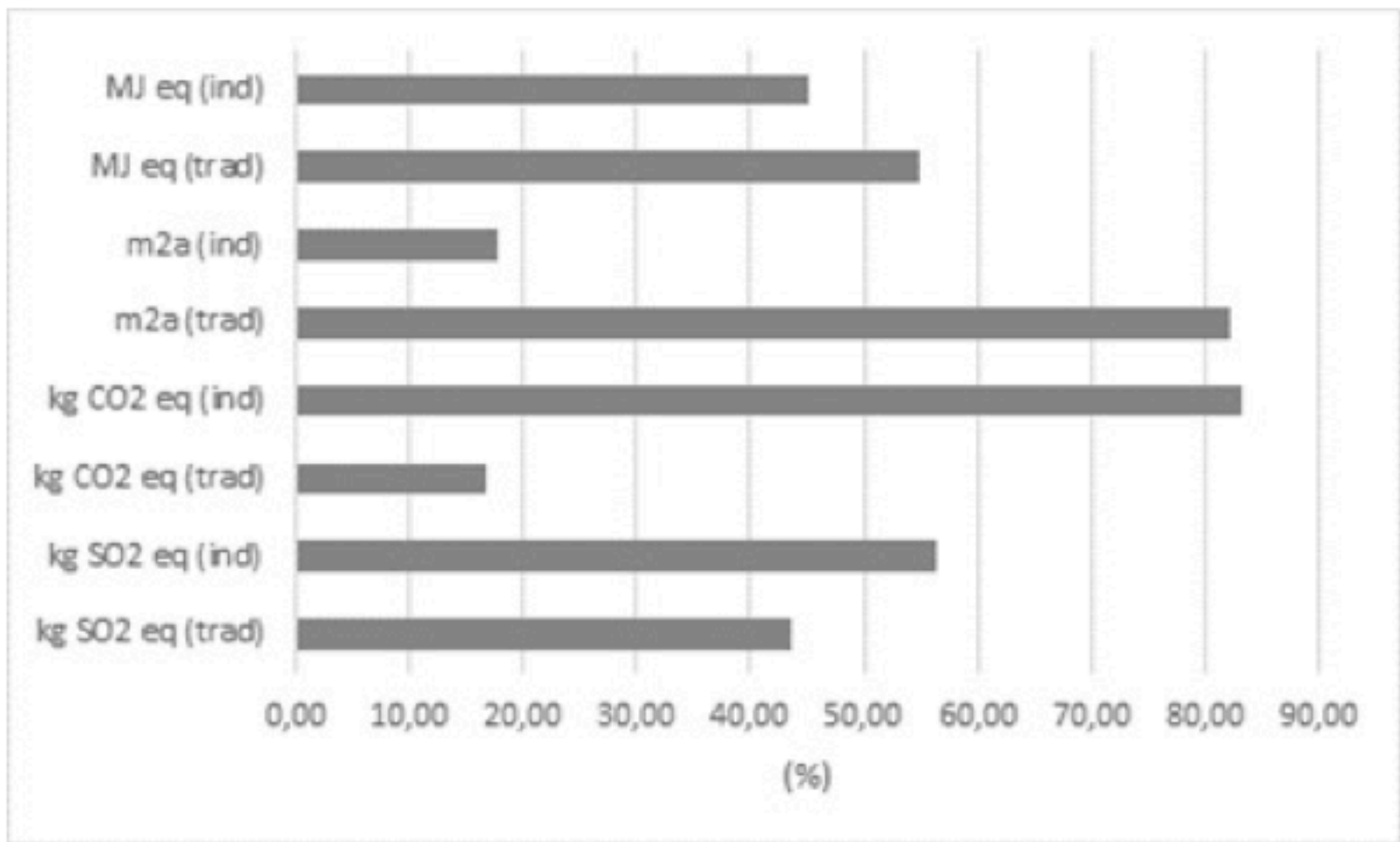
Corante amarelo	Kg	0,04	2,9	2,9
Energia elétrica	kW/h		17,08	17,08
Lenha	Kg	43,6	1.459,2	1459,2
Biogás	MJ	1109,65		
Sacos de rafia (polietileno)	Kg	1,64	1,64	1,64
Emissões				
Emissões maceração	Kg (N2O)		4,6	5,36
Emissões manipueira (N2O)	Kg (N2O)		4,7	5,26
DQO	Kg/m3	1,5	1,5	1,5

Fonte: Autor, 2017.

3. Resultados e discussões

A ACV por ser uma metodologia que possibilita quantificar os impactos ambientais no ciclo de vida dos produtos/serviços a partir dos dados contidos do Inventário do Ciclo de Vida, mediante a conversão dos dados em informações classificadas nos *midpoints* de acordo com o Hirschler et al (2010), que nesta abordagem contemplam a Acidificação, o Potencial de Aquecimento Global, o Uso da Terra e a Demanda de Energia Acumulada (HUIJBREGTS et al, 2010). A figura 3 mostra a distribuição equivalente, com valores normalizados em percentuais, de acordo com as respectivas unidades de referência de categoria de impacto que representam.

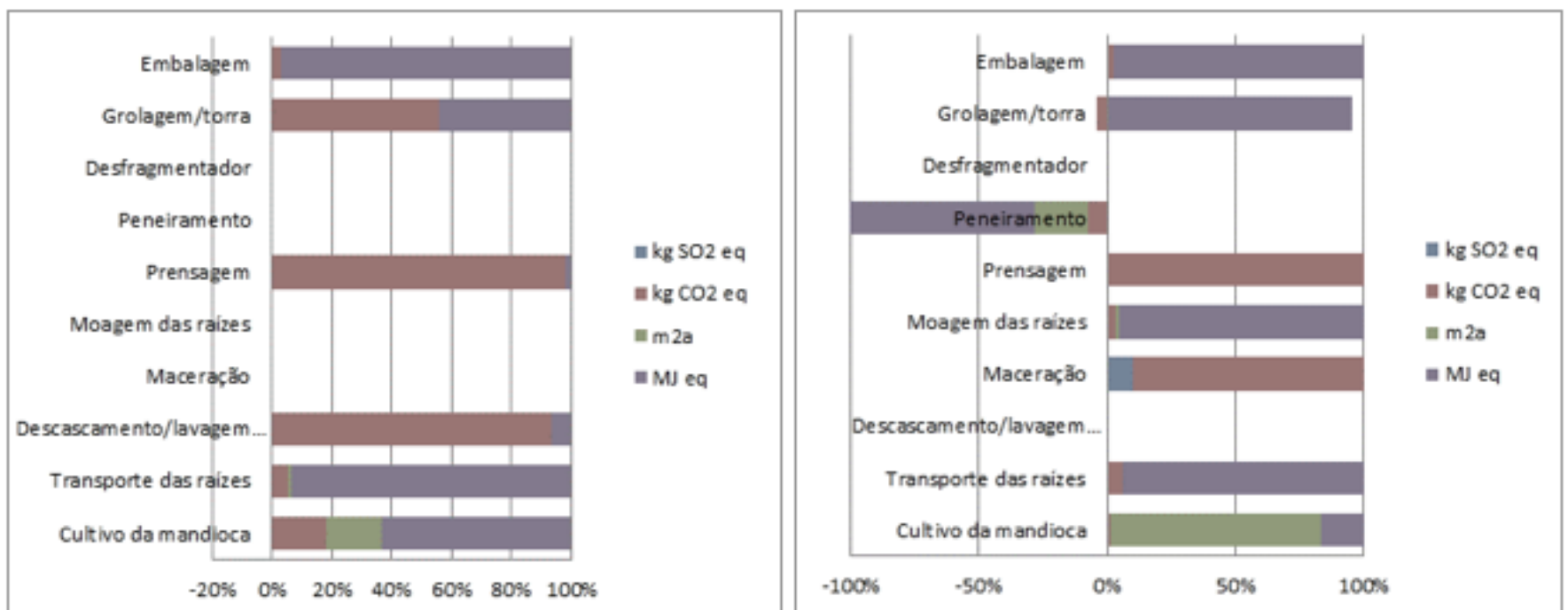
Figura 3
Contribuições por categoria de impacto.



Fonte: Autor, 2017.

Os dados inventariados foram classificados em categorias de impactos, o que permitiu contabilizar em percentuais, as contribuições dos principais processos relativos ao processamento das raízes na produção da farinha amarela de mandioca, os quais foram avaliados nos dois métodos de produção: (a) industrial, e (b) tradicional, conforme apresentado na figura 4. De modo a correlacionar as contribuições de processos semelhantes mediante o uso de percentual.

Figura 4
Contribuições por categoria de impacto em cada fase da cadeia produtiva.



(a) Industrial

(b) Tradicional

Fonte: Autor, 2017.

A contribuição do impacto ambiental causado por Acidificação apresentou valores baixos nos dois métodos de produção de farinha amarela de mandioca, industrial e tradicional. O maior valor obtido foi de 4,99%, referente ao tratamento de efluente líquido, manipueira, pelo biodigestor no método industrial. A contribuição de 2,12% foi o maior valor apresentado no método tradicional. Os demais valores observados nos dois métodos foram menores do que um.

Por outro lado, as emissões de gases que contribuem para o Potencial de Aquecimento Global, no método industrial, representado por kg CO₂ equivalente, foram elevados nos processos de descascamento/lavagem das raízes de mandioca, na prensagem da massa devido a eliminação de grande quantidade de efluente líquido, manipueira, com elevado teor de carga orgânica que ao ser digerida por bactérias anaeróbias resultam na produção de CH₄ e CO₂.

3.1. O Potencial de acidificação (AP)

O potencial de acidificação é causado pelo aumento de íons de hidrogênio (H⁺) em um determinado meio, como a terra, o ar ou a água, e altera o pH deste, tornando o ácido, o que pode causar danos a materiais orgânicos e inorgânicos. A elevação da acidez do solo ou da água, motivada pela ação de substâncias acidificantes como o dióxido de enxofre (SO₂), amônia (NH₄), óxido nitroso (NO_x), representados pelo kg SO₂ equivalente, impactam o solo, águas subterrâneas, águas superficiais, nos organismos, nos ecossistemas e nos materiais (PRÉ, 2016).

A queima de diesel durante as operações agrícolas e no transporte de insumos e da safra de mandioca resulta em emissões de SO₂ equivalente para o ar, que posteriormente são depositados no solo. A acidificação também é causada por uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura, que contribuem para as emissões de NH₃, NH₄ e NO_x. Estes poluentes reagem com o solo elevando o teor de alumínio (Al), como consequência reduz o pH do solo e inibe a absorção de nutrientes pelas plantas. Segundo Goedkoop e Spriensma (2001), a diminuição do pH induz a perda de espécies de plantas dos ecossistemas terrestres.

As fontes de nitrogênio utilizadas na agricultura na forma de fertilizantes como amônia (NH₄) e dióxido de nitrogênio (N₂O) contribuem para a acidificação do solo. Porém, a cultura da mandioca, na fase agrícola, diferentemente de outras culturas como o milho, é pouco exigente em nitrogênio (Fidalski, 1999). De modo que, produtores de mandioca utilizam adubação pobre em nitrogênio, minimizando possíveis impactos causados por NH₄ e N₂O. Por outro lado, para Inácio, Rodrigues e Pires (2005), a planta da mandioca tem capacidade de fixar nitrogênio a partir ar, devido a ação de bactérias endofíticas. O que ajuda a explicar a elevada concentração de nitrogênio presente na composição físico-química da manipueira, conforme apresentado nos trabalhos realizados por Cereda (1994); Damasceno et al (1999, citado por DAMASCENO, 2005); Barana (2000); Ferreira et al. (2001), que resultou na média de 2,3 kg de N/m³ de manipueira. O que explica a contribuição de 2,25 kg de SO₂ equivalente ou 43,25%, no método tradicional de produção de farinha amarela.

As emissões decorrentes da produção de farinha amarela, no método industrial de 4,99 kg SO₂ equivalente ou 78,3%, também atribuído as emissões referente a manipueira, que mesmo tratada pelo biodigestor, contribui para acidificação a partir das emissões da lama do biodigestor.

3.2. O Potencial de aquecimento global (GWP100)

O clima da terra depende do equilíbrio radiativo da atmosfera, associado a radiação solar, e de traços de gases radiativamente ativos como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarboneto (HFCs) e clorofluorcarboneto (CFCs) (Watson et al., 1990). A elevação da concentração dos gases do efeito estufa, causada por ação antrópica, tem gerado preocupação em relação ao potencial de

aquecimento global, que é estimado no horizonte de 20, 100 ou 500 anos, no modelo de caracterização do IPCC (IPCC, 2006); (HISCHIER et al., 2010); (IPCC, 2014); (PRÉ, 2016).

Nesta pesquisa, considerou-se o GWP no horizonte de 100 anos, relativo as emissões de CO₂ equivalente do produto farinha de mandioca amarela. Durante a fase de cultivo da mandioca na agricultura industrial, devido a utilização intensa de maquinários e agroquímicos, o impacto relativo ao potencial de aquecimento global de 440,92 kg CO₂ equivalente, foi superior aos 26,02 kg CO₂ equivalente decorrentes do cultivo de mandioca no método tradicional.

Os processos de transformação das raízes de mandioca na indústria, para produção da farinha amarela resultaram na eliminação de 9,3 toneladas de água de lavagem das raízes, que somadas a 0,957 toneladas de manipueira eliminada no processo de prensagem da massa, totalizaram 10,25 toneladas de efluente líquido com elevada carga orgânica, que são processadas num biodigestor, por bactérias anaeróbias que produzem CH₄ e CO₂.

O biogás gerado é utilizado na indústria na geração de calor mediante a queima de CH₄ na caldeira, evitando emití-lo para atmosfera, minimizando a contribuição para o GWP. Pois segundo o IPCC (2014), o CH₄ é 28 vezes mais poluente comparado ao CO₂. Além disso, com a geração de calor a partir do processo de queima do biogás na caldeira, reduziu em 70% o consumo de lenha de eucalipto, queimada para aquecimento dos fornos utilizados na grolagem e torra da farinha.

No entanto, os efluentes líquidos oriundos do processamento das raízes de mandioca no método tradicional de produção de farinha amarela, eliminados após o processo de maceração das raízes e do processo de prensagem da massa úmida, 4,3 e 2,33 toneladas respectivamente, são descartado numa lagoa de sedimentação improvisada, a céu aberto, sem os tratamentos adequados, onde ocorrem processos de degradação natural da matéria orgânica pela ação de bactérias anaeróbias que produzem gases que causam o efeito estufa CO₂ e CH₄.

De modo que, para produzir uma tonelada de farinha amarela no método industrial são emitidos 7.022,7 kg CO₂ equivalente, enquanto para produzir o mesmo produto no método tradicional são gerados 1.428,18 kg de CO₂ equivalente. Assim, a maior contribuição para o GWP é do método industrial com 83,1%, enquanto 16,9% são atribuídos pelo método tradicional.

3.3. O Uso da terra (LU)

O uso da terra é classificado de acordo com ocupação de determinada área de terra para exercer atividade humana, a qual gera impactos ambientais decorrentes do uso (Koellner et al, 2007). Porém, é importante diferenciar as categorias de impactos, os impactos e as atividades humanas causadoras que geram trocas físicas e químicas com o meio ambiente (Weidema, 2001).

Para Olesen et al (2002), a agricultura realiza a interação entre os ecossistemas e a sociedade, de modo a afetar e ser afetada pelas mudanças das condições ambientais globais. Neste sentido, os ecossistemas agrícolas variam de baixa intensidade a intensivos. Os sistemas de baixa intensidade são caracterizados pela produção agrícola de subsistência, que em geral são pouco produtivos, enquanto sistemas intensivos utilizam mecanização e insumos que aumentam a produtividade. Esse sistema é representado pela agricultura de grande escala.

De acordo com Milà I Canals et al (2007), a agricultura é um dos usos da terra que causam impactos significativos sobre a biodiversidade por afetar a qualidade do solo, o qual é responsável por fornecer funções de suporte a vida. Dependendo do tipo de uso, da intensidade e das condições biogeográficas, após o uso da terra, os efeitos dos impactos podem ser de longo prazo.

O cultivo da mandioca para produção da farinha amarela foi o processo com maior contribuição para a categoria de impacto uso da terra, principalmente no método tradicional que respondeu

por 2.101,62 m²a ou 81,83% de ocupação de área, motivado pela baixa produtividade de raízes por hectare/ano. Em contrapartida, o método industrial necessitou de 459,33 m²a ou 17,88% para atender a demanda de raízes de mandioca da unidade funcional. Os demais processos para produção da farinha amarela totalizam 0,29%. De modo que, a maior produtividade por hectare/ano, resultante da intensificação agrícola, foi determinante para minimizar impactos na categoria uso da terra.

3.4. A Demanda de energia acumulada (CED)

A demanda de energia acumulada é representada a energia utilizada de forma direta ou indireta ao longo do ciclo de vida do produto, expressa em MJ, e contempla as fases de extração, fabricação e descarte de materiais (HISCHIER et al., 2010). De acordo com Huijbregts et al (2010), a demanda de CED é uma metodologia utilizada desde a década de 1960 na avaliação do ciclo de vida de *commodities*.

A contribuição da demanda de energia acumulada na fase agrícola do cultivo da mandioca no método industrial, concentrou nas operações de colheita, na queima de diesel, consumo de trator e fertilizantes fosfatados por consumir 555,65, 325,43, 247,14 e 108,2 MJ respectivamente, e representam 78,27% da CED. Os demais impactos de CED englobam o transporte das raízes de mandioca para a indústria e o processamento das raízes. Assim, a CED decorrente da operação de transporte das raízes de mandioca da lavoura até a indústria foi de 376,64 MJ ou 37,53%.

Outro valor elevado de CED, de 349,32 MJ ou 34,81%, é referente a eletricidade consumida nos diversos processos de transformação da matéria prima na indústria, de forma agregada, na produção de farinha amarela de mandioca.

O cultivo da mandioca no sistema tradicional apresentou contribuições de 288,09 MJ (66,22%), 74,21 MJ (17,06%) e 72,76 MJ (16,72%) referente a queima de diesel, uso de glifosato e uso de trator respectivamente.

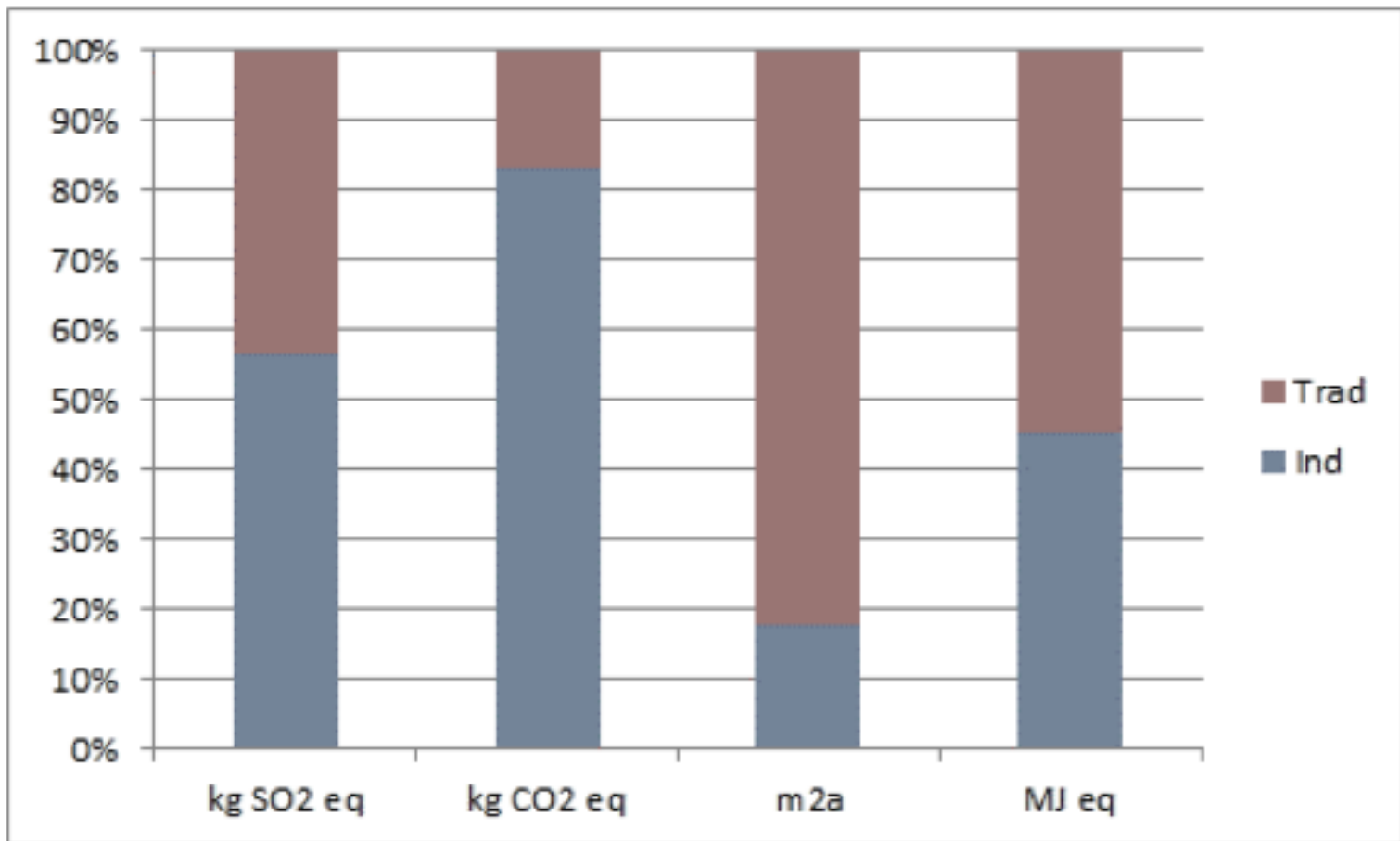
Os demais impactos de CED referente ao transporte das raízes com 953,42 MJ (35,22%), somados aos 1.458,12 MJ (53,86%) atribuídos ao processo de geração de calor nos fornos mediante a queima de lenha para secagem da farinha, que somados respondem por 89,08% do CED decorrente da produção da farinha amarela no método tradicional.

Ao comparar os valores totais de CED nos dois métodos, a indústria consumiu 2583,03 MJ (45,11%), devido a queima do biogás, contabilizado como consumo de lenha evitado, que resultou na redução de 70% do consumo de lenha. Enquanto no método tradicional o consumiu 3142,20 MJ (54,88%) dos quais 1.458,12 MJ foram atribuídos ao elevado consumo de lenha.

A comparação dos processos avaliados do produto farinha amarela de mandioca, produzida industrialmente com a produzida no método tradicional, por categoria de impacto estão representadas em percentuais por colunas, como mostra a figura 5.

Figura 5

Comparação da ACV por categoria de impacto.



Fonte: Autor, 2017.

A produção de raízes de mandioca, referente ao cultivo das raízes no método industrial, depende da utilização de máquinas, implementos agrícolas e agroquímicos como fertilizantes, especialmente fósforo, e herbicidas, representados por categorias de impacto com suas respectivas contribuições, tais como: a) demanda de energia acumulada com 1.579,62 MJ equivalente; b) ocupação de terra com 459,33 m² c) potencial de aquecimento global com 440,92 kg CO₂ equivalente; e d) acidificação com 0,63 kg SO₂ equivalente.

No método tradicional de cultivo de raízes de mandioca, de agricultura familiar, apresenta baixa utilização de máquinas, implementos agrícolas e insumos agroquímicos, o que resultou em diminuição dos impactos ambientais nas seguintes categorias: e) demanda acumulada de energia com 435,06 MJ; f) potencial de aquecimento global com 26,02 kg CO₂ equivalente; g) acidificação com 0,14 kg SO₂ equivalente; h) no entanto, houve aumento de uso de área em relação ao uso da terra, pois utilizou 2.101,62 m²a. Considerando os impactos finais atribuídos ao produto farinha amarela de mandioca produzida no método industrial e tradicional, mediante avaliação por ACV, foi possível comparar os produtos e perceber mudanças nos impactos em relação a fase de cultivo das raízes. De modo que, a farinha amarela produzida industrialmente contribuiu com 7.022,70 kg CO₂ equivalente (83,1%) referente ao potencial de aquecimento global, dos quais, 83,71% desse percentual é atribuído ao efluente líquido, rico em carga orgânica. O impacto da categoria acidificação foi de 6,37 kg SO₂ equivalente (56,47%). Desse montante 78,32% é atribuído ao efluente líquido com elevada carga orgânica, decorrente do processo de descascamento e lavagem das raízes de mandioca.

A produção da farinha amarela, pelo método tradicional, em relação a uso da terra, utilizou 2.113,54 m²a (82,29%) de ocupação de terra, comparado a farinha amarela produzida industrialmente. Também consumiu 3.142,2 MJ equivalente (54,88%) de demanda acumulada de energia, superando a demanda de energia acumulada em 4,88% em relação a indústria farinheira.

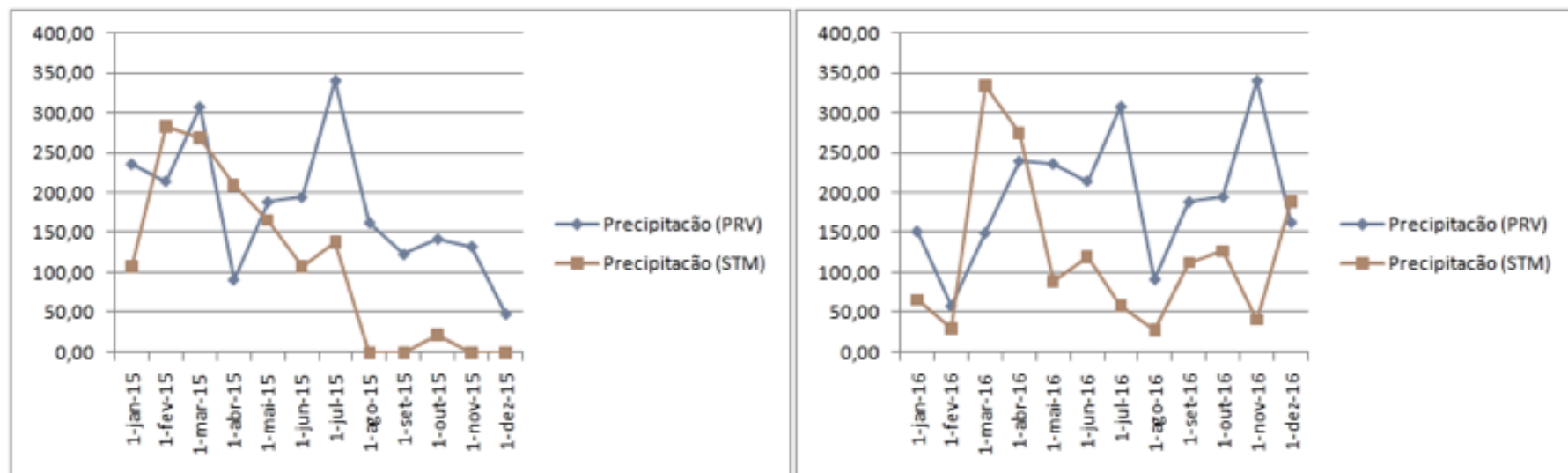
3.5. Análise de sensibilidade

A ocorrência do fenômeno climático *El Niño*, devido à elevação da temperatura das águas tropicais dos oceanos Pacífico e Atlântico, dificulta a ocorrência de chuvas na Amazônia (NASA,

2016). Este fenômeno, em 2015 e no início de 2016, alterou o padrão de chuvas globalmente. Na Amazônia Brasileira, houve redução de precipitação na estação chuvosa, ocasionando seca severa (Nasa, 2016), conforme demonstrado na figura 6 (a) e (b), elaboradas com dados do INMET (2017).

Figura 6

Influência do *El Niño* na distribuição das chuvas em STM e PRV.



(a)

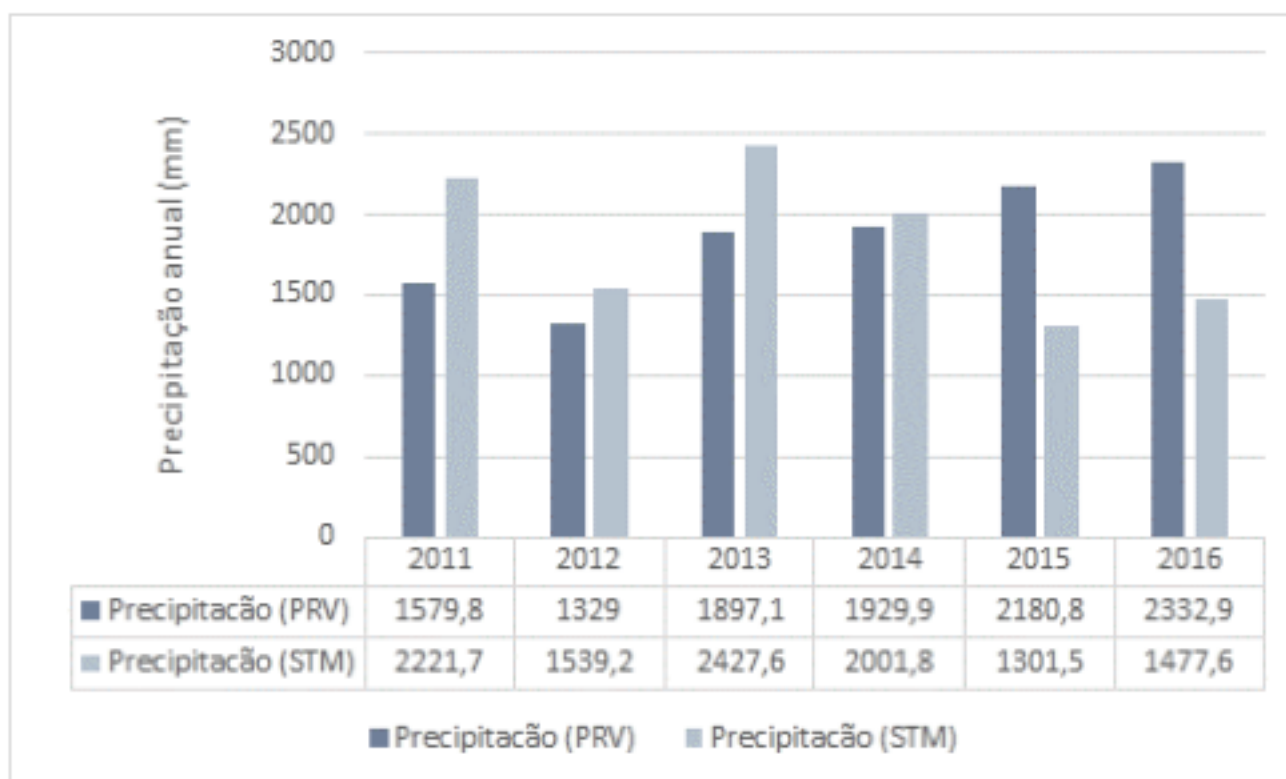
(b)

Fonte: INMET (2017)

O *El Niño* influenciou o prolongamento da estação seca na Amazônia, em especial no município de Santarém no Estado do Pará, por seis meses contínuos. Houve significativa redução na precipitação anual de chuvas (mm), quando comparado com aos quatro anos anteriores a 2015, período em que o volume precipitado (mm) superou os 2000mm, exceto em 2012, como mostrado na figura 7. Neste mesmo período a região Sul do Brasil, em especial a cidade de Paranavaí no Estado do Paraná, ocorreu aumento da precipitação de chuvas por influência do *El Niño* (FERREIRA, 2016). O volume de chuvas acumulada neste período superou os 2000mm, superando a média dos últimos quatro anos (INMET, 2017).

Figura 7

Histórico de precipitação de chuvas em Paranavaí - PR e Santarém - PA.



Fonte: INMET (2017)

A ausência de chuvas no período de meados de julho de 2015 a fevereiro de 2016, impactou negativamente o cultivo da mandioca na região, porque afetou o desenvolvimento vegetativo da planta, reduziu a produtividade por hectare de 14t/ha (IBGE, 2012, 2013 e 2014) para 12t/ha e o teor de amido das raízes tuberosas caiu de 25% para 19,4%. Diferindo dos 25% apresentado por Cereda (1994). Para Araujo e Lopes (2009), o rendimento da farinha varia de 25 a 35%.

A redução do teor de amido nas raízes de mandioca diminuiu o rendimento da farinha amarela por tonelada de raiz, necessitando aumentar a área colhida e o volume de raízes processadas para obter a mesma quantidade de farinha amarela. Assim, duas toneladas de raízes de mandioca a menos por hectare, equivalem a redução da produtividade em 14,29% e de 9,6% no teor de amido contido nas raízes, o que motivou a realização da análise de sensibilidade apresentada na tabela 2, conforme recomendação da ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014).

Tabela 2
Análise de sensibilidade da farinha tradicional

Categoria de impacto	Unidade	FA_trad.	FA_trad. (AS)	(%)
Acidificação terrestre (TAP)	kg SO2 eq	4,91499528	4,913476354	99,97
Aquecimento global (GWP100)	kg CO2 eq	1.428,186984	1.427,750753	99,97
Uso da terra (LU)	m2a eq	2.113,540051	2.112,907576	99,97
Demanda de energia acumulada (CED)	MJ eq	3.142,208531	3.141,138397	99,97

Fonte: Autor, 2017.

A análise de sensibilidade apresentou redução de 0,03% em todas as categorias de impactos descritas na tabela 2, de modo que embora o fenômeno climático *El Niño* tenha contribuído para a redução da produtividade das raízes tuberosas da mandioca, e conseqüentemente reduziu o teor de amido nas raízes, os impactos ambientais considerados no balanço de massa não foram significativos.

4. Conclusões

A ACV comparativa demonstrou que a maior utilização de recursos tecnológicos na cadeia produtiva da farinha amarela, representado pelo método industrial, com o uso intensivo de maquinário agrícola, queima de combustível fósseis, utilização de agroquímicos e elevada produção de efluente líquido resultaram em maior contribuição para as categorias de impacto ambiental Acidificação e Potencial de Aquecimento Global.

A produção de farinha amarela no método tradicional teve maior contribuição para as categorias de impacto relacionados a Demanda Acumulada de Energia e ao Uso da Terra. Tais fatos estão relacionados com a menor eficiência e eficácia empregada a processos ao longo da cadeia produtiva, em especial no cultivo da mandioca que resultou em baixa produtividade por hectare, conseqüentemente em maior uso de terra. A Demanda de Energia Acumulada está relacionada ao consumo de energia térmica, referente a queima de diesel no transporte das raízes e ao elevado consumo de lenha nos fornos, devido a menor eficiência dos fornos durante a grolagem e torrefação da farinha, comparado aos fornos utilizados na indústria.

A análise de sensibilidade da farinha amarela produzida no método tradicional não foi

representativa, considerando o balanço de massa, diferindo em 0,03% uma da outra. Como a variação da produtividade avaliada *in loco* com a observada na literatura foi de 14,29% em relação as raízes de mandioca e variação de 9,6% no teor de amido leva a novos questionamentos, que possa ser mais representativo numa avaliação econômica em detrimento a de balanço de massa.

Referências bibliográficas

- ABNT NBR ISO 14040. (2009). Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.
- ABNT NBR ISO 14044. (2014). Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.
- Araújo, J. S. D. P., Lopes, C. A. (2009). Produção de farinha de mandioca na agricultura familiar. Niterói-RJ, p. 1-17.
- Barana, A. C. (2000). Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica. (Tese de Doutorado) Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP. Botucatu, SP.
- Bezerra, V. S. (2006). Farinhas de mandioca seca e mista. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF.
- Cereda, M. P. (Coord.). (1994). Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: Cereda, M. P. (Coord). Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia, p.11-50
- Damasceno, S. (2005). Tratamento e uso de resíduos de mandioca In: XI Congresso Brasileiro da Mandioca. Campo Grande, MS.
- FARIA, R. A. P. (2012). Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto - estudo de caso. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura. Cascavel.
- Ferreira, L. G. B., CARAMORI, P. H., MORAIS, H., NITSCHKE, P. R., COSTA, A. B. F. (2016). O fenômeno el niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do paraná. Boletim Técnico, IAPAR, p. 1-13.
- Ferreira, W. D. A., BOTELHO, S. M., CARDOSO, E. M. R. (2001). Uso da manipueira (Tucupi) como fonte de nutrientes para o cultivo da mandioca. Comun. téc. Nº. 59, Embrapa, p.1-4
- FIDALSKI, J. (1999). Respostas da mandioca à adubação npk e calagem em solos arenosos do noroeste do paraná. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.34, n.8, p.1353-1359.
- Goedkoop, M., Heijungs, Reinout., Huijbregts, Mark., Schryver, An De., Struijs, Jaap., Zelm, Rosalie van. (2013). ReCiPe 2008: A LCIA method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Characterisation. A life cycle impact. p. 133.
- Goedkoop, M., Heijungs, Reinout., Huijbregts, Mark., Schryver, An De., Struijs, Jaap., Zelm, Rosalie van. (2009). ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Potentials, p. 1-44.
- Goedkoop, M., Spriensma, R. (2001). The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life cycle impact assessment. Assessment, p. 144.
- Guinée, J. B., Heijungs, R.T., Huppes, G. (2011). Life cycle assessment: past , present, and future†. American Chemical Society, v. 45, n. 1, p. 90-96.
- Harding, K.G., Dennis, J.S., Blottnitz, H. von; Harrisona, S.T.L. (2007). Environmental analysis of plastic production processes: Comparing petroleum-based polypropylene and polyethylene with biologically-based poly-β-hydroxybutyric acid using life cycle analysis. Journal of Biotechnology, v. 130, n. 1, p. 57-66.

Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Frischknecht, R., Hellweg, S., Humbert, S., Jungbluth, N., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T. (2010). implementation of life cycle impact assessment methods Data v2.2 (2010). ecoinvent Report No. 3, v. 2.2, n. 3, p. 176.

Hong, J., Zhang, Yanlu., Xu, Xu., Li, Xiangzhi. (2014). Life cycle assessment of corn and cassava based ethylene production. *Biomass and Bioenergy*, v. 67, p. 304–311.

Huijbregts, M. A. J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, H. W. M., Hungerbühler, K., Hendriks, A. J. (2010). Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. *Environmental Science and Technology*, v. 44, n. 6, p. 2189–2196.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, v. 39, p.1-101.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, v. 40, p.1-102.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, v. 41, p.1-100.

INMET. (2017). Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> obtido em: janeiro de 2017.

IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kamiyamaguchi Hayama, Kanagawa, Japan: IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Koellner, T., Scholz, R. W. (2007). Assessment of land use impacts on the natural environment. Part 1: an analytical framework for pure land occupation and land use change. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 12, n. 1, p. 16–23.

Macleán, H. L., Lave, L. B. (2003). Life cycle assessment of automobile / fuel options. *Environmental Science & Technology*, v. 37, n. 23, p. 5445–5452.

Milà I Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Knuchel, R. F., Gaillard, G., Michelsen, O., Müller-Wenk, R., Rydgren, B. (2007). Key elements in a framework for land use impact assessment within LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 12, n. 1, p. 5–15.

Nasa (2016). (NASA Goddard Space Flight Center). El niño could drive intense season for Amazon fires. Junho, 2016.

Nemecek, T., Kagi, T. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems, ecoinvent report No. 15. Final report of Ecoinvent V2.0, n. 15, p. 1–360.

Olesen, J. E., Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for european agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, v. 16, p. 239–262.

Pingmuanglek, P., Jakrawatana, N., Gheewala, S. H. (2017). Supply chain analysis for cassava starch production: Cleaner production opportunities and benefits. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 1075–1084. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.148

Pré. (2016). SimaPro Database Manual. PRe', p. 1–67.

Prudêncio da Silva, V., WERF, H. M.G. van der., SPIES, A., SOARES, S. R. (2010). Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 9, p. 1831–1839. D

QUEIROZ, A. G., FRANÇA, L., PONTE, M. X. (2012). The life cycle assessment of biodiesel from palm oil ("dendê") in the Amazon. *Biomass and Bioenergy*, v. 36, p. 50–59.

Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V. H. (1999). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 359p.

Takahashi, M. (1998). Épocas de poda na cultura da mandioca na região noroeste do paraná, Braz. arch. biol. technol., Curitiba, v. 41, n. 4, p. 495-500.

US EPA. (2006). Life cycle assessment: principles and practice. National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, n. May, p. 1–14.

Watson, R. T., Rodhe, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U. (1990). Greenhouse gases and aerosols. Climate change: the IPCC scientific assessment, p. 1–40.

Weidema, B. P., Lindeijer, E. (2001). Physical impacts of land use in product life cycle assessment: Final report of the EURENVIRON-LCAGAPS sub-project on land use. Recuperado de <https://lca-net.com/files/gaps9.pdf%0A>.

1. Programa de Pós-gradua o Sociedade Natureza e Desenvolvimento. Instituto de Engenharia e Geociências. Universidade Federal do Oeste do Pará. Doutorando em (Ciências em Ambientais). helio.correa@ufopa.edu.br

2. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará. Prof. Dr. em (Faculdade de Engenharia Mecânica) ximenes@ufpa.br

3. Departamento de Engenharia Sanitária. Universidade Federal de Santa Catarina. Prof. Dr. (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental) sr.soares@ufsc.br

Amostra de solo coletada na área de cultivo de mandioca, no método tradicional, em Santarém e analisada no Laboratório de Análise de Solos da EPAGRI/SC.

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (N  59) A o 2017

[ ndice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para webmaster]

 2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados