

## **Inventário e potencial impacto ambiental da produção de soja com agricultura de precisão na perspectiva da Avaliação do Ciclo de Vida**

*Inventory and environmental potential impacts of soybean produced with precision agriculture in the perspective of life cycle assessment*

*Inventario y potencial impacto ambiental de la producción de soja con la agricultura de precisión en perspectiva del Evaluación del Ciclo de Vida*

### **José Tomadon Júnior**

Professor Doutor, UTFPR, Brasil  
jtjunior@utfpr.edu.br

### **Cássia Maria Lie Ugaia**

Professora Doutora, UTFPR, Brasil.  
cassiaugaia@utfpr.edu.br

### **Marcelino Luiz Gimenes**

Professor Doutor, UEM, Brasil.  
marcelino@deq.uem.br

**RESUMO**

Soja é uma oleaginosa com importância internacional, usada na obtenção de óleo, proteína e biocombustível. No Brasil, a aplicação do fertilizante na produção de soja se baseia em valores médios, o que resulta em áreas que recebem quantidades maiores que a necessária e outras, menores. Este problema pode ser resolvido com a agricultura de precisão (AP), na qual a variabilidade espacial e temporal é considerada na aplicação dos insumos, o que aumenta a produtividade e reduz os impactos ambientais. O objetivo desse estudo é avaliar o impacto ambiental causado pela produção de soja com o uso da AP na região oeste do Paraná. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi empregada para avaliar o potencial impacto ambiental. Para tanto, dados primários (quantidades de insumos) foram coletados e utilizou-se também dados obtidos em banco de dados (ecoinvent e agri-footprint). ReCiPe v.1.10 foi empregado para avaliação do impacto. Os resultados mostraram um fluxo de massa elevado entrando no sistema, em maior parte fertilizantes. Não foi observado redução na quantidade de fertilizante em comparação com outros inventários. Na avaliação do impacto observou-se um benefício no perfil ambiental de categorias como: mudança climática; depleção de ozônio; eutrofização de água doce e marinha; e acidificação terrestre. Resultados normalizados apontam a ecotoxicidade como principal contribuinte ao impacto ambiental. Ainda sessas categorias foi observado uma maior variação nos resultados. Em conclusão, alinhado com os objetivos da AP, observou-se um benefício parcial no perfil ambiental do sistema, no entanto foi observado ganho em produtividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Soja. Agricultura de precisão. Avaliação do Ciclo de Vida.

**ABSTRACT**

Soy is an oilseed of international importance used for obtaining oil, protein and biofuel. In Brazil, the production of soy applies traditionally an average value of fertilizers, resulting in areas that receive higher amount of fertilizers than needed and others, smaller. This problem can be solved with precision agriculture (PA), in which the spatial and temporal variability is considered to apply the inputs, thus increasing productivity and reducing environmental impacts. The objective of this study is to evaluate the environmental impact caused by the soybean produced with PA in the west region of Paraná. Life Cycle Assessment (LCA) was carried out to evaluate the potential environmental impact. In order to do so, primary data (quantities of raw materials) was collected and secondary data was used for background data (ecoinvent and agri-footprint databases). ReCiPe v.1.10 was used to impact assessment. The results showed a large mass flow entering the system, mainly fertilizer. It was not observed a reduction in the amount of fertilizer applied in comparison with other inventories. The impact assessment showed that PA may have promote a benefit in environment profile of climate change, ozone depletion, freshwater and marine eutrophication and terrestrial acidification. Normalized results pointed to ecotoxicity as main contributor of potential impacts. In those categories were also observed a greater variations on results. In conclusion, in line with the main goals of precision agriculture, were observed partial benefits in environmental profile of Soybeans system, however there was a gain in productivity.

**KEY WORDS:** soybean, precision agriculture, life cycle assessment.

**RESUMEN**

La soja es una oleaginosa con importancia internacional, que se utiliza para obtener aceite, proteína y biocombustibles. En Brasil, la aplicación de fertilizantes en la producción de soja se basa en valores promedio, lo que resulta en áreas que reciben cantidades mayores que las necesarias y otra, más pequeña. Este problema se puede resolver con la agricultura de precisión (PA), en la que se considera la variabilidad espacial y temporal de aplicación de insumos, lo que aumenta la productividad y reduce el impacto ambiental. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto ambiental de la producción de soja con el uso de AP en la región occidental del Paraná. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se utilizó para evaluar el posible impacto ambiental. Por lo tanto, también se recogieron datos primarios (número de entradas) y se utilizaron los datos en una base de datos (ecoinvent y agro-huella). Receta V.1.10 se utilizó para evaluar el impacto. Los resultados mostraron un alto flujo de masa que entra en el sistema, la mayoría de los fertilizantes. No hubo una reducción en la cantidad de fertilizante en comparación con otros inventarios. Al evaluar el impacto hubo un beneficio en las categorías de perfiles ambientales tales como: cambio climático; agotamiento del ozono; de agua dulce y la eutrofización marina; la acidificación y la tierra. resultados normalizados muestran la ecotoxicidad tan importante contribuyente a impacto ambiental. Aún categorías sessas se observó una mayor variación en los resultados. En conclusión, en línea con los objetivos de la AP, hubo un beneficio parcial en el perfil ambiental del sistema, sin embargo, se ha observado el aumento de la productividad.

**Palabras clave:** Soja. Agricultura de precisión. Evaluación del Ciclo de Vida.

## 1. INTRODUÇÃO

Soja é uma oleaginosa de importância internacional devido à sua demanda de proteína (usada para ração animal), óleo comestível e à produção de biodiesel. No Brasil, a área total de produção de soja, na safra 2013/14, foi de 30.173,1 mil hectares (CONAB, 2014).

A produção de soja pode ocorrer de diferentes maneiras, dependendo do uso de produtos químicos e sistema de gestão. O mais adotado pelos agricultores brasileiros é a agricultura química e herbicida, que consiste na aplicação de pesticidas como estratégia de combate a pragas no campo (EMBRAPA, 2011).

Um sistema de gestão aplicado na produção de soja é o plantio direto. Este reduz a erosão do solo, a quantidade de insumos (calcário, pesticidas e fertilizantes) e maquinário em comparação com o sistema tradicional (CAVALETT et al., 2009).

Nas práticas tradicionais de produção de soja, para determinar a quantidade de insumos necessário (por exemplo, fertilizantes, calcário), empregava-se um valor médio para toda a área (EMBRAPA, 2011). Desta forma, partes da área recebem quantidades maiores de insumos do que o necessário, e outras menores.

Para resolver este problema, pode-se utilizar a técnica de agricultura de precisão (AP). O desenvolvimento da AP começou com a constatação de que nem todos os campos, nem mesmo partes do mesmo campo, têm a mesma resposta econômica ótima com a aplicação de uma quantidade determinada de insumos (EMBRAPA, 2005; WHELAN e McBRATNEY, 2000). Esta técnica está associada à utilização de equipamentos de alta tecnologia como: sistema de posicionamento global (GPS); sistema de informação geográfica (SIG); e sensores eletrônicos. O objetivo da agricultura de precisão é avaliar ou monitorar as condições de uma determinada parcela da terra, considerando suas variações espaciais e temporais, que influenciarão a produtividade da soja. O resultado é a possibilidade de aplicar a quantidade de insumos necessária em porções do campo, permitindo uma melhor gestão do processo de produção através da variabilidade observada (EMBRAPA, 2005; WHELAN e McBRATNEY, 2000; COELHO e SILVA, 2009). Desta forma, esta técnica tem como objetivo maior aumentar a produtividade e diminuir os impactos ambientais (COELHO e SILVA, 2009; BONGIOVANNI, 2004).

Impactos ambientais causados por um processo ou uma cadeia de produção podem ser avaliados, seguindo a ISO 14040, pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Estudos dos impactos ambientais da produção de soja com sistema de manejo tradicional utilizando a ACV já foram realizados.

Silva et al. (2010) avaliaram as diferenças dos impactos ambientais causados pela produção de soja em duas regiões brasileiras – Centro Oeste e Sul. Os autores observaram que os principais fatores que contribuíram para o impacto ambiental foram: desmatamento; transporte; e fertilizantes. Concluíram que há diferenças nos impactos ambientais entre as regiões, ou seja, a origem da soja no território brasileiro afeta fortemente seus impactos ambientais.

Cavalett e Ortega (2009, 2010) fizeram uma análise emergética do biodiesel de soja com base em um inventário brasileiro. Os autores identificaram a fase agrícola como a mais importante, com alta demanda de material e energia. Apontam uma necessidade de reorganização das

atividades de produção para diminuir a quantidade de materiais não renováveis utilizados no processo e a adoção de sistemas de produção mais sustentáveis a longo prazo.

Xue et al. (2012) realizaram um estudo para avaliar os impactos ambientais causados pelo biodiesel de soja nos EUA. Também apontaram a fase agrícola com uma contribuição significativa para os impactos do biodiesel na maioria das categorias de impactos analisadas. Destacaram como potenciais contribuintes ao impacto ambiental os fertilizantes, volatilização de NOx e a combustão de combustíveis.

Knudsen et al. (2010) compararam os impactos ambientais causados pela produção de soja orgânica produzida na China com os de uma produção convencional. Concluíram que a soja orgânica tem menor impacto ambiental. Este apontamento reitera as conclusões de Cavalett e Ortega (2010) – a necessidade de uma modificação nas atividades de cultivo com vistas a uma redução dos impactos ambientais.

Em todos estes estudos a fase agrícola tem uma contribuição significativa para o potencial impacto ambiental, no entanto nenhum deles considera o uso da agricultura de precisão. Dessa forma uma questão pode ser levantada: a agricultura de precisão reduz o impacto ambiental causado pela produção de soja? Com o objetivo de responder a essa questão, este artigo apresenta uma avaliação dos impactos ambientais da produção de soja no oeste do Paraná (Brasil) com agricultura de precisão.

## 2. OBJETIVOS

Como objetivo principal este trabalho se destina a realizar uma avaliação do impacto ambiental da soja, na região oeste do Paraná, com o emprego da agricultura de precisão.

Para alcançar este objetivo maior, objetivos específicos foram estipulados:

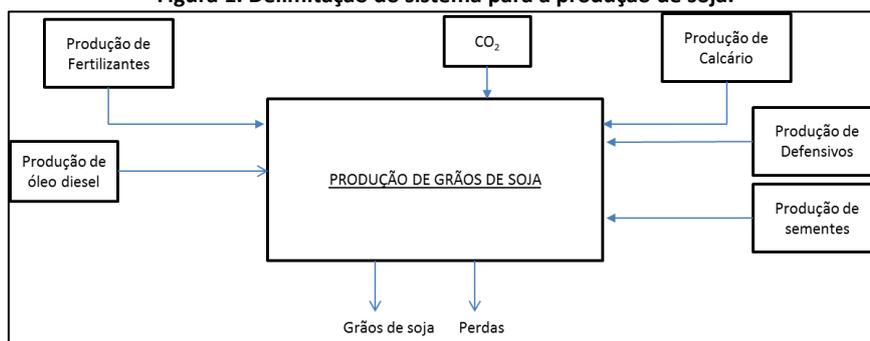
- Contruir o inventário da produção de soja com o emprego da AP;
- Avaliar os impactos ambientais do sistema Soja;
- Comparar os resultados obtidos com estudos sem a aplicação da AP;
- Identificar a categoria de impacto de maior relevância ao estudo.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

Neste estudo, a unidade funcional considerada para construção do inventário é de 1 tonelada de soja, produzida no oeste do Paraná, com o plantio direto e agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes. A safra considerada é 2012/13. A Figura 1 apresenta o sistema em análise.

**Figura 1. Delimitação do sistema para a produção de soja.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as quantidades de fertilizantes, pesticidas, diesel, sementes foram coletados dados primários. Os dados de produção dessas entradas, chamados de background, foram coletados de bases de dados: ecoinvent v.3.01 e agri-footprint v.1.0. Os processos selecionados na base de dados constam no Quadro 1.

**Quadro 1. Processos selecionados nas bases de dados.**

| Processos  | Base de Dados  |
|--|----------------|
| Energy, from diesel burned in machinery                                  | agri-footprint |
| Lime fertilizer, at regional storehouse                                  | agri-footprint |
| Phosphate fertilizer, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> {GLO}/ market for | ecoinvent      |
| Potassium fertilizer, as K <sub>2</sub> O {GLO}/ market for              | ecoinvent      |
| Benzimidazole-compound {GLO}/ market for                                 | ecoinvent      |
| Pyrethroid-compound {GLO}/ market for                                    | ecoinvent      |
| Organophosphate-compound, unspecified {GLO}/ market for                  | ecoinvent      |
| 2,4-dichlorophenol {GLO}/ market for                                     | ecoinvent      |
| Glyphosate {GLO}/ market for   | ecoinvent      |
| Bipyridylium-compound {GLO}/ market for                                  | ecoinvent      |
| Pesticide unspecified {GLO}/ market for                                  | ecoinvent      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fase de uso e descarte ou outros processos subsequentes não foram considerados neste estudo.

### 3.2 COLETA DE DADOS E CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO

Os dados de produção de soja foram coletados em 14 fazendas do oeste do Paraná. Na safra 2012/13, produziu-se 81.456,7 milhões de toneladas de soja, sendo 15.912,4 milhões de toneladas no estado do Paraná. Ainda não há disponível dados sobre a quantidade de soja produzida com a aplicação da agricultura de precisão no Brasil. A produção total considerando as fazendas amostradas neste estudo foi de 12,6 milhões de toneladas, com aplicação de agricultura de precisão.

As informações coletadas foram sobre produtos e quantidades aplicadas no sistema de produção (fertilizantes, pesticidas, diesel, sementes). O inventário consolidado das fazendas foi obtido aplicando-se uma média ponderada dos insumos aplicados na fazenda com sua produção. A produtividade média obtida entre as fazendas foi de 3826 kg por hectare.

Algumas suposições em relação a transformação da terra, a rotação de culturas e as saídas foram assumidas para a construção do inventário.

Considerando as recomendações do IPCC (2000) não houve nenhuma transformação da terra nos últimos 20 anos, visto que as fazendas observadas cultivam soja por período igual ou superior ao mencionado. O cultivo da soja é anual e a ocupação da terra também foi considerada anual, seguindo as orientações de Nemecek e Schnetzer (2011).

Outra premissa considerada é que se outra cultura foi cultivada entre a época de colheita e plantio, este cultivo, e assim como os insumos utilizados, não interferirão no sistema Soja.

Para estimar as saídas do sistema, foram considerados:

- no compartimento Ar foram consideradas as emissões de queima de diesel apresentadas no Guia de Inventário de Emissões EMEP / EEA 2013 para fontes móveis não-rodoviárias e máquinas;
- no compartimento Água foram considerados os métodos propostos por Nemecek e Schnetzer (2011) para o cálculo de nitratos, compostos de fósforo e emissões de metais pesados. Para estimar a quantidade de pesticida emitida ao compartimento Água foi utilizada a heurística proposta por Lewis et al. (1999);
- para quantificar a quantidade de pesticida emitida ao compartimento Solo também foi utilizada a heurística de Lewis et al. (1999) e para estimar a quantidade de metais pesados foi utilizado o método proposto por Nemecek e Schnetzer (2011).

### 3.3 ESTIMATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Os impactos ambientais foram calculados com o método ReCiPe, ponto médio, individualista (v.1.10). As categorias de impactos consideradas foram: mudança climática; Depleção de ozônio; Eutrofização de água doce; Eutrofização marinha; Acidificação terrestre; Toxicidade humana; Ecotoxicidade em água doce; Ecotoxicidade terrestre; Ecotoxicidade marinha; Depleção de metais; E depleção fóssil.

Para comparar os resultados do impacto ambiental encontrado neste estudo, foram selecionados três outros inventários, propostos por: base de dados ecoinvent v.3 (2013), base de dados agri-footprint v.1 (2014) e Cavalett et al. (2009). Os inventários das bases de dados ecoinvent e agri-footprint incluíam entradas e saídas do sistema Soja. No entanto, o inventário contruído por Cavalett et al. (2009) apenas apresenta dados de entrada. Neste caso, os mesmos métodos e suposições feitas nesta pesquisa foram aplicados ao inventário de Cavalett et al. (2009) para estimar as emissões do sistema e gerar os impactos ambientais.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. INVENTÁRIO

A Tabela 1 apresenta as entradas e saídas da produção de soja no oeste do Paraná com a aplicação da agricultura de precisão.

Tabela 1. Entradas e saídas do sistema para a produção de 1tn de soja.

|                             | Unidade | Soja – Oeste do Paraná | Referências                       |
|-----------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|
| <b>Entradas</b>             |         |                        |                                   |
| Sementes                    | kg      | 19,243                 | Dados de campo                    |
| Ocupação                    | ha.a    | 0,2614                 | Dados de campo                    |
| Dióxido de carbon           | kg      | 1980,336               | (PADUA, 2006)                     |
| Energia                     | MJ      | 598,416                | (SILVA et al., 2012) <sup>1</sup> |
| Calcário                    | kg      | 176,396                | Dados de campo                    |
| Fósforo                     | kg      | 35,459                 | Dados de campo                    |
| Potássio                    | kg      | 28,741                 | Dados de campo                    |
| Fungicida                   | kg      | 0,129                  | Dados de campo                    |
| Inseticida                  | kg      | 0,2349                 | Dados de campo                    |
| Herbicida                   | kg      | 1,327                  | Dados de campo                    |
| <b>Saídas<sup>2</sup></b>   |         |                        |                                   |
| <b>Emissões para o Ar</b>   |         |                        |                                   |
| Monóxido de Carbono         | g       | 136,377                | (EEA, 2013)                       |
| Dióxido de Carbono          | g       | 39,396                 | (EEA, 2013)                       |
| Metano                      | g       | 0,6857                 | (EEA, 2013)                       |
| Óxidos de Nitrogênio        | g       | 436,881                | (EEA, 2013)                       |
| Monóxido de Nitrogênio      | g       | 1,696                  | (EEA, 2013)                       |
| Amônia                      | g       | 0,0997                 | (EEA, 2013)                       |
| NMVOG                       | g       | 41,9639                | (EEA, 2013)                       |
| PM10                        | g       | 21,668                 | (EEA, 2013)                       |
| PM2,5                       | g       | 21,668                 | (EEA, 2013)                       |
| TSP                         | g       | 21,668                 | (EEA, 2013)                       |
| <b>Emissões para Água</b>   |         |                        |                                   |
| Nitrato                     | kg      | 5,321                  | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Compostos de Fósforo        | kg      | 0,061                  | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Fungicida                   | kg      | 0,0481                 | (LEWIS et al., 1999)              |
| Inseticida                  | kg      | 0,0822                 | (LEWIS et al., 1999)              |
| Herbicida                   | kg      | 0,8172                 | (LEWIS et al., 1999)              |
| Cádmio                      | mg      | 36,897                 | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Cromo                       | mg      | 7583,586               | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Cobre                       | mg      | 3670,318               | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Níquel                      | mg      | 1907,231               | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Chumbo                      | mg      | 2014,613               | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Zinco                       | mg      | 11831,099              | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| <b>Emissões para o Solo</b> |         |                        |                                   |
| Fungicida                   | kg      | 0,0784                 | (LEWIS et al., 1999)              |
| Inseticida                  | kg      | 0,1339                 | (LEWIS et al., 1999)              |
| Herbicida                   | kg      | 1,3309                 | (LEWIS et al., 1999)              |
| Cádmio                      | mg      | 1747,25                | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Cromo                       | mg      | 70731,82               | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Cobre                       | mg      | -13996,407             | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Níquel                      | mg      | -1297,122              | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Chumbo                      | mg      | 519,335                | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |
| Zinco                       | mg      | -29460,075             | (NEMECEK, SCHNETZER; 2011)        |

<sup>1</sup> – A eficiência do maquinário foi obtida em comunicação pessoal.

<sup>2</sup> – As referências das saídas correspondem aos modelos utilizados para calcular as emissões. Para executar os modelos foram utilizados os dados coletados, apresentados como entradas nesta tabela.

O inventário mostra um fluxo de massa da tecnosfera para o sistema de 273,99 kg de insumos para a produção de 1 tonelada de soja. Os principais produtos deste fluxo são os fertilizantes, onde a calcário tem o maior valor, correspondendo a 64,38%. Fosfato e potássio correspondem a 12,94% e 10,49% do fluxo de massa, respectivamente.

Os pesticidas utilizados não representam um fluxo de massa significativo para a produção de soja: fungicida, inseticida e herbicida correspondem a 0,047%, 0,0857% e 0,4843% do fluxo de massa do sistema, respectivamente. No entanto, estes produtos devem ser considerados no

inventário e na avaliação ambiental devido a sua alta toxicidade, tanto para o ser humano como para o ecossistema.

Os dados coletados mostraram uma alta quantidade de dióxido de carbono no sistema, que é usado na fotossíntese da planta e pode ser considerado um aspecto positivo desse sistema, ajudando a diminuir o dióxido de carbono na atmosfera.

Nas emissões para o ar, água e solo foram observados que:

- O sistema emite 722,10 g de material para o compartimento de ar, principalmente devido a queima de diesel nas máquinas. A principal substância que contribui para esta quantidade são os óxidos de nitrogênio (60,50%) e em segundo o monóxido de carbono (18,88%). Outras substâncias também são emitidas neste sistema, como: dióxido de carbono, NMVOC<sup>1</sup>, material particulado, TSP<sup>2</sup>, metano, monóxido de nitrogênio e amônia;
- A quantidade emitida para o compartimento água é de 6,36 kg de substâncias diferentes. Os nitratos correspondem a maior emissão devido ao nitrogênio presente na matéria orgânica. Em menor quantidade, estão presentes compostos de fósforo e pesticidas. De acordo com Nemecek e Schnetzer (2011), os vestígios de metais pesados na água são devidos à presença de cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco nos adubos;
- No compartimento solo existem emissões de 1,57 kg de substâncias, que correspondem principalmente a pesticidas, onde o herbicida representa o maior contribuinte. Os metais pesados presentes nos fertilizantes também são emitidos. Porém, de acordo com o método utilizado para quantificar a emissão de metais pesados, há uma perda de cobre, níquel e zinco do solo.

Comparando o inventário atual com os anteriores (Cavalett et al. (2009), ecoinvent v.3 e agri-footprint v.1) é possível ver algumas diferenças. Por exemplo, a quantidade de energia, usada no maquinário, é mais alta no inventário da base agri-footprint v.1 (1.537.219 MJ) em contraste com 598.416 MJ encontrados nesta pesquisa.

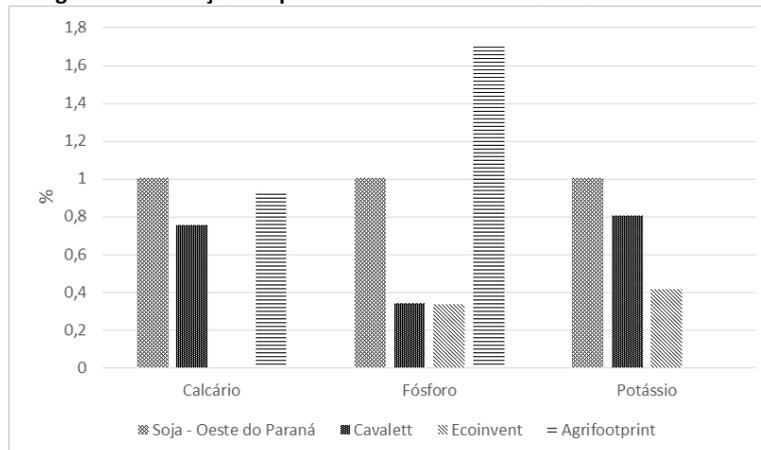
A quantidade de fertilizantes utilizada também apresentou algumas diferenças, como mostrado na Figura 2:

---

<sup>1</sup> NMVOC – Componentes orgânicos voláteis não metano.

<sup>2</sup> TSP – Partículas suspensas totais.

Figura 2. Diferenças na quantidade de fertilizantes em cada inventário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da Figura 2 nos mostra que:

A quantidade de calcário usada nas fazendas do oeste do Paraná é a mais alta: de 176,396 Kg por tonelada de soja (Kg/t);

Para o fósforo, o inventário Agri-footprint apresenta o maior valor, de 60,546 Kg/t. A quantidade desse adubo aplicado nas fazendas do oeste do Paraná apresenta um valor intermediário de 35,459 Kg/t;

A quantidade de potássio aplicada no oeste do Paraná foi de 28,741 kg/t, superior à quantidade apresentada nos inventários de Cavalett et al. (2009) e ecoinvent. O inventário agro-footprint v.1 não considerou a aplicação de potássio para a produção de soja;

É interessante notar que o inventário agro-footprint v.1 considera a aplicação de 2364,286 kg/t de estrume para a produção de soja. Este tipo de fertilizante não é utilizado nas fazendas observadas nesta pesquisa nem apresentado nos inventários de Cavalett et al. (2009) e ecoinvent.

Observando as quantidades de fertilizantes utilizadas nas fazendas amostradas, considerando a agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes, em contraste com os inventários de Cavalett et al. (2009), ecoinvent e agri-footprint, que representam a produção de soja no Brasil, não notou-se redução na quantidade de fertilizantes utilizados. Em vez disso, para calcário e potássio, o valor aplicado foi mais alto, e o fósforo apresentou um valor intermediário. Dessa forma, não foi possível identificar a conquista da redução de fertilizantes utilizados na produção de soja. As diferenças observadas na quantidade de fertilizantes podem ser atribuídas ao fato de os inventários utilizados para comparação representam a produção nacional. Considerando que o Brasil é muito extenso e apresenta diferentes tipos de solos, estes exigirão quantidades diferentes de fertilizantes. No oeste do PR o tipo de solo mais encontrado é nitossolo e latossolo. Algumas características desses tipos de solo são:

Nitossolo: pode apresentar acidez ligeiramente elevada e níveis variáveis de alumínio.

Latossolo: apresentam boas condições físicas com alto potencial para uso agrícola, porém requerem, em geral, correção de acidez.

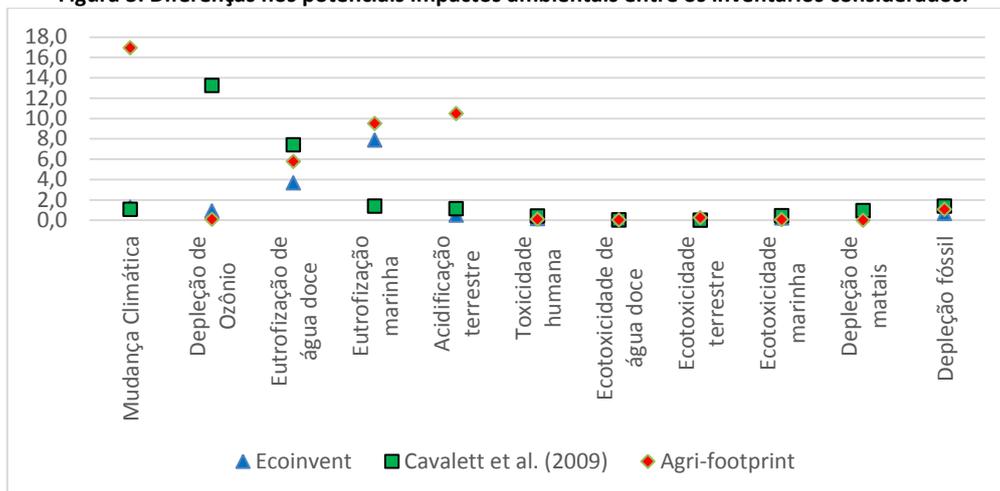
Essas características mostram a necessidade de correção da acidez do solo com calcário. No entanto, a gestão do solo durante os anos anteriores tem um impacto direto na qualidade do solo atual, o que pode levar a uma maior necessidade de fertilizantes no caso de déficit de nutrientes presentes no solo.

Em relação à produtividade, primeiro objetivo da agricultura de precisão, este é alcançado no oeste do Paraná, com um rendimento de 3366,63 Kg por hectare em contraste com 2442,45 Kg/ha apresentado por agri-footprint, 2544 Kg/ha em ecoinvent e 2830 Kg/ha em Cavalett et al. (2009).

#### 4.2. POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS

A Figura 3 apresenta a diferença nos potenciais impactos ambientais entre cada inventário em contraste com os obtidos para a soja no oeste do PR.

Figura 3. Diferenças nos potenciais impactos ambientais entre os inventários considerados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as categorias de mudanças climáticas, eutrofização de água doce e eutrofização marinha, a avaliação do impacto causado pela produção de 1kg de soja no oeste do PR mostrou valores inferiores aos calculados com base nos inventários propostos por ecoinvent, agri-footprint e Cavalett et al. (2009). Para mudança climática, o inventário agri-footprint apresentou o valor mais alto, 16,93 vezes o impacto calculado na região oeste do PR (Figura 3). Isto porque o inventário agri-footprint considera a emissão de CO2 que ocorre devido à transformação da terra. Para a eutrofização de água doce, o potencial impacto calculado com os dados de inventário de Cavalett et al. (2009) e agri-footprint apresentaram o maior valor (Figura 3). No caso do agri-footprint, a ocorrência desse maior impacto ocorre pois o inventário apresenta um grande entrada de fertilizantes fosfatados e também o uso de fertilizantes orgânicos. Na eutrofização marinha, também o inventário agri-footprint resulta em um maior impacto potencial devido à maior emissão de nitrato. Para a acidificação terrestre, o impacto do agri-

footprint é 10,5 vezes maior do que o obtido no oeste do PR (Figura 3). Este impacto ocorre principalmente devido à emissão de amônia, como resultado do uso de fertilizantes orgânicos. Diferenças nos potenciais impactos de Toxicidade Humana e Ecotoxicidade também foram observadas.

Na Toxicidade Humana o potencial impacto calculado para o oeste de PR foi  $4,24E-02$  kg de 1,4-DB eq.<sup>3</sup> Como o impacto gerado com os dadosecoinvent foi de  $5,80E-03$  kg 1,4-DB eq., observa-se uma diferença 8 vezes maior no primeiro.

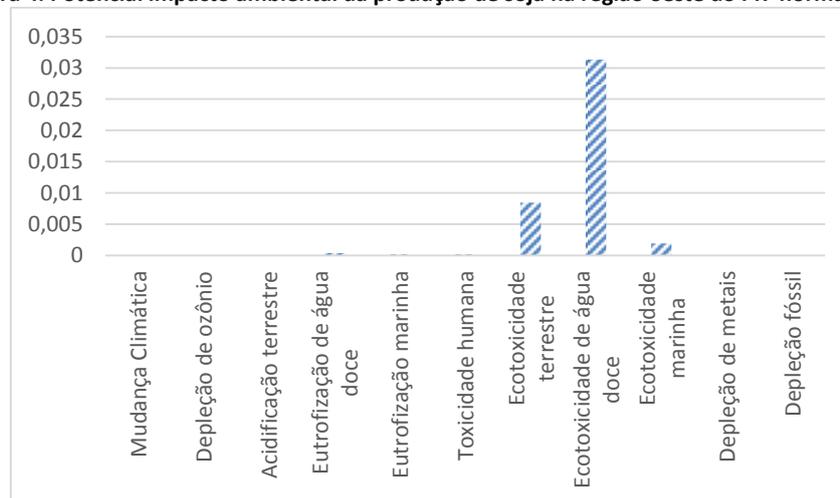
O potencial impacto na ecotoxicidade de água doce causada pelo sistema de soja no oeste do PR foi de  $1,35E-01$  contra  $3,90E-03$  kg de 1,4-DB eq. calculado com o inventário ecoinvent. Neste caso, há uma diferença ainda maior, de quase 35 vezes.

Para Toxicidade Humana e ecotoxicidade, (água doce, marinha e terrestre) o potencial impacto ocorre principalmente devido ao uso de inseticidas para controle de pragas durante a produção de soja. Os inseticidas encontrados causando grandes impactos foram acefato, cipermetrina e lambda-cialotrina. Na categoria de ecotoxicidade marinha foi observado a emissão dos metais pesados cobre e níquel contribuindo para o potencial impacto ambiental.

Para as categorias depleção de ozônio e depleção fóssil, o potencial impacto calculado a partir da região oeste do PR mostrou valores intermediários em relação aos resultados dos inventários de ecoinvent, agri-footprint e Cavalett et al. (2009). Para a depleção do ozônio, as substâncias que mais contribuem para o impacto potencial são: CFC<sup>4</sup>-10, Halon 1301 e CFC-114.

Na Figura 4 é apresentado os resultados do potencial impacto ambiental normalizado.

Figura 4. Potencial impacto ambiental da produção de soja na região oeste do PR normalizado.



Os resultados normalizados (Figura 4) mostram que no sistema soja, as categorias que mais contribuem ao potencial impacto total, ou seja, aquelas mais prejudicadas pelo sistema de produção considerado são ecotoxicidade de água doce, terrestre e marinha. As outras

<sup>3</sup> 1,4-DB eq.: 1,4-diclorobenzeno equivalente.

<sup>4</sup> CFC: clorofluorcarboneto

categorias, como mudanças climáticas, depleção de ozônio, eutrofização de água doce e a acidificação terrestre, não apresentam contribuição significativa para o impacto.

## CONCLUSÕES

Com a observação do fluxo massico de fertilizantes no sistema soja e a comparação com a quantidade de fertilizante apresentada por diferentes autores, não se pode observar benefício de redução na quantidade de fertilizante aplicado à produção de soja proposto pela agricultura de precisão. Em vez disso, verificou-se que a quantidade de calcário e potássio aplicada nas fazendas amostradas, com o emprego da agricultura de precisão, foi superior aos demais inventários.

No entanto, observou-se maior produtividade obtida na produção de soja no oeste do Paraná. Pode-se supor que, mesmo utilizando uma maior quantidade de fertilizantes, a eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas é melhor, pois com a agricultura de precisão é aplicada a quantidade necessária de fertilizante de acordo com a necessidade das parcelas analisadas.

Ainda no inventário também observou-se grande quantidade de pesticidas aplicados no sistema. Isto significa grande uso de produtos com alto poder de toxicidade.

Foi verificado, na comparação dos potenciais impactos ambientais resultantes dos inventários propostos por ecoinvent, agri-footprint e Cavalett et al. (2009), que nas categorias de mudança climática, depleção de ozônio, eutrofização de água doce, eutrofização marinha e acidificação terrestre os potenciais impactos ambientais causados pelo sistema soja na região oeste do PR não apresentaram valores mais altos. Isso indica um benefício obtido nessas categorias com a aplicação da agricultura de precisão no sistema de soja. No entanto, para as outras categorias de impacto avaliadas não foi observada melhora no perfil ambiental.

Os resultados do potencial impacto ambiental normalizados apontaram que as categorias relacionadas a toxicidade apresentam importância significativa para o impacto no sistema considerado.

Em outro estudo, seria interessante avaliar mais profundamente os impactos nas categorias relacionadas à toxicidade. Esta avaliação pode ser feita com o método USEtox, pois é o método com consenso científico para avaliar impactos ambientais em categorias de toxicidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agri-footprint: understanding the impact of food. **Agri-footprint Database v.1**. Blonk Consultants, 2014.

BONGIOVANNI, R. **Precision Agriculture and Sustainability**. *Precis. Agric.*, v. 5, 2004, p. 359-387.

CAVALETT, O. ORTEGA, E.. **Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil**. *J. Clean. Prod.* v 17, 2009, p. 762-771.

CAVALETT, O. ORTEGA, E. **Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil**. *J. Clean. Prod.* v 18, 2010, p. 55-70.

COELHO, J. P. C.; SILVA, J. R. M. **Agricultura de Precisão. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação.** Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2009, p.125.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. V.1 safra 2013/14**, n.12, 2014, p. 127.

Ecoinvent Centre. **Ecoinvent Database v.3.** Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2013.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas.** Antônio Marcos Coelho (Ed.). Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas, 2005, p.60.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, p. 306.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja – região central do Brasil 2012 e 2013.** Londrina: Embrapa Soja, 2011, p. 261.

IPCC. **Good practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.** Chapter 4. Agriculture. 4.1e4.83. IPCC. Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), 2000.

KNUDSEN, M. T., YU-HUI, Q., YAN, L., HALBERG, N. **Environmental Assessment of organic soybean (Glicine Max.) imported from china to Denmark: a case study.** J. Clean. Prod. v.118, 2010, p. 1431-1439.

LEWIS, K. A.; NEWBOLD, M. J.; TZILIVAKIS, J. **Developing an emissions inventory from farm data.** J. Environ. Manag., v. 55, 1999, p. 183-197.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems.** Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zurich, 2011, p.34.

ORTEGA, E., CAVALETT, O., BONIFÁCIO, R., WATANABE, M.,. **Brazilian soybean production: emergy analysis with an expanded scope.** Bull. Sci. Technol. Soc. v.25, n.4, 2005, p.323-334.

PADUA, F. T., ALMEIDA, J. C. C., SILVA, T. O., ROCHA, N. S., NEPOMUCENO, D. D. **Produção de matéria seca e composição químico-bromatológica do feno de três leguminosas forrageiras tropicais em dois sistemas de cultivo.** Ciência Rural, v. 36, n. 4, 2006, p. 1253 – 1257.

SILVA, M. J., SOUZA, S. N. M., SOUZA, A. A., MARTINS, G., SECCO, D. **Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel.** Rev. Bras. Eng, Agri. Ambi. v.16, n.13, 2012, p.320-326.

SILVA, V. P.; WERF, H. M. G.; SPIES, A.; SOARES, S. R. **Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios.** J. Environ. Manag., v. 91, 2010, p. 1831-1839.

WHELAN, B. M.; McBRATNEY, A. B. **The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management.** Precis. Agric., n. 2, 2000, p. 265-279.

WINTHER, M., SAMARAS, Z.,. EMEP/EEA Emission inventory guidebook 2013. **Technical guidance to prepare national emission inventories. Non-road mobile sources and machinery. EEA technical report, n. 23/2013.** European Environmental Agency, Luxembourg. 2013.

XUE, X., COLLINGE, W. O., SHRAKE, S. O., BILEC, M. M., LANDIS, A. E. **Regional life cycle assessment of soybean derived biodiesel for transportation fleets.** Energy Policy. v.48, 2012, p. 295-303.