



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA**  
**PRO- REITORIA DE PESQUISA E PÓS - GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**TECNOLOGICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DOUTORADO EM SOCIEDADE,**  
**NATUREZA E DESENVOLVIMENTO –PGSND**

**MIÉRCIO JORGE ALVES FERREIRA JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS (*soja – plantio direto e convencional*) NO OESTE DO PARÁ**

**Santarém, Pará**

**Abril/2017**

**MIÉRCIO JORGE ALVES FERREIRA JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS (*soja – plantio direto e convencional*) NO OESTE DO PARÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Sociedade, Natureza e Desenvolvimentos da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Marcos Ximenes Ponte

**Santarém, Pará**

**Agosto, 2017**

## DEDICATÓRIA

*À minha querida mãe, Maria da Conceição da Silva Galúcio, minha querida esposa Francione Pantoja de Araújo e meus filhos Vinícius Pantoja de Araújo e João Pedro de Araújo Alves que tanto amo.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu maravilhoso **DEUS** que a cada noite peço em orações sua benção e proteção para continuar trilhando o caminho da vida.

À minha mãe que tanto amor dedica, **Maria da Conceição da Silva Galúcio**, pela amizade, por me apoiar a todo o momento e pelo amor imensurável que tem me dispensado durante todo esse tempo.

À minha formidável esposa, **Francione Pantoja**, pela versatilidade na solução dos problemas que encontrei durante esse caminhar, pelo companheirismo, apoio e amor que me dedicou até o momento, minha sogra, **Francisca Pantoja**, pelo grande apoio e meus adoráveis filhos **João Pedro** e **Vinícius de Araújo** fonte inesgotável de alegria.

Ao professor **Dr. Marcos Ximenes Ponte**, por apostar no meu potencial, pela grande paciência, pela orientação, apoio, confiança, amizade, que muito contribuiu para meu crescimento científico e intelectual e pelo aceite na jornada de desenvolvimento do presente trabalho. O professor **Marcos Ximenes** constitui, sem dúvida, um modelo de orientador.

Também, fica o meu imenso agradecimento, ao **Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Junior**, por contribuir de forma decisiva no processo de elaboração deste trabalho com suas importantes sugestões e pela disponibilidade e paciência para conversar sobre o trabalho.

Agradeço, também, a Professora Dr<sup>a</sup> **Lucieta Martorano**, pelo apoio em momento difíceis do trabalho, pelas valiosas sugestões que em muito enriqueceu o nosso trabalho e, também, por jamais se recusar a contribuir para a elaboração deste material.

Ao professor **Troy Beldini** pela paciência no decorrer da revisão do artigo que constitui quesito obrigatório e sugestões que agregaram, certamente, nesse processo da escrita do artigo

À FAPESPA pelo apoio financeiro através da concessão de uma bolsa de doutorado.

À **Embrapa/Amazônia Oriental** no nome do professor **Raimundo Cosme de Oliveira Junior** e **Cleuton** que apoiaram na logística do trabalho, sem esse auxílio não teria alcançado esta etapa, o meu muito obrigado.

Ao programa **LBA/Santarém** sob a coordenação do **Dr. Rodrigo da Silva** pelo apoio logístico o que foi importante para a viabilização deste estudo e por estar sempre aberto às minhas demandas na medida do possível. Sendo fundamental sua participação em todo esse processo quanto no primeiro momento me ensejou no campo científico por meio da iniciação científica, fica meu eterno agradecimento ao professor **Dr. Rodrigo da Silva**.

A todos os professores que compõem o quadro do programa de Pós Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento – PPGSND- por oportunizar agregar mais conhecimento e reflexão no decorrer dessa jornada. Em especial aos professores, **Dr. Jarsen Guimarães**, **Dr. Aldo Queiroz** e **Dr. Anderson Meneses** membros participantes da banca de qualificação pelas valiosas contribuições que enriqueceram o nosso trabalho.

À todos os colegas do Doutorado em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento (PPGSND-UFOPA) por compartilharem seus conhecimentos e pelo companheirismo. Meu agradecimento

especial para **Raphael Tapajós, Wilderclay Machado, Diego Pimentel, Cléo e Hélio**. A amizade de vocês foi essencial para mim.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

O presente estudo foi conduzido em três unidades produtivas localizadas em Santarém e Belterra, Oeste do Pará. Nessas propriedades foram aplicados questionários visando o levantamento de dados primários e que foram, quando preciso, complementados com dados secundários (Agrossanta, Agrotécnica e literatura especializada). Esses dados foram utilizados para determinar as emissões de CO<sub>2</sub>e, custos econômicos e energéticos. As emissões de CO<sub>2</sub> do solo foram obtidas através do uso de câmara dinâmica de concentração. Essas medidas foram feitas ao longo do ciclo produtivo da soja abrangendo os anos de 2014 e 2015. Buscou-se com esse procedimento avaliar os efeitos do preparo convencional e plantio direto nos parâmetros (emissões de CO<sub>2</sub>e e CO<sub>2</sub> do solo, eficiência energética, custos econômicos) com base em abordagem complementar de duas técnicas (ACV e câmara de concentração) em cada etapa do processo de cultivo do grão de soja, tais como preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita. Os resultados mostram por meio do balanço energético que o plantio direto no ciclo do cultivo é mais eficiente com valor estimado de 2,25, acima de 2,0, índice definido como padrão de atividade eficiente e sustentável. As etapas que mais contribuíram para o dispêndio de energia no preparo convencional foram preparo do solo e plantio. Os resultados mostram, no geral, que as etapas que utilizam maior quantidade de recursos no ciclo produtivo são preparo do solo e plantio sob os dois tipos de sistemas de manejo. Por isso, esses processos demandam uma atenção dos agricultores no uso mais racional dos insumos de modo a causar menor impacto. O presente estudo mostrou, também, que através da abordagem conjunta da ACV e câmara de concentração, considerando as dimensões ambientais (emissões de CO<sub>2</sub>e e CO<sub>2</sub> do solo), energética e econômica, que o sistema de cultivo plantio direto é mais eficiente revelando que a soja pode ser produzida em sistemas alternativos mais sustentáveis de forma a reduzir estes impactos negativos. Além disso, foi possível apontar os pontos mais críticos com base nos parâmetros analisados do ciclo da soja de modo a permitir promover ajustes visando o melhor desempenho da produção do grão de soja. Porém, mais pesquisas devem ser desenvolvidas buscando integrar inúmeros indicadores relacionado com atividade agrícola visando entender melhor a dinâmica da prática agrícola e os impactos ambientais associados.

**Palavras-chave:** Análise do Ciclo de Vida, câmara de concentração, Emissões de CO<sub>2</sub>, eficiência energética e custos econômicos.

## ABSTRACT

The present study was conducted in three production units located in the west of Pará. In these properties, questionnaires were applied to collect primary data and, when necessary, were complemented with secondary data (Agrossanta, Agrotécnica and specialized literature). These data were used to determine CO<sub>2</sub>e emissions, economic and energy costs. Soil CO<sub>2</sub> emissions were obtained through the use of a dynamic concentration chamber. These measures were taken throughout the soybean production cycle covering the years 2014 and 2015. The objective of this study was to evaluate the effects of conventional tillage and no-tillage on the parameters (CO<sub>2</sub>e and CO<sub>2</sub> emissions of the soil, energy efficiency, economic costs) based on a complementary approach of two techniques (ACV and concentration chamber) at each stage of the soybean cultivation process, such as soil preparation, planting, cropping and harvesting. The results show by means of the energy balance that no-tillage in the crop cycle is more efficient with an estimated value of 2.25, above 2.0, an index defined as an efficient and sustainable activity standard. The stages that most contributed to the energy expenditure in the conventional preparation were soil preparation and planting. The results show, in general, that the stages that use the greatest amount of resources in the productive cycle are soil preparation and planting under the two types of management systems. Therefore, these processes require the attention of farmers in the more rational use of inputs in order to cause less impact. The present study also showed that through the combined approach of the LCA and concentration chamber, considering the environmental dimensions (CO<sub>2</sub>e and CO<sub>2</sub> emissions of the soil), energy and economics that the no-tillage cropping system is more efficient revealing that soybeans can be produced in more sustainable alternative systems in order to reduce these negative impacts. In addition, it was possible to point out the most critical points based on the analyzed parameters of the soybean cycle in order to allow adjustments to be made aiming at the best performance of the soybean production. However, further research should be developed seeking to integrate numerous indicators related to agricultural activity in order to better understand the dynamics of agricultural practice and the associated environmental impacts.

**Key words:** Life cycle analysis, concentration chamber, CO<sub>2</sub> emissions, energy efficiency and economic costs.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
2.	OBJETIVOS .....	21
3.2.	Objetivo Geral .....	21
3.3.	Objetivo Específicos .....	21
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
4.1	Desenvolvimento sustentável.....	22
4.2	Uso sustentável dos solos Amazônicos .....	23
4.3	Sistemas agrícolas e emissões de CO <sub>2</sub> do solo.....	24
4.4	Sistemas agrícolas e enfoque sistêmico .....	26
4.5	Produção mundial de soja.....	26
4.6	Produção de grãos na Amazonia (Oeste do Pará). .....	29
4.7	Método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	33
4.7.1	Estrutura do método ACV.....	36
4.7.2	– Definição de Objetivo e Escopo .....	37
4.7.2.1	– Definição do Objetivo.....	37
4.7.2.2	– Definição de Escopo.....	37
4.7.2.3	– Sistema de Produto.....	38
4.7.2.4	– A função do produto .....	39
4.7.2.5	– Unidade funcional .....	39
4.7.2.6	– Fluxo de referência .....	40
4.7.2.7	– Fronteira do Sistema do Produto .....	40
4.7.2.8	– Inventário .....	41
4.7.2.9	– Interpretação .....	42
4.8	– Aplicações da ACV.....	43
4.9	– Mudança no Uso do Solo .....	44
4.10	– Emissões de CO <sub>2</sub> do solo .....	45
5	- METODOLOGIA E DADOS SUBSIDIÁRIOS .....	48
5.1	– LOCALIZAÇÃO, POPULAÇÃO E ÁREA.....	49
6	– PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE GRÃOS (soja – plantio direto e convencional) NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA, OESTE DO PARÁ.....	51



7 - NATUREZA: CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
7.1 – Solo .....	52
7.2 – Clima .....	52
7.3 – Vegetação .....	52
7.4 – Hidrografia.....	53
7.5 – Características microclimáticas da área de estudo .....	53
7.6– Cultura da soja (AS 3820 IPRO).....	54
8 – PROCESSO PARA A REALIZAÇÃO DA ACV.....	55
8.1 – Definição de objetivo e escopo .....	55
8.1.2 – Objetivo .....	55
8.2 - Etapas do sistema agrícola – soja.....	56
8.2.1 – <i>Preparo do solo</i> .....	56
8.2.2 – <i>Semeadura</i> .....	56
8.2.3 – <i>Tratos culturais</i> .....	56
8.2.4 – <i>Colheita</i> .....	57
8.2.5 – Caracterização das etapas agrícolas .....	57
8.2.6 – Fator de ajuste.....	58
8.2.7 – Consumo de combustível.....	59
8.2.8 – Aplicação de calcário.....	60
8.2.9 – Aplicação de fertilizantes.....	61
8.2.10. Aplicação de defensivos agrícolas.....	62
8.2.11 – Fatores de ajuste relacionados às operações agrícolas.....	63
9 – EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> DO SOLO DECORRENTE DO IMPACTO DO PREPARO CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO.....	64
9.1 – Sistema de amostragem .....	64
9.2 - Cálculo do fluxo de CO <sub>2</sub> .....	65
9.3 - Análise estatística.....	66
9.4 – Determinação dos custos econômicos .....	67
9.5 – Determinação dos equivalente energéticos dos insumos agrícolas.....	67
10 – PREPARAÇÃO PARA O ESTUDO DA ACV.....	67
10.1 – Fronteiras e limitações do estudo.....	68

11 – INVENTARIO DA PRODUÇÃO DE GRÃOS ( <i>Soja – Plantio convencional e direto</i> ).....	68
11.1 – Fluxo de massa do grão de soja – Plantio direto .....	68
11.2 – Produção agrícola – Preparo convencional e plantio direto.....	68
11.3 – Tratos culturais.....	69
11.4 – Colheita.....	69
11.5 – Soja.....	69
12 – DESEMPENHO ENERGÉTICO CONSIDERANDO A FASE DA LAVOURA ( <i>Soja – Preparo convencional e direto</i> ) .....	80
12.1 – Energia para a produção de grãos de soja sob plantio convencional e plantio direto .....	80
12.1 – DESEMPENHO ECONÔMICOS DO CULTIVO DO GRÃO DE SOJA ( Preparo convencional e direto).....	85
13 – EMISSÕES DE C-CO <sub>2</sub> SOB CULTIVO DE GRÃOS ( <i>Soja – preparo convencional e plantio direto</i> ).....	88
13.1 – Comparação das emissões de CO <sub>2</sub> entre o plantio direto e convencional.....	88
13.2 – Correlação entre o emissões de CO <sub>2</sub> e a temperatura do solo....	91
13.4 – Correlação entre o emissões de CO <sub>2</sub> e a umidade do solo.....	93
14 – ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL ( Emissões atmosféricas, uso de energia, uso do solo, custos econômicos).....	93
14.1 - Aquecimento global e efeito estufa.....	95
14.2 – Uso de energia.....	97
14.3 - Uso do solo (Emissões de CO <sub>2</sub> ).....	98
14.4 – Custos econômicos (R\$.ha <sup>-1</sup> ).....	100
15 – CONCLUSÕES.....	101
16 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
17 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
18 – ANEXO .....	110
18.1 – Imagens do sistema de cultivo de grãos – Soja (Plantio direto)	110
18.1 – Imagens do sistema de cultivo de grãos – Soja (Preparo convencio-	

onal).....	110
19 – ANEXO .....	111
19.1 – Publicação científica – Artigo .....	111
20 – ANEXO .....	112
20.1 – Questionário aplicado em três unidades produtivas .....	112
21 – ANEXO .....	115
22.1 – Relações de insumos agrícolas e os custos operações agrícolas.	115

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfico relativo à produção mundial de soja ( milhões de toneladas) referente a safra – 14/15.....	27
<b>Figura 2.</b> Mapa referente à moratória do soja com os principais estados como Pará, Rondonia e Mato-grosso em relação à produção de soja.....	29
<b>Figura 3.</b> Dados referentes à área plantada e produção de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará.....	31
<b>Figura 4 .</b> Esquema de avaliação de ciclo de vida.....	36
<b>Figura 5.</b> Dimensões de avaliação de ciclo de vida.....	37
<b>Figura 6.</b> Sistema de produto para análise de ICV.....	38
<b>Figura 7 .</b> Etapas envolvidas durante a análise do ciclo de vida.....	41
<b>Figura 8.</b> Padrão de emissões de CO <sub>2</sub> a nível mundial e no Brasil.....	46
<b>Figura 9.</b> Localização das áreas distribuídas nos municípios selecionados.....	48
<b>Figura 10.</b> Distribuição da precipitação diária e variação da temperatura média do ar referente ao plantio direto (PD) e convencional (PC) durante o período de avaliação (22/12/2014 a 13/05/2015).....	53
<b>Figura 11.</b> Diagrama sistêmico da produção de grãos (soja) sob preparo convencional e plantio direto. Abordagem do berço ao portão.....	57
<b>Figura 12. (a)</b> Arranjo experimental utilizado para medição do fluxo e <b>(b)</b> câmara dinâmica de concentração.....	63
<b>Figura 13.</b> Interface gráfica do programa computacional Licor.....	63
<b>Figura 14.</b> Diagrama referente ao processo de preparo do solo de 1 ha de grão de soja no Oeste do Pará – Safra 14/15.....	65
<b>Figura 15.</b> Diagrama referente ao processo de plantio de 1 ha de grão de soja no Oeste do Pará – Safra 14/15.....	71
<b>Figura 16.</b> Diagrama referente ao processo de tratos culturais de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	72
<b>Figura 17.</b> Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	74
<b>Figura 18.</b> Diagrama do processo de preparo do solo de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	76
<b>Figura 19.</b> Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja no Oeste do Pará – Safra 14/15.....	77
<b>Figura 20.</b> Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	78
<b>Figura 21.</b> Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	78
<b>Figura 22.</b> Gráfico referente à energia consumida (kcal/ha) ao longo das etapas do cultivo do grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará. <b>PS</b> -Preparo do solo; <b>P</b> - Plantio; <b>TC</b> - Tratos culturais e <b>C</b> - Colheita.....	83

<b>Figura 23.</b> Emissões de C-CO <sub>2</sub> do solo nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação soja/milho. As barras indicam o desvio padrão da média.....	87
<b>Figura 24.</b> Correlação entre o fluxo de C-CO <sub>2</sub> do solo e os poros preenchidos por água (PPA) sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistemas de rotação de soja/milho.....	91
<b>Figura 25.</b> Valores médios de emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup> ) em relação as fases da lavoura da soja ( AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	94
<b>Figura.26.</b> Equivalente – energético (kcal.ha <sup>-1</sup> ) em relação às fases da lavoura da soja (AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15..	96
<b>Figura.27.</b> Valores médios de emissões de CO <sub>2</sub> (mg C-CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> ) em relação as fases da lavoura da soja ( AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	97
<b>Figura.28.</b> Dados dos custos (R\$.ha <sup>-1</sup> ) em relação as fases da lavoura da soja ( AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.....	98

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados de produção mundial de soja dos principais países produtores referente às safras – 14/15.....	26
<b>Tabela 2.</b> Valores relativos a área plantada (ha) e produção em toneladas de grãos de soja no Estado do Pará.....	29
<b>Tabela 3.</b> Dados de área plantada por ha e produção em toneladas de grãos de soja referentes aos municípios de Santarém e Belterra – safra 14/15.....	30
<b>Tabela 4.</b> Dados de População e Área da Unidade Territorial.....	48
<b>Tabela 5.</b> Especificação das áreas de estudo e seus respectivos transectos (uso da terra) no Oeste do Pará.....	49
<b>Tabela 6.</b> Valores médios da produção soja no Oeste do Pará (Santarém e Belterra)50	
<b>Tabela 7.</b> Principais características da cultivar AS 3820 IPRO.....	54
<b>Tabela 8.</b> Fatores de emissão por combustão de combustível fóssil por maquinários agrícolas.....	59
<b>Tabela 9.</b> Fatores de emissão do calcário.....	60
<b>Tabela 10.</b> Fatores de emissão do fertilizantes (N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,K <sub>2</sub> O).....	60
<b>Tabela 11.</b> Fatores de emissão para o uso de defensivos agrícolas.....	61
<b>Tabela 12.</b> Fatores de ajustes relacionados às operações agrícolas.....	63
<b>Tabela 13.</b> Insumos consumidos nas operações agrícolas sob preparo convencional e direto à produção de 1 ha de soja, Santarém e Belterra, Pará – Safra 14/15.....	68
<b>Tabela 14.</b> Equivalente-energético das operações agrícolas sob preparo convencional e direto à produção de 1 ha de soja.....	68
<b>Tabela 15.</b> Fluxo de massa referente à produção de grãos em 1 sob preparo convencional e plantio direto, Santarém e Belterra, Pará – Safra 14/15.....	69
<b>Tabela 16.</b> Fluxo de massa referente à produção de grãos em 1 sob preparo convencional e plantio direto, Santarém e Belterra, Pará – Safra 14/15.....	74
<b>Tabela 17.</b> – Balanço energético da produção de grãos em 1 sob preparo convencional e plantio direto, Santarém e Belterra, Pará – Safra 14/15.....	80
<b>Tabela 18.</b> . Valores médios dos custos econômicos da lavoura de soja para produzir 1 ha, Santarém e Belterra, Pará, safra 14/15.....	85
<b>Tabela 19.</b> Valores médios do fluxo de C-CO <sub>2</sub> (mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ), desvio padrão (DP), poros do solo preenchidos por água (PPA,%) e temperatura do solo à 5 cm de profundidade sob plantio direto e convencional durante o período de avaliação, Santarém e Belterra, Pará.....	88
<b>Tabela 20.</b> Dados referente às emissões de CO <sub>2</sub> ( kg CO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup> ), emissões de CO <sub>2</sub> do solo ( mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ), custos econômicos ( R\$.ha <sup>-1</sup> ) e energéticos (kcal.ha <sup>-1</sup> ) relativas à safra 14/15 no Oeste do Pará.....	92
<b>Tabela 21.</b> Impactos para o aquecimento global e efeito estufa.....	94

## 1 – INTRODUÇÃO

Um importante desafio que o mundo enfrenta, atualmente, é como prover de alimentos uma população que aumenta vertiginosamente sem comprometer o fornecimento de energia e os recursos ambientais finitos. Para enfrentar este desafio segundo (LEFROY E RYDBERG, 2003), é vital à aplicação sustentável dos métodos agrícolas que devem ser avaliados para determinar aqueles com maiores rendimentos em relação ao seu uso de recursos e degradação ambiental. Processos que utilizam maiores percentuais de energia renovável precisam ser identificados, porque eles tendem a ser mais sustentável do que aqueles que utilizam um porcentagem maior de energia não-renovável.

Essa situação é caracterizada a partir do processo desenfreado de globalização, crescimento da população, industrialização, aumento do consumo, redução acentuada dos recursos naturais e consideráveis impactos ambientais. A formulação de políticas públicas e a operacionalização de estratégias para solucionar essas questões é de difícil implementação e obtenção de resultados satisfatórios em um intervalo de tempo relativamente curto.

Essa problemática tem sido reconhecida por líderes mundiais, através de conferências e instrumentos importantes como a Conferência de Estocolmo (1972), o Relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento (Relatório Brundland, 1987), A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano ( Rio 92), a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (Johannesburgo, 2002) na busca emergente de mudanças nos padrões insustentáveis de consumo e produção.

Uma das relevantes questões que tem despertado preocupação da comunidade científica em todo mundo são as mudanças climáticas. Este tema foi discutido pela primeira vez na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que ocorreu em Nova York, em 9 de maio de 1992. Tornando-se vigente a partir de 21 de março de 1994. As Conferências das Partes signatárias da Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas (COPs) são promovidas uma vez a cada ano, tendo sido realizada a COP1 em 1995, em Berlim na Alemanha e a mais recente a COP- 20 foi realizado em dezembro de 2014, na cidade de Lima, no Peru, que sedia a 20ª sessão anual da Conferência das Partes (COP-20) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) e a 10ª sessão da Conferência das Partes sobre o Protocolo de Kyoto de 1997, pois desde 2005, as COPs também servem como Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes do Protocolo de Kyoto Desde a COP3, discutida em 1997, em Quioto, Japão sendo na ocasião assinado o

Protocolo de Quioto, tem se dado ênfase a adoção de mecanismos de mercado, visando não somente a redução dos custos da mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), mas somando a isso o estabelecimento de um desenvolvimento sustentável em países subdesenvolvidos. A criação do Protocolo de Quioto tem por objetivo central reverter à tendência histórica de aumento das emissões de GEEs na atmosfera ( Sister Gabriel, 2007).

Mediante o “PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO”, documento relevante que foi produzido a partir da Conferência de Johannesburgo, líderes mundiais recomendam “*mudanças fundamentais nas formas das sociedades produzirem e consumir*”. Resolvem “*incentivar e promover o desenvolvimento num período de 10 anos de programas de apoio a iniciativas regionais e nacionais para acelerar a transição para a produção e consumo sustentável*”. Recomendou-se neste plano, também, o uso de ferramentas, políticas e mecanismos de avaliação em termos da Análise do Ciclo de Vida para promover padrões sustentáveis de produção, consumo e o aumento da eco-eficiência de produtos e serviços.

Foi apresentada à comunidade internacional, por meio do secretário-geral da Organização das Nações Unidas (ONU), a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM) – considerado o mais abrangente inventário relativo à capacidade do planeta de manter e prover à população os recursos ecossistêmicos básicos – em 2000, iniciou-se a avaliação que foi elaborada por 1360 cientistas de um universo de 95 países, e revisada por um conselho constituído por 80 integrantes que apontaram os serviços ambientais com base nos comentários críticos de 850 especialistas. O referido documento definiu 24 serviços ecossistêmicos julgados essenciais à manutenção da vida no planeta, tais como a água, o ar limpo, a regulação climática, a produção de alimentos, fibras e energia. Dentre esses elementos colocados, 15 estão sendo afetados gradualmente ou correndo o risco de desaparecer (Almeida, Fernando 2007). A AEM configura-se uma base científica para os governos, instituições acadêmicas, empresas e sociedade civil promoverem ações direcionadas à conservação, o manejo sustentável e o uso racional dos serviços ecossistêmicos.

Neste sentido, Brasil poderá fazer uma importante contribuição ao apontar modelos agrícolas que forneçam indicadores de uma atividade mais sustentável e, conseqüentemente, levar à mitigação climática se reduzir as emissões de GEE provenientes do modo como o solo esta sendo explorado por meio dos sistemas agrícolas.



Portanto, para aumentar a sustentabilidade da agricultura a tendência de aumento de produção com maiores insumos não renováveis, o que caracterizou a Revolução Verde ( Ko et al.,1998 ), deve ser reduzidas. Além disso, as consequências ambientais provenientes da produção de alimentos, como a erosão do solo e contaminação do solo por uso de agrotóxicos, emissões de gases de efeito estufa, devem ser reduzidas para garantir que a futura produção não seja comprometida ( PIMENTEL *et al.*, 1995 ).

O cenário exposto acima está fortemente associado à Região Amazônica que pode desempenhar papel vital por ser foco das atenções do cenário internacional, trazendo consigo a perspectiva de atenuar os impactos ambientais a nível mundial. Destacando-se, então, como região estratégica para o Brasil e para o mundo.

E a abordagem nessa região que abrangem as dimensões energéticas, econômicas e ambientais (emissões de CO<sub>2</sub>), que mostram fortes conexões, são extremamente escassos na região de estudo. O campo agrícola é um consumidor de energia e fornece energia na forma de biocombustível (MOUSAVI, 2011). O consumo de energia através de atividades relacionadas à agricultura foi potencializada devido a um aumento da população, a limitação no fornecimento de terras aráveis e a configuração de um padrão de vida, cada vez mais, crescente (MOHAMMADSHIRAZI *et al.*, 2012) ; portanto, uma análise abrangente de energia é necessária para especificar qual operação ou entrada tem o maior consumo de energia e encontrar as maneiras de otimizar isso. Da mesma forma, a análise dos gases de efeito estufa (GEE), principalmente o CO<sub>2</sub>, são necessários para determinar qual a entrada tem o maior efeito sobre o meio ambiente e como diminuir os seus efeitos de interferências. Além disso, devido à relação mútua entre a energia, economia e meio ambiente, uma análise de energia deve ser combinada com um ambiente econômico e essas emissões. Então, através da aplicação dessas análises abrangentes, a situação atual pode ser avaliado e melhores estratégias de gestão podem ser identificadas de forma a otimizar o uso de energia, proteger o meio ambiente e alcançar o desenvolvimento sustentável.

Essas mudanças são impulsionadas pela crescente demanda de recursos a partir de uma população humana crescente, juntamente com os efeitos da crescente globalização da economia e escassez da terra (LAMBIN & MEYFROIDT, 2011). O desenvolvimento de economias sustentáveis no século 21 depende da nossa capacidade de equilibrar crescentes demandas por alimentos, energia, recursos naturais e da proteção e restauração dos

ecossistemas naturais, e os serviços dos ecossistemas críticos que são fornecidos (GODFRAY ET AL., 2010).

Dentro deste cenário a Amazônia representa um grande desafio da sustentabilidade: além de ser a maior floresta tropical remanescente no mundo, o bioma Amazônia abriga mais de 30 milhões de pessoas, e fornece a nível local, regional e mundial benefícios significativos de bem-estar humano, incluindo bens econômicos (por exemplo, produtos agrícolas) e serviços ecossistêmicos, como a regulação climática e conservação da biodiversidade (FAO, 2011). Mudança social e ecológica rápida deixou o futuro da região amazônica incerto (Gardner, et al, 2013).

As recentes reduções na taxa de desmatamento, a expansão de áreas protegidas, o aumento da demanda com base no mercado para as práticas de uso da terra mais responsáveis, e um fortalecimento dos governos locais e regionais e organizações da sociedade civil fornecer algum motivo para otimismo que a economia da Amazônia pode ser definido em uma base sustentável (Nepstad et al., 2009). No entanto, é preciso garantir que as escolhas certas sejam feitas o mais rápido possível, reduzindo assim a probabilidade de danos dispendiosos ou potencialmente irreversível para ambos os sistemas econômicos, sociais e ecológicos da região (Gardner et al., 2013). A ciência pode ajudar neste processo, identificando os problemas que precisam ser abordadas em primeiro lugar, e avaliar as implicações econômicas, sociais e ecológicos decorrente do uso da terra visando buscar alternativas no planejamento tanto para o desenvolvimento regional e conservação ecológica (Nepstad et al., 2011). Neste sentido a aplicação da ACV seja adequada visto que esta ferramenta é robusta no que tange o desenvolvimento de uma abordagem mais ampla e integradora.

Embora haja já um corpo substancial de conhecimento econômicos, social e ecológico na Amazônia (Barlow et al., 2010), os cientistas são muitas vezes criticados por não fornecerem indicadores sólidos para promover a sustentabilidade (Lahsen, M. & Nobre, C. a. 2007). As críticas incluem a natureza fragmentada e extremamente disciplinar dos muitos estudo desenvolvidos, um foco estreito sobre problemas ecológicos ou sociais específicos e escalas espaciais, e uma conexão fraca para com outros campos do conhecimento e, relacionada com os atores sociais, que são fundamentais para implementação de mudanças na política de uso do solo e gestão (Barlow et al., 2010).

E essa problemática tem sido observada, nos últimos anos, na Região Oeste do Pará, principalmente nos municípios de Santarém e Belterra, nos quais o cultivo de grãos que tem sido desenvolvido em fazendas que adotam intensamente a utilização de maquinário, fertilizantes, aplicando também defensivos agrícolas para o controle de pragas e doenças. Modelos de cultivo agrícola mais racional ou sustentável como o plantio direto encontra-se em certas unidades produtivas, embora seja bastante raro, da mesma forma, a adoção das técnicas da agricultura de precisão.

Os municípios de Santarém e Belterra foram selecionados para realização do estudo, devido constituírem-se fortes polos produtivos recente, onde situam-se as unidades de produção, agroindústrias beneficiadoras de grãos e a multinacional Cargill Agrícola S.A. (Cargill). Pelo fato desses municípios desempenharem papel importante em termos energéticos, econômicos e emissões de gases de efeito estufa referente à produção de grãos do estado do Pará, ainda não há estudos sistematizados relativos ao desempenho sobre o balanço energético-material, econômicos e ambiental (emissões de CO<sub>2</sub>) nos sistemas agrícolas para embasar as ações de políticas públicas direcionadas a adoção de atividades agrícolas mais sustentáveis.

Este trabalho propõe-se desenvolver um inventário do ciclo de vida da produção de grãos soja sob o cultivo mecanizado e o plantio direto considerando os tratamentos (preparo do solo, plantio, tratamentos culturais e colheita) no Oeste do Pará objetivando identificar, quantificar e comparar indicadores ambientais (CO<sub>2</sub> emitido do solo), econômicos e energético neste processo de produção de agrícola. O inventário do ciclo de vida é produzido para os principais insumos utilizados no processo produtivo agrícola e, além disso, pretende-se utilizar nesta abordagem duas técnicas conjuntamente, a ACV e câmara de concentração visando subsidiar um inventário da ACV no campo agrícola.

A metodologia a ser aplicada é a Análise de Ciclo de Vida (ACV) em conjunto com a câmara dinâmica de concentração, o primeiro método tem sido realizado no campo da gestão da sustentabilidade de produtos e serviços. A ACV tem, em anos recentes, demonstrado uma ferramenta robusta para embasar a tomada de decisões para formulação de políticas públicas e regulamentação de gestão de sistemas ambientais em todo mundo.

Neste sentido, o presente trabalho procurou responder aos seguintes questionamentos:

1. – Quais os efeitos dos sistemas de cultivo nos parâmetros econômico, energético e ambiental (emissões CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> emitido do solo) com abordagem complementar dos métodos (ACV e câmara dinâmica de concentração)?
2. – Quais as fontes que mais contribuem para o impacto ambiental considerando as etapas da lavoura de soja sob preparo do convencional e plantio direto ?
3. – Como uma abordagem utilizando as técnicas (ACV e câmara dinâmica de concentração) permite entender a dinâmica dos sistemas agrícolas (soja – plantio direto e convencional) e a subsidiar a tomada de decisão na busca da atividade produtiva com maior eficiência no desempenho?
4. – Quais as fases do processo de cultivo do grão de soja que permitem otimização em relação ao desempenho energético, econômico e ambiental ( emissões de CO<sub>2</sub>)?

## **2 – OBJETIVOS**

### **2.1 – Geral**

Identificar, quantificar e comparar parâmetros ambientais (emissões de CO<sub>2</sub>e e CO<sub>2</sub> do solo), energéticos e econômicos na fase da lavoura da soja sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) no Oeste do Pará.

### **2.2 – Específicos**

Determinar o consumo de combustíveis fósseis e a contribuição das emissões de CO<sub>2</sub> em cada uma das etapas da produção agrícola (soja) sob o plantio convencional (PC) e plantio direto (PD).

Determinar o balanço energético em cada etapa de produção agrícola (soja) sob PC e PD

Quantificar os custos econômicos em cada etapa de produção agrícola (soja) sob PC e PD;

Quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> do solo nas etapas de produção de grãos (soja) sob PC e PD.

Complementar a análise energética, econômica e as emissões de CO<sub>2</sub> de base sistêmica dos sistemas de produção agrícola visando apontar os pontos críticos da lavoura da soja visando melhorar o desempenho da fase agrícola;

### 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 – Desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável é um tema emergente nas sociedades humanas, cuja crescente importância, faz dos estudos científicos acerca das complexas relações entre as questões sociais, econômicas e ambientais, urgentes e necessários. A questão do desenvolvimento sustentável na Amazônia brasileira tem sido discutida na comunidade científica (FEARNSIDE, 2002). As rápidas mudanças na relação entre sociedade e o meio ambiente nesses âmbitos são importantes questões contemporâneas.

Sustentabilidade está se tornando a força motriz mais importante por trás das ações humanas: "o desenvolvimento econômico sustentável envolve a maximização dos benefícios líquidos do desenvolvimento econômico, sujeito à manutenção dos serviços e qualidade dos recursos naturais ao longo do tempo" (Pearce *et al.*, 1988). Isto significa que a missão das atividades econômicas visa não só a produzir, mas também para salvar o estoque de capital natural. No entanto, colocar planos de produção sustentável em prática é um processo complexo, que envolve a integração de três diferentes dimensões: econômica, social e ambiental.

A sustentabilidade não é fácil de medir, podendo ser vista como um complexo equilíbrio entre o corpo inteiro dos fluxos, e o consumo dos recursos dentro de um determinado contexto sócio-econômico. Considerando os aspectos econômicos e sociais são comumente medida, o impacto ambiental é difícil de mensurar, especialmente se as medidas não se limitam a apenas a um componente, mas os envolve de maneira integradora.

Analisando-se todo o ciclo de vida dos sistemas agrícolas na região de estudo, será possível quantificar e propor alternativas de projetos de manejo sustentável do solo pelas atividades agrícolas e na redução das emissões dos gases que intensificam o efeito estufa, em específico as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, sendo o principal gás de efeito estufa, o qual é fortemente responsável por grande parte das mudanças climáticas no planeta.

Soma-se a isso, a realização da Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio-92, que ensejou o compromisso estabelecido por alguns países participantes de incorporar, em suas políticas públicas, o viés de desenvolvimento sustentável. Visando atingir essa meta foi definida a denominada Agenda 21 Brasileira objetivando nortear as ações voltadas para a implementação do desenvolvimento sustentável.

Buscando o desenvolvimento sustentável, por meio da Agenda 21, seis (6) eixos temáticos foram constituídos, dentre os quais, a agricultura sustentável figura como elemento relevante. Para isso, uma das estratégias adotadas foi de “*incentivas o manejo sustentável dos sistemas agrícolas*” e, a partir daí, determinadas propostas de ações foram delineadas como as elencadas abaixo:

*“Estimular o desenvolvimento de tecnologias e práticas de produção agrícola que não somente aumentem a produtividade, mas evitem a degradação e restabeleçam ou aumentem a diversidade biológica”*

*“Fomentar práticas agrícolas sustentáveis, como: policultivo, fusão da produção animal e vegetal, rotação de culturas, consorciação, práticas de conservação e recuperação de solos”*

*“Efetuar pagamentos compensatórios anuais por hectare aos produtores que adotam sistemas produtivos sustentáveis”.*

*“Incentivar a substituição de insumos industriais por insumos obtidos por meio de práticas biológicas”*

#### **4.2 – Uso sustentável dos solos na Amazônia**

A Amazônia brasileira abrange aproximadamente 40% das florestas tropicais remanescentes do mundo e desempenha um papel vital na conservação da diversidade biológica, regulação climática e ciclos biogeoquímicos (Malhi et al. 2008; Peres et al. 2010). A mesma área abriga aproximadamente 20 milhões de pessoas e tem sido sujeita a conversão anual de cerca de 1,8 milhões de hectares de florestas primárias entre 1988 e 2008 (INPE 2009), contribuindo para as maiores taxas absolutas de desmatamento de floresta tropical na última década (Hansen et al. 2008) e degradação florestal pela exploração madeireira (Asner et al. 2005).

Aproximadamente 1/5 do desmatamento passado foi ligado à agricultura itinerante de pequena escala, enquanto o restante é atribuído à pecuária e expansão de agricultura mecanizada (Fearnside 2005). Entretanto, os determinantes fundamentais destas mudanças são complexos e têm suas raízes nos processos sociais que impulsionam as migrações das

populações rurais e urbanas, bem como as políticas públicas e a dinâmica dos mercados de *commodities* globais (Nepstad et al. 2009).

A sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia brasileira é um tema fundamental na agenda do país, sendo objeto de políticas públicas específicas, como o Plano Amazônia Sustentável (MMA 2003, relançado em 2008 pela Secretaria de Assuntos Estratégicos) e o Programa de desenvolvimento socioambiental da produção familiar rural na Amazônia/ Proambiente (MMA 2004). Entretanto, até o presente, as políticas lançadas na região demonstraram pouca capacidade de alcançar o sucesso desejado (e.g. Hall 2008). As pesquisas científicas ainda não têm abrangência suficiente para embasar de forma decisiva as diretrizes destes programas. Somente a partir da integração de resultados de abordagens mais abrangentes integrando outros campos do conhecimento (e.g. econômica, energia, ecológicas) será possível gerar conhecimento e recomendar a implementação de práticas de uso da terra mais eficientes e capazes de reconciliar desenvolvimento econômico com conservação dos serviços ambientais.

A implantação satisfatória de sistemas de uso da terra mais sustentáveis depende criticamente do nosso entendimento do balanço (“*trade-offs*”) espaço-temporal dos custos e benefícios ambientais e econômicos das diferentes alternativas de uso da terra (DeFries et al. 2004). Nesse sentido, a ACV desempenha um papel chave, pelo carácter holístico, na identificação de onde existem oportunidades de sinergias entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental em áreas modificadas por atividades humanas através da atividade agrícola.

#### **4.3 – Sistemas agrícolas e emissões de CO<sub>2</sub> do solo**

Como os sistemas agrícolas tem relação direta com a dinâmica ecossistêmica, boa parte dos processos (como, operações de máquina e implementos agrícolas, aplicação de defensivos agrícolas, calcário e outros), ao longo das etapas de produção agrícola tem uma série de impactos ambientais, incluindo diminuições na qualidade do solo e da água através da aplicação excessiva de fertilizantes, bem como a produção de substâncias acidificantes e gases de efeito estufa, principalmente CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> (IPCC, 2007). Recentemente, o aquecimento global, desencadeado pelas emissões de gases de efeito estufa, tornou-se uma das principais questões ambientais na produção agrícola (IPCC, 2007). Para reduzir as



emissões de gases de efeito de estufa em agrossistemas, é fundamental entender a dinâmica das emissões de CO<sub>2</sub> do solo no âmbito dos sistemas de produção agrícola.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem atraído cada vez mais atenção como uma ferramenta para avaliar esses impactos ambientais em vários tipos de sistemas de produção. Um quadro ACV para a produção agrícola precisa ser proposta para ser aplicada a realidade dos sistemas de produção agrícola no contexto das emissões de gases de efeito de estufa ( FLESSA *et al.* 2002).

Em sistemas de cultivo baseados em processos de aração, a emissão e absorção de gases de efeito estufa que afetam o aquecimento global líquido pode ocorrer por meio do consumo de combustíveis fósseis e, como resultado da atividade de microrganismos relevantes no solo. No entanto, este CO<sub>2</sub> emitido do solo, resultante das alterações produzidas no solo em termos de atividade microbiana não entra no cômputo do inventário do ciclo de vida e, neste sentido, o presente trabalho objetiva desenvolver uma abordagem tomando por base o uso integrado de duas técnicas: a ACV e a câmara dinâmica de concentração de modo a incluir as emissões de CO<sub>2</sub> nas discussões tornando a análise mais abrangente no que tange os principais modelos de cultivo adotados na produção de grãos de soja no Oeste do Pará.

O sistema de cultivo mecanizado, na exploração emissões CO<sub>2</sub> são derivadas de operações de consumo de combustível, tais como operações de maquinário, o transporte por caminhão e secagem de grãos ( KOGA *et al.* 2003). Combustíveis também são consumidos no processo de fabricação e transporte de materiais necessários agrícolas, fertilizantes, principalmente químicos e máquinas agrícolas. Tendo em conta as exigências para as grandes quantidades de combustíveis fósseis e outros produtos agrícolas, grandes quantidades de CO<sub>2</sub> que são emitidos a partir de uma ampla variedade de processos de produção agrícola.

Os solos agrícolas funcionam como um dreno ou fonte de CO<sub>2</sub> no ciclo de C dos agrossistemas. Esta dinâmica é influenciada por práticas de manejo do solo ( PAUSTIAN *et al.* 1997 ). Por exemplo, as operações de preparo intensivo podem levar a uma redução dos estoques de C no solo, o que resulta, por sua vez, em significativas emissões CO<sub>2</sub> a partir da mobilização do solo para a atmosfera ( LAL, 1997 ).

Portanto, um modelo agrícola de conservação, incluindo plantio direto pode ser um meio eficaz de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> de terras cultivadas ( PAUSTIAN *et al.* 1997 ). Por outro lado, a incorporação de resíduos de culturas e adubação orgânica pode exercer efeitos benéficos no solo C sequestro através da redistribuição de CO<sub>2</sub> atmosférico para o solo.

#### **4.4 – Sistemas agrícolas e abordagem sistêmica**

A abordagem de problemas complexos está solidamente discutida no trabalho de Ludwig Von Bertalanffy em seu livro Teoria Geral dos Sistemas, onde o autor expõe que:

“Estas construções teóricas ampliadas e generalizadas, estes modelos, são interdisciplinares, transcendem os compartimentos ordinários da ciência, e são aplicáveis a fenômenos em diferentes campos. Isto conduz ao isomorfismo entre modelos, princípios gerais e mesmo leis especiais que aparecem em vários campos”. (Teoria Geral dos Sistemas, Brasil, 1977).

A base científica sistêmica concebida por Bertalanffy (1977), é bem atual para a abordagem da sustentabilidade, e a abordagem holística é inata a este tema complexo e a muitos outros, o conhecimento fracionado da visão mecanicista discutida por Descartes, onde a natureza necessita ser abordada de modo elementar para, então, viabilizar como um ente a ser conhecido deve ser “desmontada” por estudos específicos em seus elementos é inapropriada como abordado anteriormente para este tipo de estudo, o que reforça a necessidade da visão sistêmica interdisciplinar a esta abordagem. No cerne da questão está o conceito de sustentabilidade que requer compreender as dinâmicas de sistemas complexos (MACHADO, 2009).

Para o entendimento do problema posto, faz-se necessário a conceituação de sustentabilidade, até então um termo utilizado dentro de uma concepção bastante generalista, para tal utilizando o conceito proposto por Sachs (2004) resumido em sustentabilidade social, com redução das desigualdades sociais, sustentabilidade econômica, com aumento da produção e da riqueza social, sem dependência externa e sustentabilidade ecológica, com melhoria na qualidade do meio ambiente e preservação das fontes de recursos energéticos e naturais para a próxima geração.

Na abordagem holística visando entender o estudo da sustentabilidade e com base no conceito de Sachs as práticas humanas precisam de gestão frente às dinâmicas naturais, no entanto, as ideias referentes ao reducionismo ecologista devem ser combatidas nesta nova visão, pois a noção de meio ambiente deve ser multidimensional, complexa e objeto de diferentes escalas de abordagem (DA SILVA, 2000).

#### **4.5 – Produção de soja no mundo**

Em escala global, segundo o Departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2016) a produção de soja está estimada em 319,01 milhões de toneladas. Dentro desse universo quantitativo os países mais relevantes em termos de produção são EUA, Brasil, Argentina e China. Sendo que o Brasil figura como o segundo maior produtor de sejo do mundo expressando um valor de 99 milhões de toneladas de soja produzida valor inferior somente aos estimados pelos EUA com valor de 107 milhões de toneladas, conforme sumariza a Tabela 1, Figura 1.

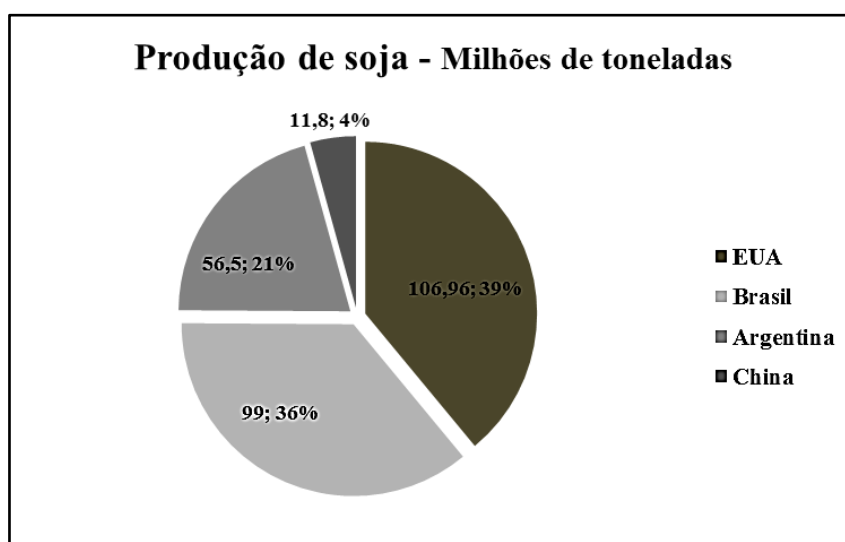
**Tabela 1.** Dados de produção mundial de soja dos principais países produtores referente às safras - 14/15.

<b>Produção de soja - Milhões de toneladas</b>				
<b>Países</b>	<b>EUA</b>	<b>Brasil</b>	<b>Argentina</b>	<b>China</b>
<b>Produção de soja (milhões de toneladas)</b>	107	99	56,5	11,8

**Fonte:** Conab, 2016; USDA, 2016.

Em termos percentuais, o Brasil desempenha papel crucial na produção de soja em escala mundial contribuindo com 31% valor superior aos outros importantes países como Argentina com participação, também, importante (56,5%) e China com menor valor estimado dentro desse quadro (11,8%). O EUA lidera as posições na produção da soja no mundo com 39% (Conab, 2016; USDA, 2016).

Esses números apontam o Brasil como um dos maiores produtores, nesse cenário mundial de produção de grão de soja, conforme mostra a Figura x.



**Figura 1.** Gráfico relativo à produção mundial de soja ( milhões de toneladas) referente a safra – 15/16

**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em dados de Conab, 2016.

Embora a produção de soja estimada seja inferior quando comparada ao EUA o Brasil, nos últimos anos, tem despontado na condição de grande fornecedor competitivo no comércio internacional. No tocante à soja, os dois países concorrem quilograma a quilograma a liderança nas exportações

A produção de soja visa, principalmente, suprir o mercado de produção de óleo e ração animal em 90% e o processo de semeadura consome os 10% restantes. Este grão, geralmente, é cultivado em regiões temperadas e subtropicais, isso em inúmeros países, atualmente o cultivo de soja abrange as regiões tropicais. Esta oleaginosa, em termos de produção a nível mundial, coloca o Brasil como segundo maior produtor, com estimativa de 58 milhões/t em 2009, número abaixo somente dos EUA que totalizou uma produção 91 milhões/t em 2009 (COSTA, 2012).

Outros países como, Argentina, Paraguai, Bolívia e Uruguai figuram na terceira, sexta, oitava e décima colocações, respectivamente. Embora expressivos produtores, China e Índia, destinam suas produções ao consumo interno.

Conforme ilustra no gráfico 1, Brasil e Argentina destacam-se como os mais importantes países no fornecimento de grãos ao mercado mundial.

Em termos percentuais, estes países juntos (EUA, Brasil e Argentina) abrangem um porção, atualmente, de 80% de toda a produção mundial, com crescimento sob curva exponencial, que no intervalo de 10 anos mostrou um crescimento de 60%. Nos anos 1990, a produção norte-americana cresceu, em média, 4,15% ao ano, enquanto que na América do Sul o ritmo de expansão foi de 17,45% ao mundial.

Foi por volta do final do sec. XIX e início do sec. XX, que a produção de soja no Brasil começou por meio do material genético oriundo dos EUA. Em meados da década de 1940 e 1960, o cultivo da soja foi bastante difundido em nível de pequenas e médias propriedades familiares numa escala de 50 hectares na parte sul do país. A expansão do processo produtivo deu-se através da adaptação da produção em regiões tropicais, isso na década de 1960, no estado do Mato Grosso, hoje, verificam-se propriedades com produção de

soja em áreas de até 10.000 hectares. Esse fato, deve-se ao modelo de produção adotado sob a forma mecanizada (COSTA, 2012).

Esta aceleração vertiginosa na produção deve-se, em grande parte, a similaridade nas condições ecossistêmicas do sul do Brasil e dos EUA que propiciou a adaptação na adversidade do grão, melhoramento nas condições de adaptação do solo, os incentivos fiscais e governamentais fornecendo elementos favoráveis na produção da soja, o aumento da demanda do mercado internacional decorrente da elevação do preço, em meados de 1970, e por últimos, o aumento expressivo na demanda por óleos vegetais (Costa, 2012).

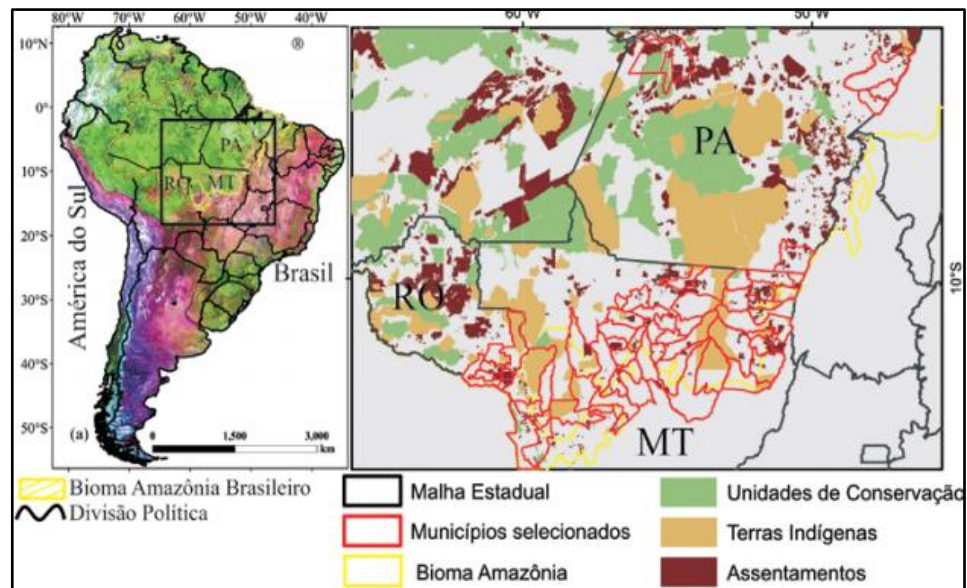
#### **4.6 – Produção de grãos na Amazônia (Oeste do Pará).**

Novos cenários de mudanças no uso da terra avançam sobre áreas naturais dentro da região Amazônica, desencadeando distúrbios ecossistêmicos que tornam incertos os efeitos dos impactos promovidos por esse novo ciclo de produção. O avanço da produção de grãos (arroz, milho e soja) sobre a floresta, alterando a paisagem natural da região, e mesmo o impacto da utilização de novas técnicas de produção e novos sistemas de manejo tem consequências imprevisíveis nos processos conduzidos por microrganismos e pelas novas formas de cultura que se estabelecem dentro da região. A utilização e até mesmo a preservação desses recursos naturais e suas funções ecológicas, o tão almejado desenvolvimento sustentável, ainda está longe de ser alcançada.

Na região oriental da Amazônia, a expansão da fronteira agrícola (soja) se expande trazendo mudanças a um cenário já bastante alterado por incursões anteriores (pecuária) que também visavam à produção de alimentos. A expansão da fronteira agrícola, que para seu estabelecimento altera as áreas e modifica toda a estrutura da região que ocupa (MARTORANO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2013 )

E essa região situada no estado do Pará adquire atenção relevante, sobretudo, com a instituição da Moratória da Soja voltada para o bioma Amazônia, que representa 49% do território nacional e onde vivem mais de 20 milhões de habitantes, foi declarada em 24 de julho de 2006 por indústrias e exportadores da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e da Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC). A Moratória foi renovada pela quinta vez, em outubro de 2011, com o compromisso das empresas de não adquirirem soja oriunda dos desflorestamentos ocorridos no bioma Amazônia a partir de julho de 2006.

Este acordo visa inibir a expansão da fronteira agrícola decorrente, sobretudo, no bioma Amazônia, sendo que nesse cenário, com base no critério adotado para definir quais estados necessitam se adequar as proposições da Moratória decorrente do desmatamento na Amazônia, o estado Pará figura como um dos principais estados que se observam processos de desmatamento associado ao cultivo de grãos, em específico, de soja, conforme se mostra na Figura 2.



**Figura 2.** Mapa referente à moratória do soja com os principais estados como Pará, Rôndonia e Mato-grosso em relação à produção de soja.

Fonte: INPE, 2006

Os dados sumarizados na Tabela 2 mostram a relevância do estado do Pará no que tange a produção dos grãos de soja. Os valores referem-se à área plantada em hectare e a produção em toneladas de uma série histórica que abrange o ano de 1997 a 2015. Por meio dessa cultura, o Pará desponta como sendo estado importante nesse cenário de fronteira agrícola fato este que se respalda através dos valores crescentes ao longo dessa série histórica registrando, respectivamente, uma área plantada em 2015 de 337.056 ha e 1.022.677 de toneladas de grãos de soja, Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores relativos a área plantada (ha) e produção em toneladas de grãos de soja no Estado do Pará.

Ano	Nº Municípios	Área Plantada (ha)	Produção (t)
1997	4	575	1.353
1998	6	1.843	2.438
1999	6	1.915	2.630
2000	7	2.225	2.602
2001	7	1.005	2.291
2002	8	2.648	7.535
2003	14	15.310	43.251
2004	20	35.219	99.437
2005	20	68.410	204.302
2006	20	72.335	209.864
2007	17	53.538	154.015
2008	18	70.760	201.111
2009	17	71.410	206.456
2010	17	85.450	243.616
2011	17	106.018	317.093
2012	17	119.686	373.398
2013	17	189.746	506.347
2014	17	243.171	736.947
2015	17	337.056	1.022.677

Fonte: IBGE, 2016; SIDRA, 2016

Além disso, os impactos não ficam restritos às áreas cultivadas, mas devido aos padrões de climatológicos da região, os efeitos causados pela utilização desordenada de fertilizantes e defensivos agrícolas são sentidos nas áreas naturais que circundam essas áreas de produção. Florestas e corpos d'água são atingidos pelos compostos emitidos pelas áreas de cultivo e têm suas funções ecológicas modificadas e passam a não mais contribuir com seus processos naturais. Dentro da região, a diversidade dos ambientes e das condições climáticas torna necessário medidas a longo-prazo da dinâmica dos mecanismos que controlam as interações entre biosfera e atmosfera.

A partir de 2010, Santarém e Belterra, tornam-se, dentre outros municípios, os maiores produtores de grãos, especialmente, soja respondendo por cerca de 90% de toda a produção da região Oeste do Pará. (COSTA, 2012).

**Tabela 3.** Dados de área plantada por ha e produção em toneladas de grãos de soja referentes aos municípios de Santarém e Belterra – safra 14/15.

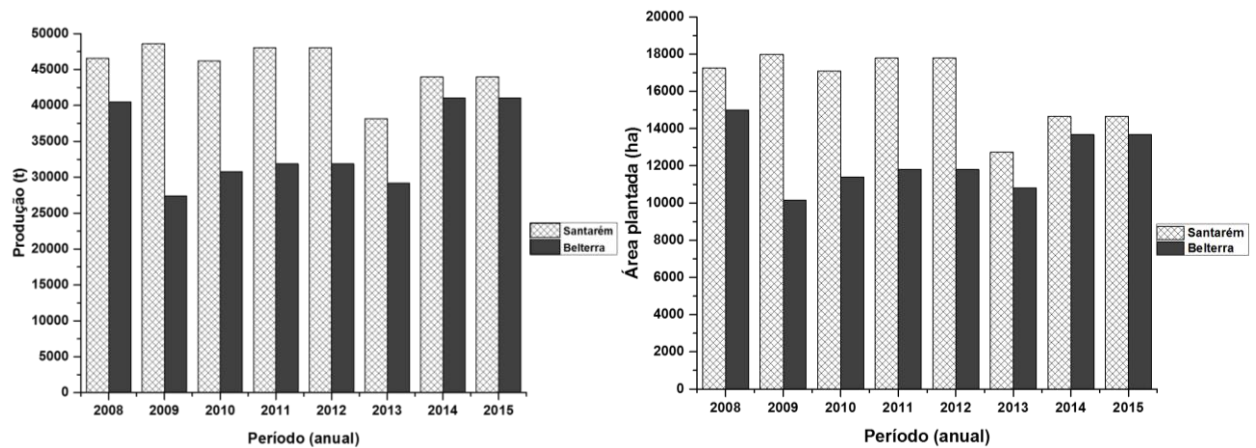
Ano	Santarém		Belterra	
	Área Plantada (ha)	Produção (t)	Área Plantada (ha)	Produção (t)
<b>2008</b>	17.250	46.575	15.000	40.500
<b>2009</b>	18.000	48.600	10.150	27.405
<b>2010</b>	17.100	46.170	11.400	30.780
<b>2011</b>	17.800	48.060	11.800	31.860
<b>2012</b>	17.800	48.060	11.800	31.860
<b>2013</b>	12.725	38.175	10.807	29.179
<b>2014</b>	14.660	43.980	13.672	41.016
<b>2015</b>	14.660	43.980	13.672	41.016

**Fonte:** IBGE, 2016; SIDRA, 2016

No estado do Pará há três polos de produção de grãos ( soja) um desses localiza-se no município de Santarém. Outros grãos são relevantes como arroz e milho, no Oeste do Pará, devidos o processo de cultivo acompanhar o aumento produtivo de grãos de soja nessa região. Pois o plantio de soja no estágio inicial precisa da produção de arroz, de 2 a 4 anos, para “amansar o solo” em áreas de capoeira e/ou floresta densa. O milho, por sua vez, é produzido no estágio de rotação da cultura dentro do modelo de preparo direto no cultivo da soja (CORRÊA et al., 2007).

Os dados relativos a área plantada (ha) e a produção do grão de soja em toneladas são expressos na Figura mostram que a produção de soja nessa Região é uma realidade consolidada. Embora se verifique um declínio na produção do grão nos municípios Santarém e Belterra, no que tange o ano de 2013. Torna a aumentar os números referentes à área plantada e produção a partir do ano de 2014.





**Figura 3.** Dados referentes à área plantada e produção de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará.

A produção da soja ganha mais relevância na safra 16/17 com recorde na produção, considerando os municípios Santarém, Belterra e Mojuí os valores atingiram, em termos de produção, 200 mil toneladas e 70.000 mil hectares de área plantada expressando um aumento considerável na produção comparando com safras anteriores ( comunicação pessoal, Adriano-Produtor agrícola).

A maior parte da safra de milho, atualmente, atende a demanda do mercado a nível local, pelas empresas avícolas e o restante destina-se à exportação. O arroz produzido, por outro lado, destina-se aos mercados da Região Norte após o processamento e beneficiamento na própria localidade. O cultivo de grãos, nestas áreas, tem se consolidado ao longo dos anos na, principalmente, na Região Oeste do Pará ( nos municípios de Santarém e Belterra). O arroz, por sua vez, é beneficiado e processado industrialmente nos locais de produção e distribuídos para os mercados da Região Norte. A soja está se consolidando nos estados do Pará (nos municípios de Santarém e Belterra).

#### 4.7 – Método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Análise do ciclo de vida (ACV) e a ecologia industrial surgem rigorosamente no mesmo período (LIFSET, 2006). A ACV e os esforços de desenvolvimento da Gestão do Ciclo de vida (GCV), Pensamento do ciclo de vida (PCV) e política integrada de produtos, são elementos importantes da ecologia industrial. São os meios através dos quais a ecologia industrial tenta realizar seu objetivo principal que é avaliar o papel potencial da indústria em reduzir a carga ambiental em todo o ciclo de vida do produto.

A ACV é uma técnica de avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, envolvendo etapas que vão

desde as retiradas da natureza das matérias primas elementares que entram no sistema produtivo, à disposição do produto final, ou seja, uma abordagem do berço ao túmulo (CHEHEBE, 1997). Como instrumento de tomada de decisões esta ferramenta compreende fundamentos para o desenvolvimento e melhoria de produtos, o marketing ambiental e a comparação de diferentes alternativas de produtos e/ou materiais e serviços. As categorias gerais de impactos que necessitam ser consideradas incluem a utilização de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

CALDEIRA-PIRES et al (2005) reportam que a ACV é um processo que tem por objetivo avaliar os impactos na dimensão ambiental e a saúde associado a um produto, processo, serviço ou outra atividade econômica, em todo o seu ciclo de vida. No longo prazo, a ACV possibilita prover as mudanças tecnológicas essenciais na produção e nos produtos, inclusive no uso otimizado de energia e de materiais, através do uso de processos de reciclagem e de reuso.

CURRAN (2006) define Análise do Ciclo de Vida (ACV) como uma ferramenta que permite ser utilizada visando avaliar os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade e que a metodologia da ACV é composta de quatro componentes: **Definição de objetivo e escopo, Inventário do Ciclo de Vida (ICV), Avaliação de Impacto e Interpretação.**

A SETAC (Society for environmental Toxicology and Chemistry), Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental, entre outras instituições, desempenha um papel preponderante para o desenvolvimento da metodologia da ACV- configura-se atualmente como um dos mais conceituado fórum de discussão para os muitos aspectos correlacionados à referida metodologia em âmbito mundial. A realização de um Workshop pela SETAC em 1990 auxiliou a estabelecer consenso, e definir termos e a estrutura da ACV.

Com a criação do Comitê Técnico em 1993 pela International Organization for Standardization (ISSO) TC 207, em especial o subcomitê SC05, é criada a série de normas ISSO 14040, voltada para a normalização de estudos em ACV. Desde então, diversos estudos vêm sendo realizados para avaliar os impactos ambientais de produtos ou serviços.

Em 1994 é criado junto a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Grupo de Apoio a Normalização Ambiental (GANNA) com a finalidade de acompanhar e analisar os trabalhos do Comitê Técnico 207 (CT-207).

No ano de 1997 é editada a norma ISO 14040, sobre ACV. Essa norma, posteriormente, traduzida e lançada pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2001). Esta detalha a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos da avaliação do ciclo de vida. Esta norma define que o ciclo de vida de um produto corresponde a todos os estágios sucessivos e encadeados de um dado sistema de produto, desde a retirada da matéria prima ou geração de recursos naturais à disposição final.

A ACV é ferramenta que permite avaliar aspectos ambientais, de produtos ou serviços de uma organização que interagem como o meio ambiente, e os impactos potenciais relacionados a esses produtos ou serviços por todo seu ciclo de vida face à compilação das entradas e saídas do sistema de produto em estudo, a avaliação dos impactos ambientais referentes a estes fluxos, e por fim a avaliação de impactos e interpretação de resultados de acordo com os objetivos do estudo. Neste mesmo ano é lançado no Brasil o livro intitulado “Análise do Ciclo de Produtos por CHEHEBE, e o Centro de Tecnologia de Embalagens (CETEAL/ITAL) inicia o Projeto de Análise de Ciclo de Vida de Embalagens.

Com o objetivo de elaborar as Normas Brasileiras de ACV e melhorar o desempenho ambiental e a competitividade das empresas nacionais a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou em 1999, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38).

Em 2002 é criada a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV) e em 2007 o Brasil realiza em São Paulo a 2ª Conferência Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida – CILCA, 2007.

Mesmo dando-se maior enfoque à ACV em 1990, as primeiras tentativas de se avaliar o potencial de impacto ambiental de produtos ocorreram nos anos 60. Em 1965, com o objetivo de comparar tipos de embalagens para refrigerantes e determinar quais delas causariam menores impactos ambientais, a Coca-Cola realizou um estudo por meio do instituto de pesquisa MRI (Midwest Research Institute). Este estudo ficou conhecido como REPA (Resource and Environmental Profile Analysis).

O estudo desenvolvido por MRI, em 1974, para a EPA (Environmental Protection Agency) é referenciado como um marco para o que conceituamos atualmente como Análise do Ciclo de Vida (ACV). Este estudo consiste no aprimoramento do estudo conhecido como REPA realizado anteriormente para a Coca-Cola.

O Ministério de Meio Ambiente da Suíça, no início dos anos 90, tendo como referencia a metodologia REPA contratou um estudo sobre materiais para embalagens que gerou um banco de dados. Surgindo, a partir deste banco de dados, o primeiro software para a realização da ACV, o Ökobase I e II (CHEHEBE, 1997).

Diversos estudos relativos aos combustíveis foram realizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Com a crise de petróleo no início da década de 1970, tanto o governo dos Estados Unidos como da Inglaterra ampliaram a realização de estudos de análises de energia da indústria.

Nessa ocasião a nível mundial, intensificam-se as pesquisas em fontes alternativas de energia visando substituir derivados de petróleo. No Brasil, por sua vez, é introduzido o PROALCOOL (1975).

Outra avaliação desenvolvida por Hunt, ainda em 1974, comparou nove diferentes tipos de recipientes para bebidas.

O esforço concentrado no estudo da ACV foi sendo reduzido na segunda metade da década de 70 com a aparente superação da crise de petróleo. O interesse pela ACV foi renovado quando na década de 80 o “Movimento Verde” na Europa trouxe a discussão a público tendo como base temas sobre reciclagem (CURRAN, 2006).

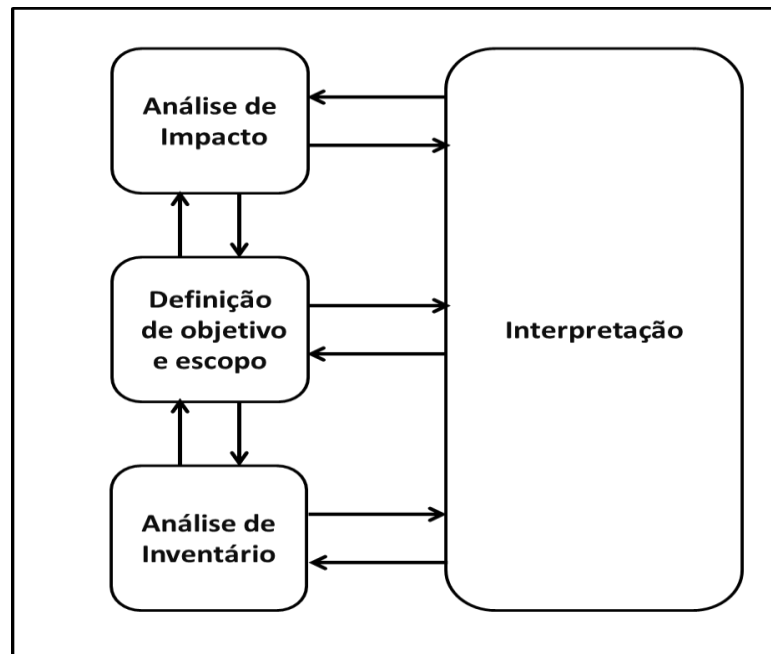
No primeiro momento, os únicos interessados pela ACB eram os empresários e alguns cientistas e pesquisadores dos Estados Unidos e Europa.

Em 1985, as empresas de embalagens de alimentos da Europa foram obrigadas a monitorar o consumo de matérias primas e energia e a geração de resíduos sólidos por força de uma Diretiva da Comunidade Européia (CHEHEBE, 1997).

Atualmente, com a criação de grupos de pesquisa em ACV no Brasil e no mundo, o estabelecimento da Life Cycle Initiative (Iniciativa do Ciclo de Vida) pelo Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (PNUMA) E A Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental, busca-se aprimorar a ACV e reduzir as incertezas referentes as inúmeras fases da técnica.

#### **4.7.1 – Estrutura do método ACV**

Conforme a norma NBR ISSO 14040 (ABNT, 2001) a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) deve envolver quatro fases de estudos compostas da definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados (Figura 3).



**Figura 4** – Esquema de avaliação de ciclo de vida.  
**Fonte:** Elaboração própria, adaptado de ISO 14040, 1997.

#### 4.7.2 – Definição de Objetivo e Escopo

A definição de objetivos e escopo da ACV aponta a proposta do estudo, o produto esperado, as condições de fronteira e as suposições. Esta fase do estudo compõe o processo de análise porque o estabelecimento das fronteiras e a definição do sistema de ciclo de vida específico a ser estudado é a etapa fundamental para qualquer estudo de ACV.

A atenção cada vez crescente no campo da ACV nos últimos anos tornou-se um catalisador para os pesquisadores terem maior clareza desta etapa da ACV (CURRAN, 2006). O objetivo e o escopo se constituem elementos cruciais de um estudo de ACV.

##### 4.7.2.1 – Definição do Objetivo

O objetivo de um estudo de ACV precisa estabelecer, sem ambiguidades, a aplicação pretendida, os motivos para conduzir o estudo e o público alvo, ou seja, para quem se espera comunicar os resultados da pesquisa.

##### 4.7.2.2 – Definição de Escopo

A ACV é uma técnica iterativa. Este método contempla a possibilidade de revisão do planejamento inicial. O conteúdo mínimo de uma ACV deve considerar três dimensões: a extensão, a largura e o nível de detalhes da ACV, ou seja, onde iniciar e parar, quantos e quais subsistemas incluïrem e o nível de detalhes de estudo da ACV (CHEHEBE,1997). As referidas dimensões precisam ser compatíveis e suficientes para responder aos objetivos do estudo definidos. A Figura x mostra as dimensões relacionadas ao estudo de ACV.



**Figura 5.** Dimensões de avaliação de ciclo de vida. Adaptado de Queiroz, 2011.

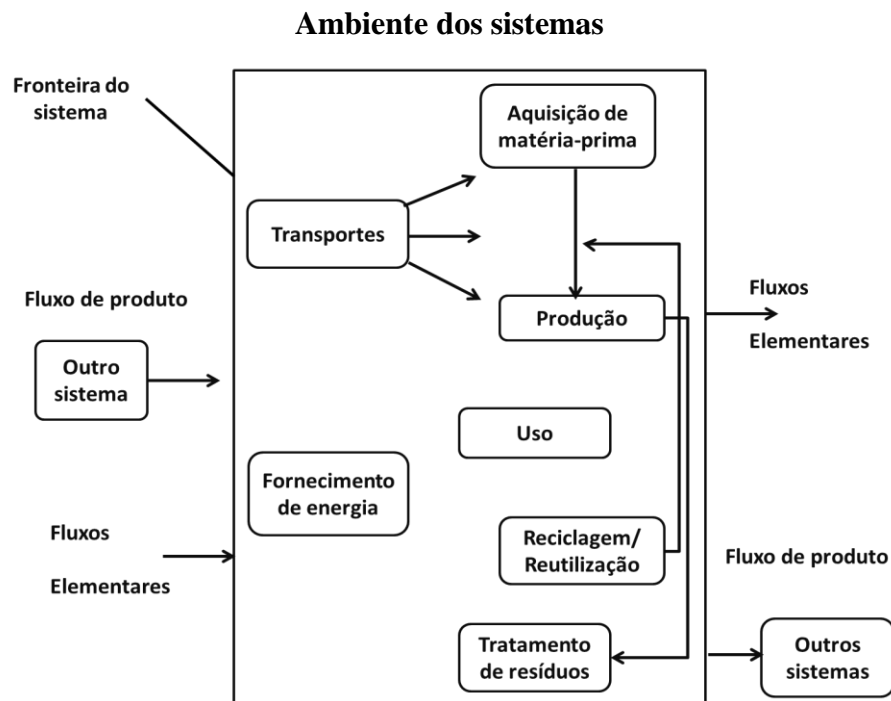
No decorrer da análise visando atingir os objetivos estabelecidos inicialmente no estudo, vários aspectos considerados ao longo da pesquisa podem sofrer alterações. Limitações e restrições, não previstas anteriormente ou informações adicionais podem influir inclusive na revisão do objetivo. Neste caso, torna-se recomendável documentar as mudanças realizadas e suas respectivas justificativas. (ABNT, 2001).

Em relação ao escopo de estudo de ACV é necessário incluir e descrever em detalhe ou claramente o sistema de produto, a função do produto ou serviço, a unidade funcional, o fluxo de referência, as fronteiras do sistema de produto, os procedimentos de alocação e os requisitos de qualidade de dados.

#### **4.7.2.3 – Sistema de Produto**

O sistema de produto é definido como um conjunto de processos elementares, ligados por fluxos de produtos intermediários, que realizam uma ou mais funções definidas. A figura 4 ilustra um exemplo de um sistema de produto. Uma descrição de sistemas de produto inclui

processos elementares, fluxos elementares, fluxos de produtos através da fronteiras do sistema (para dentro do sistema ou para fora dele) e fluxos de produtos intermediários dentro do sistema (ABNT, 2004).



**Figura 6.** Sistema de produto para análise de ICV. Adaptado de Queiroz (2011).

A característica de maior importância de um dado sistema de produto é a sua função. Não pode ser definida unicamente tendo como base os produtos finais.

O processos elementares ou unidade de processo que configuram os sistemas de produtos são interconectados uns em relação ao outro, através de fluxos de produto intermediários ou resíduos para tratamento a outros sistemas de produto por fluxo de produto e aos fluxos elementares referente ao meio ambiente. Estes são as menores porções dentro da estrutura sistêmica de produtos para o qual são coletados dados quando é desenvolvida uma avaliação do Ciclo de Vida.

#### 4.7.2.4 – A função do produto

A função do produto define claramente a especificação (característica de desempenho) do produto. O objetivo e o escopo do estudo de ACV é que determinam a escolha da função do produto. Quando se realiza uma análise comparativa os produtos avaliados devem exercer a mesma função.

#### 4.7.2.5 – Unidade funcional

A unidade funcional define a quantificação da função do produto identifica com proposito de fornecer uma referência com relação à qual os dados de entrada e saída são padronizados ou normalizados. Além de claramente definida, a unida funcional deve ser quantificável e consistente com o objetivo e escopo do estudo.

#### **4.7.2.6 – Fluxo de referência**

É o resultado da mensuração do produto que é necessário para cumprir a função tomando por base a unidade funcional.

#### **4.7.2.7 – Fronteira do Sistema do Produto**

As fronteiras do sistema determinam s unidade de processo que devem ser incluídas na análise.

O meio ambiente envolve a fronteira de um sistema de produto. As entradas no sistema de produto são recursos naturais, incluindo recursos energéticos e materiais. A saída são recursos materiais e energéticos liberados para o ambiente sob a forma de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos segundo CURRAN, (2006).

O ideal seria que o sistema de produto fosse modelado de modo que as entradas e saídas relacionadas a fronteira fossem fluxos elementares. No entanto, na maior parte das situações há limitações de tempo, recursos e informações que não permitem um estudo mais abrangente. Devem ser selecionados os processos elementares e o nível de detalhe que serão estudados. Entradas e saídas que não mudarão de forma substancial as conclusões globais do estudo não devem ser consideradas ( ABNT, 2004).

A norma internacional ISO 14040 (1997) defende que a ACV é um método que está em processo de desenvolvimento e deve envolver estágios em seu processo. Os componentes, definição e escopo, que constituem o primeiro estágio são a razão principal para conduzir tal estudo, seu alcance, limites e unidade funcional, metodologia e procedimentos entendidos como cruciais para a garantia da qualidade da análise pretendida. Na realidade, as hipóteses definidas, os limites do estudo e os requisitos da qualidade dos dados iniciais são fixos.

Em relação ao inventário, por sua vez, realiza-se a coleta dos dados e a quantificação das variáveis como matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, etc) desenvolvido ao longo do ciclo de vida do produto, processo ou atividade analisada. A determinação do fluxos de input e output que são considerados importantes é



referenciada num julgamento de valor. Este estágio da ACV é um processo iterativo. Já a avaliação de impacto caracteriza-se como um processo qualitativo e quantitativo de entendimento e avaliação dos impactos ambientais tendo como parâmetro os resultados obtidos na análise do inventário. Conforme reza a ISO 14040 (1997) e SRU 300, a avaliação de impactos pode ser subdividida nos seguintes estágios:

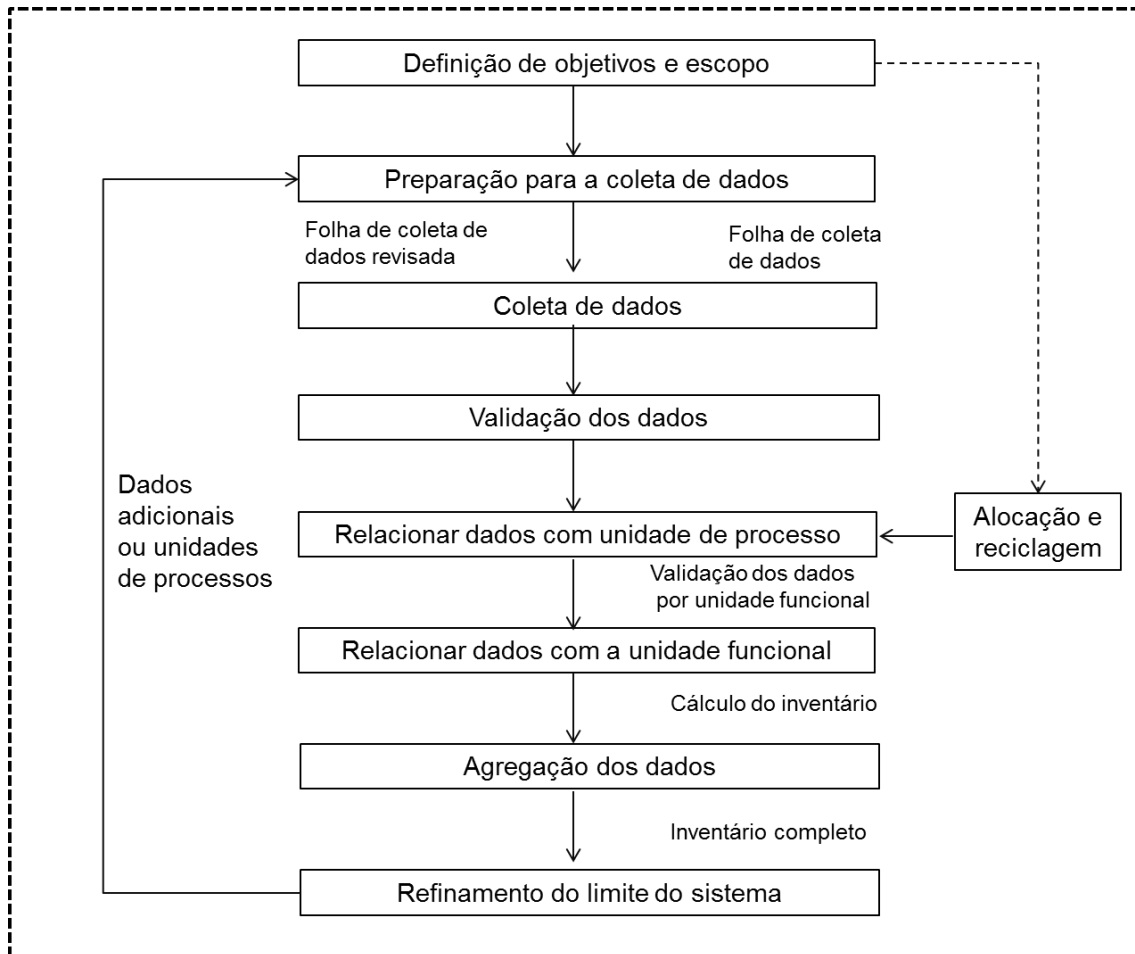
#### **4.7.2.8 - Inventário da ACV**

A ISO 14041 (1998) detalha sobre os requisitos e os procedimentos exigidos para a compilação e a construção da análise do inventário do ciclo de vida. Este estágio da ACV propõe-se, durante a análise, compilar em detalhes todas as entradas (input) e saídas (output); em relação a cada etapa do ciclo de vida, envolve os estágios da aquisição de matéria-prima, processamento e energia consumida, etc.

De acordo com a Norma Internacional, o Inventário do Ciclo de Vida abarca a coleta dos dados exigidos para atingir os objetivos definidos no estudo. De modo geral, o inventário é um amplo balanço de fluxos energéticos e de massa, envolvendo input e output dos dados em especial ao sistema a ser estudado e não uma avaliação dos impactos ambientais associados como tais dados. Logo, a interpretação dos resultados do Inventário do Ciclo de Vida não deve ser discutida visando produzir conclusões sobre os impactos ambientais relativos.

Encontram-se na literatura alguns termos e definições, referenciados na norma ISO 14040 (ISO 14041), que são fundamentais para se compreender a dinâmica do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), tais como, qualidade dos dados, fluxo de energia, análise de incerteza e outros. A qualidade dos dados depende da forma como a informação é obtida na busca de se contemplar os requisitos estabelecidos.

Em relação ao fluxo de energia, este abrange input e output de uma unidade de processo ou produto do sistema, ao quantificar as unidades de energia. É importante frisar que o fluxo de energia que é o input pode ser denominado de energia de input;



**Figura 7.** Etapas envolvidas durante a análise do ciclo de vida.

**Fonte:** ISO 14041 (1998).

Conforma a ISO 14041 (1998), o estágio relativo ao delineamento do inventário do ciclo de vida é muito complexo e requer um trabalho pormenorizado por vários motivos, que geralmente relacionam-se a ausência de dados confiáveis e a precisão necessária visando estipulá-los garantindo a qualidade do dado que está disponível.

#### 4.7.2.9– Interpretação

Nesta fase durante o processo de interpretação da Análise do Ciclo de Vida, torna-se importante realizar um pormenorizado estudo das hipóteses definidas durante a ACV, uma vez que o melhor entendimento dos resultados torna-se imperativo uma avaliação deles, como também, analisar os critérios adotados inicialmente. Todos os detalhes referentes à ACV serão agregados nesta etapa, indicando de que modo a análise será conduzida, os limites definidos para o sistema e as categorias de dados trabalhados.

Quanto menor é a acurácia dos dados em termos de qualidade utilizados na interpretação, maior torna-se o risco de tomar uma decisão equivocada. Isso implica que esta e outras questões precisam ser analisadas e empregadas como métodos a conduzir a avaliação de impacto e desenvolvimento da ACV conforme ISO 14043 (2000).

Nesta fase realiza-se a coleta de dados e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões atmosféricas, maquinários e implementos agrícolas, mão-de-obra).

O inventário do ciclo de vida é processo flexível, conforme a ABNT (2001). O processo de aquisição de dados permite entender mais detalhadamente o sistema de produto o que viabiliza a identificação de novos requisitos ou limitações para os dados que demandam uma alteração nos procedimentos de levantamento dos dados, de maneira que os objetivos do estudo ainda sejam contemplados.

#### **4.9 – Aplicações da ACV**

Com base no entendimento da análise do ciclo de vida (ACV) notou-se um vasto campo de aplicação, de modo sintético, pode-se mencionar algumas áreas, tais como, no campo de energia (RIBEIRO, 2003), Reciclagem e Sociedade (VIEIRA, PONTE, 2006), Agricultura (ZANGENEH et al., 2010; RAJAEIFAR et al., 2014), Uso do solo (LINDEIJER, 2000), Bioenergia (QUEIROZ, FRANÇA, PONTE, 2012; CAVALLET, 2008; WALTER et al., 2011).

Essas abordagens em distintos campos do conhecimento estão associadas ao intuito da aplicação dessa metodologia como, tomada de decisão em indústrias ou no governo, avaliação de produtos, e seleção de indicadores ambientais preponderantes visando a avaliação de desempenho no marketing de uma reivindicação de qualidade ou para rotulagem ambiental (Vieira, 2006).

Nesta abordagem, foram destacadas categorias distintas, tais como os custos econômicos, energético e ambiental (emissões de CO<sub>2</sub>) provenientes da queima de combustível e uso do solo para uma análise mais abrangente da ACV. Para isso, a pesquisa pretende aplicar uma abordagem desta metodologia integrando as emissões de CO<sub>2</sub> do solo que não são contabilizadas pelo método visando obter mais indicativo no intuito de facilitar no entendimento da eficiência das operações agrícolas com base nos parâmetros, anteriormente mencionados, visando identificar os pontos críticos ao longo das etapas da

produção agrícola do grão de soja sob os modelos de cultivo analisados para otimizá-los para, a partir daí, torna-los mais sustentáveis na sua operação.

#### **4.9 – Mudança no uso do solo**

O uso do solo em abordagem com base na análise do ciclo de vida, raramente, são realizadas. E a importância dessa categoria de impacto, recentemente, tem recebido uma atenção especial. Há ainda uma considerável falta de definição, no entanto, em relação aos quais os parâmetros devem ser considerados e, como resultado, a abordagem específica a ser realizada. A falta de indicadores adequados de impacto e escassez de dados têm sido algumas das causas. Nos primeiros estudos de ACV, uso da terra tem sido interpretada como a demanda por espaço, sem qualquer consideração a ser dada à qualidade do solo ou os efeitos perturbadores produzidos pela atividade que está sendo realizada nele. Hoje em dia, há algum consenso para considerar mudanças na qualidade e sustentabilidade da terra.

O uso da terra é uma das categorias de impacto deste recurso em ACV. Área do terreno é um importante recurso limitado; é especialmente relevante para incluir o uso da terra em estudos de produção agrícola e florestal. O impacto do uso da terra, no entanto, escassos são os trabalhos que incluem o uso da terra em estudos de ACV, decorrente de um método de abordagem definido. Não há acordo em vigor sobre como descrever o uso da terra em um inventário de análise e as análises atuais se concentram em fluxos energéticos e materiais WEIDEMA E LINDEIJER (2001).

Diante de uma população, cada vez mais, crescente, o acesso à terra agrícola é cada vez mais limitado e uso sustentável da terra é vital. Métodos intensivos que empregam pesticidas e fertilizantes químicos industriais pode produzir um maior retorno e, conseqüentemente, o uso mais eficiente da terra, ao mesmo tempo mais extenso cultivo requer grandes áreas de terra. É importante, no entanto, que seja dada atenção não só para a superfície utilizada, mas também para fazer uma avaliação da qualidade e da sustentabilidade do uso da terra. Além de ser um recurso importante no processo de produção, terras agrícolas também cumpre outras funções. Ela é necessária para a absorção de emissões antropogênicas, ou seja, as emissões da indústria, do tráfego e da agricultura. A gestão agrícola também cumpre a importante função garantir que as atividades sejam desenvolvidas de forma racional e/ou sustentável.

O uso da terra incluída na ACV tem sido abordado por vários pesquisadores, sugerindo diferentes abordagens; para a classificação exemplo do uso da terra tem sido sugerido. As distinções foram feitas entre os diferentes tipos de solo e diferentes atividades sobre a terra, como o cultivo de terras aráveis. De acordo com WEIDEMA E LINDEIJER (2001), o uso da terra abrange uma

variedade de aspectos que devem ser incluídos na avaliação do ciclo de vida de diferentes maneiras: ocupação área, indicadores que apontem a degradação e transformação do solo e impacto na biodiversidade.

O nível de detalhe em um estudo do uso do solo deve, naturalmente, ser escolhido de acordo com o objetivo e escopo do estudo. Se o uso da terra pode ser esperado ser um dos principais impactos ou uma diferença importante entre as alternativas estudado, pode ser necessário realizar uma investigação completa; caso contrário, simples classificação do uso do solo pode ser suficiente. Neste estudo optamos por uma abordagem bastante detalhada que, embora adequado para o propósito do estudo, também pode ser visto como uma tentativa de identificar os indicadores mais relevantes da sustentabilidade do uso do solo agrícola. Os resultados podem servir de base para um método de classificação de terras simplificada com base nos indicadores selecionados.

WEIDEMA E LINDEIJER (2001) discutem a avaliação quantificada dos impactos físicos do uso da terra em termos de indicadores de substância biogeoquímica e ciclos de energia, produtividade do ecossistema, biodiversidade, valor cultural e de migração e dispersão.

De modo geral, a avaliação de impacto relacionado com a ACV está sendo associada com a área de terra que está sendo utilizada, geralmente em combinação com o tempo necessário para produzir um determinado produto. Esses dados são geralmente combinados com qualificações do tipo de terreno alterado ou em uso. A justificativa para isso é que a área e o tempo necessário para produzir uma determinada saída revela algo sobre a efetividade do uso do solo ou a produtividade, ao passo que a indicadores que apontem o impacto ambiental decorrente da mudança no uso do solo são extremamente escassos na literatura. Lidar com a qualidade do uso da terra é considerada como a parte de avaliação do impacto de uma avaliação. Informações sobre a qualidade do solo deve, contudo, ser indicado no inventário, em conjunto com a área e informação de tempo.

#### **4.10 – Emissões de CO<sub>2</sub> do solo**

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema (Bruce et al., 1999), por armazenar, em média, 2,8 vezes mais carbono do que a biota e 2 vezes mais do que a atmosfera (Lal, 2004a). Porém, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera tem aumentado, principalmente, em virtude do grande consumo de combustíveis fósseis e pelo desflorestamento (Cerri et al., 2004).

Neste sentido, os fatores que aumentam as entradas de C e/ou diminuem a respiração do solo, irão favorecer o acúmulo de C, criando um dreno de CO<sub>2</sub> atmosférico (Smith & Conen, 2004). Os processos de influxo e efluxo de C do solo dependem das práticas de uso e manejo do solo, dentro dos limites impostos pelas condições climáticas e edáficas (Frank et al., 2006). O influxo de C pode ser definido como a remoção líquida de CO<sub>2</sub> da atmosfera e seu armazenamento em diferentes compartimentos, como, por exemplo, terrestre (Lal, 2004b).

No solo o CO<sub>2</sub> é produzido a partir da componente heterotrófica e autotrófica. O mais importante é o heterotrófico que pode ser subdividido em dois subgrupos: os microorganismos do solo (bactérias, fungos, actinomicetos e protozoários) e a macrofauna do solo (invertebrados macroscópicos e pequenos mamíferos) (Kuzyakov, 2006).

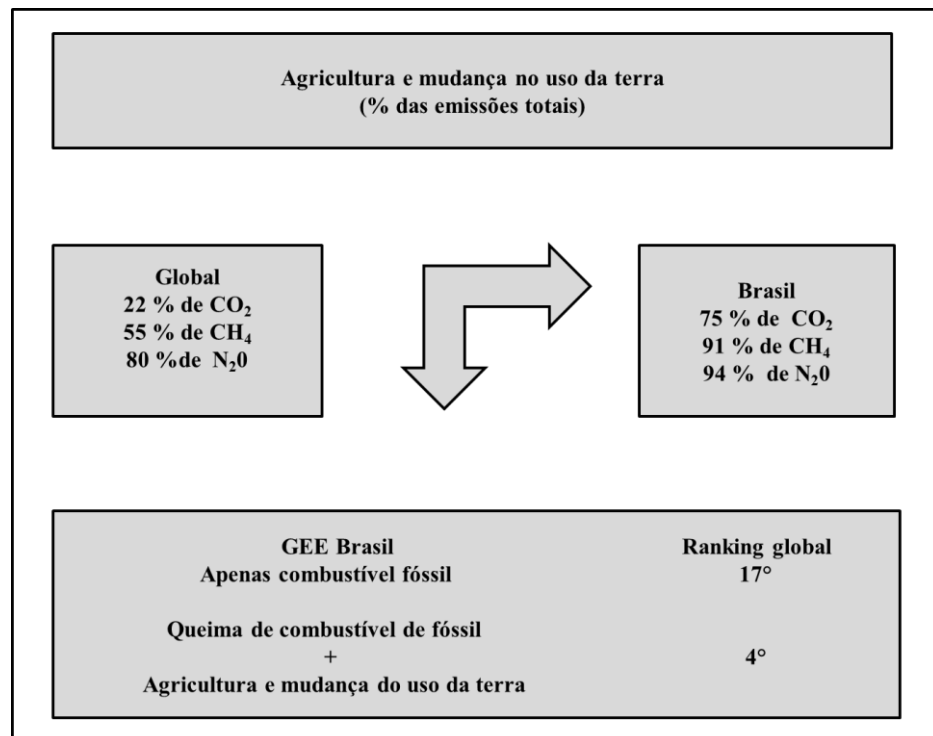
Essa componente do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo é denominada como respiração microbiana. Embora a contribuição direta da macrofauna do solo seja pequena, a respiração microbiana poder elevar bastante, não apenas pela fragmentação e pela pulverização de resíduos das plantas, mas pela predação de alguns grupos de microorganismos. Isto acelera a taxa de retorno e resulta no aumento do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo (Kuzyakov, 2006).

As contribuições autotróficas das plantas são as mais importantes para o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo pela respiração das raízes. Segundo KUZUYAKOV (2006), somente três locais de produção do CO<sub>2</sub> são importantes: nas raízes fora do solo, nas raízes dentro do solo e no horizonte O (camada orgânica superficial). Essa separação foi baseada em diversos estudos, que mostraram os processos que contribuem para a produção do CO<sub>2</sub>, que são alterados extremamente na presença das raízes crescentes. Além disso, o horizonte O, que conte os resíduos de plantas mortas na superfície, e que frequentemente contém uma grande quantidade de raízes vivas, é extremamente importante para o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo.

A agricultura, através de práticas como o desflorestamento, preparo do solo, calagem e irrigação, têm causado decréscimo no teor de C do solo, decorrente do aumento da taxa de mineralização da MOS (SCHLESINGER, 1999; CERRI et al., 2001; READ et al., 2001). Paustian et al. (2000) destacaram que a conversão de vegetação nativa em sistemas de produção agrícola, geralmente resulta na redução da MOS.

E nesse cenário, o Brasil desempenha papel importante nessas emissões figurando na 17º lugar na classificação mundial dos países emissores de GEE, se não incluirmos nesse

processo o desmatamento. Ao passo que, ao envolvermos no processo essa atividade o país adquiri posição relevante ocupando o 4º lugar (Figura 2), pois a mudança no uso da terra é a principal responsável por este aumento de emissão, que representa cerca de 91% de CH<sub>4</sub> e 94% de N<sub>2</sub>O (CERRI et. al., 2007).



**Figura .8** Padrão de emissões de CO<sub>2</sub> a nível mundial e no Brasil. Adaptado de Cerri et al.(2007)

Os principais fatores que afetam as emissões de CO<sub>2</sub> são as temperaturas do ar e do solo e o teor de umidade do solo (Janssens et al., 2001; Costa et al., 2008b; Chavez et al., 2008), que apresentarão diferentes comportamentos conforme o manejo empregado no sistema de produção.

Neste contexto, o preparo convencional (PC) do solo, composto por intensas atividades de revolvimento, ocasiona o rompimento dos agregados do solo, expondo parte do C protegido no seu interior, tornando-o suscetível a mineralização (BRONICK & LAL, 2005; WRIGHT & HONS, 2005), além de promover um maior contato solo-resíduos e aumentar a temperatura do solo, que favorecem a decomposição da MOS e conseqüentemente as emissões de C-CO<sub>2</sub> (BAYER ET AL., 2000A; LAL, 2003; LISBOA ET AL., 2006).

Durante a decomposição da MOS, que é composta por 58% de C, os microrganismos utilizam o carbono que necessitam para a síntese de biomassa e o restante perde-se por respiração (SIX et al., 2006). LINN & DORAN (1984), verificaram que a atividade

microbiana do solo é limitada pela restrição de difusão de  $O_2$  através dos poros, quando o solo encontrasse muito úmido, e limita também na condição seca, devido à restrição da solubilidade de substratos de carbono orgânico (ZANCHI et al., 2002). O preparo também reduz temporariamente a densidade do solo, aumentando a porosidade total, promovendo condições favoráveis à decomposição da MOS (Sartori et al., 2006). Lovato et al. (2004), estimam que a adição anual de carbono em PC necessária para manter o estoque original de carbono orgânico total é superior a 100% do requerido pelo PD.

Contudo, os sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno biológico de C- $CO_2$  atmosférico e mitigação do aquecimento global (CERRI et al., 2007; ZANATTA et al., 2007; COSTA et al., 2008A). O PD, por reduzir o revolvimento do solo e por necessitar ser associado à rotação de culturas, com inclusão de culturas de cobertura, apresenta balanço positivo de carbono no solo no Brasil (Amado et al., 2006; Costa et al., 2008a). Cerri et al. (2007), descrevem que os solos brasileiros acumulam, em média,  $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

Já algumas pesquisas no sul do Brasil, comparando o PD com o PC, indicam o sequestro de C variando de 0,12 a  $1,6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Amado et al., 2006). Além disso, sistemas envolvendo pastagens perenes também têm sido apontados como recuperadores do teor de carbono do solo (Jantalia et al., 2006a).

Verificando diversos trabalhos, encontraram-se resultados distintos quanto à magnitude das emissões de  $CO_2$  em PC e PD. Comparando os sistemas de preparo convencional e o plantio direto, são reportadas maiores emissões em PC (Reicosky et al., 1997), em PD (Chavez et al., 2008) e emissões similares (Campos, 2006; Costa et al., 2008a). Esta variedade de resultados sugere que os efeitos do preparo nas emissões de  $CO_2$  dependeram de outros fatores, que variam de local para local, assim como o tipo de solo (Liu et al., 2006).

## **5 – METODOLOGIA E DADOS SUBSIDIÁRIOS**

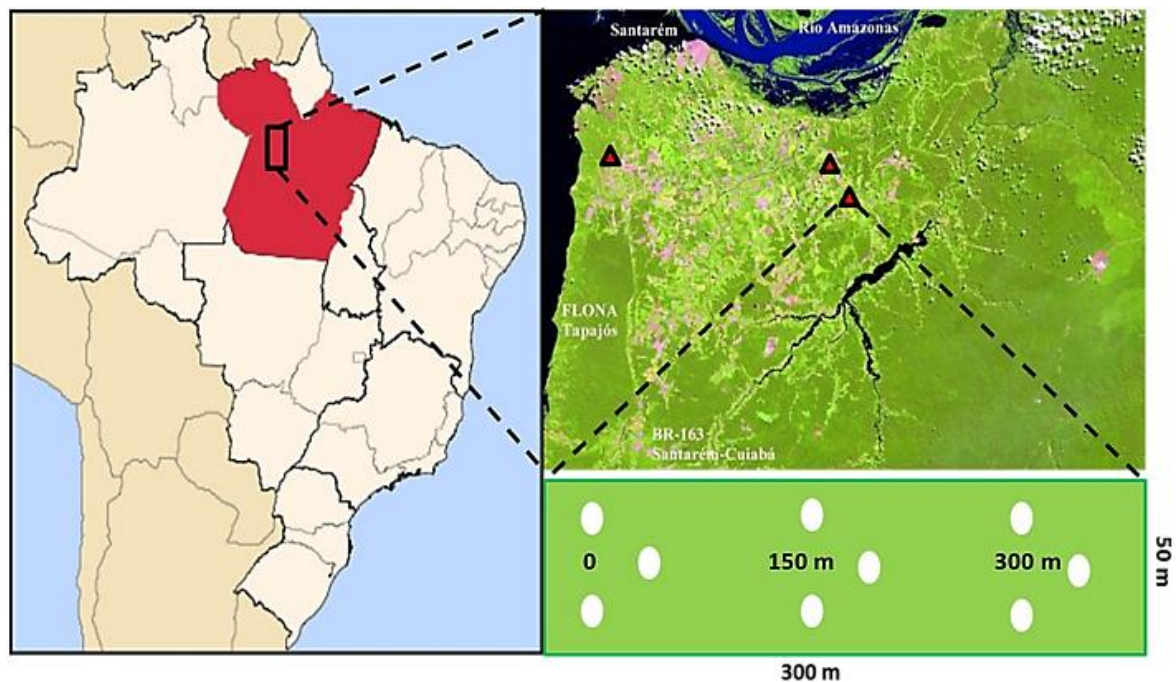
Neste tópico será descrita a localização e as características onde será conduzido o estudo. O objeto da pesquisa abrange os municípios de Santarém, Belterra e Mojuí na Região Oeste do Pará.



## 5.1 – LOCALIZAÇÃO, POPULAÇÃO E ÁREA

Nesta região todos os municípios, Santarém, Belterra e Mojuí, focos da pesquisa estão localizados no Oeste do Pará. De algum modo, estes municípios sofrem a interferência do processo de expansão agrícola de grãos (soja – plantio direto e convencional) no entorno da BR-163.

O estudo será conduzido em áreas localizadas na região oeste do Pará, abrangendo os municípios de Santarém e Belterra, pois constituem-se importantes polos de produção de grãos nesta região. Nessas áreas, também, verifica-se um gradiente de intensificação do uso da terra incorporando dentro da atividade agrícola dois modelos de cultivo ( plantio convencional e direto).



**Figura 9.** Localização das áreas distribuídas nos municípios selecionados.

**Tabela 4.** Dados de População e Área da Unidade Territorial

Municípios	População (mil hab.)	Área (Km <sup>2</sup> )
Santarém	294.580	22.887.080
Belterra	16.324	4.398 41

*SANTARÉM*

Dentre alguns municípios Santarém destaca-se como “capital regional” da mesorregião da Amazonia. Sua área é de 22.887.080 km<sup>2</sup> e sua população de 294.580 habitantes (IBGE, 2010). figura como o segundo município de maior relevância na Região Oeste do Pará o que o coloca como principal centro socioeconômico do Estado. Encontra-se na confluência dos rios Tapajós e Amazonas, localiza-se a uma distância, aproximada de 800 km de Belém, capital do estado do Pará.

### **BELTERRA**

O Município de Belterra localiza-se ao Norte do Brasil no coração da Amazônia na Região Oeste do Pará e compõe a mesorregião do Baixo Amazonas microrregião de Santarém. Com uma extensão territorial de 4.398 41 km<sup>2</sup> e uma população de 16.324 habitantes de acordo com o Censo (IBGE, 2010).

Algumas informações foram definidas considerando os municípios associados às áreas de estudo, conforme específica a Tabela 5.

**Tabela 5.** Especificação das áreas de estudo e seus respectivos transectos (uso da terra).

UP	Uso da terra	Extensão da área (hectare)	Histórico	Uso prévio	Coordenadas geográficas (Lat/long)
<b>JM</b>	Campo agrícola (Plantio convencional e direto)	450	-8 anos de cultivo de soja sob preparo convencional- Preparo direto (rotação soja/milho)	Pastagem	<b>-54°29'57.6 W</b>
					<b>-2°43'18.54 S</b>
<b>F</b>	Campo agrícola (Plantio convencional e direto)	600	7 anos de cultivo de soja sob preparo convencional	Pastagem	<b>-54°29'33.2 W</b> <b>-2°44'19.11 S</b>
<b>PS</b>	Campo agrícola (Plantio	400	7 anos de	Pastagem	<b>-54°29'57.5 W</b>

convencional e direto)	cultivo de soja sob preparo convencional	-2°44'20.87 S
---------------------------	--	---------------

## 6 – PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE GRÃOS (soja – plantio direto e convencional) NOS MUNICÍPIOS DE SANTARÉM E BELTERRA, OESTE DO PARÁ.

Os valores sumarizados na tabela 6 são referentes às informações gerais da produção dos principais grãos produzidos no Oeste do Pará nas unidades produtivas localizadas na região de estudo. Esses dados de produção são referentes à safra 14/15.

O cultivo de grão de soja é o mais importante na região de estudo. A tabela expressa alguns dados relativos a essa oleaginosa no que tange a área colhida, plantada, produção em toneladas, o rendimento médio em kg por hectare e, por último, o valor da produção em reais, conforme especifica a tabela.

**Tabela 6.** Valores médios da produção soja no Oeste do Pará (Santarém e Belterra)

Características gerais de produção	Soja
Área colhida (ha)	14.660
Área plantada (ha)	14.660
Quantidade produzida (ton)	43.980
Rendimento médio (kg/ha)	3.000
Valor da produção (R\$)	43.980

Fonte: (IBGE, 2015)

## 7 – NATUREZA: CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

### **7.1 – Solo**

Nas áreas de estudo os solos predominantes são classificados como Latossolos amarelos distróficos que ocorre em condições de relevo plano a suavemente ondulado e sendo arenosa a bastante argilosa as condições de textura destes solos (MORAES et al., 1995).

### **7.2 – Clima**

As áreas de estudo é caracterizada, de modo geral, por um clima do tipo Ami – clima megatérmico tropical úmido, segundo a classificação de Köppen. Esta região encontra-se sob características gerais de clima quente úmido (Embrapa, 2001).

Valores médios anuais de temperatura, no município de Belterra, oscilam entre 25 a 28 °C, com registro de umidade relativa média do ar próximo de 86% em praticamente todos os meses do ano. Registra-se, neste município, uma precipitação total anual próximo de 1909 mm, sendo a média mensal da estação seca de 62,5 mm e 770 mm de média na estação úmida que abrange os meses de fevereiro a junho (INMET, 2010).

No município de Santarém, por sua vez, verifica-se uma variação mínima anual oscilando. Em termos de temperatura do ar, Santarém apresenta uma pequena variabilidade anual média oscilando entre 25,4 °C e 27,1 °C. São predominantemente altos os valores de umidade relativa do ar ao longo de todo o ano, sendo 86,7 % o valor médio. A variável meteorológica que se verifica em condições de maior fluatibilidade anual é a precipitação pluvial, sendo esta região caracterizada por dois períodos bem distintos, sendo a estação úmida correspondente aos meses de dezembro a maio e a estação seca, que abrange os meses de julho a novembro (INMET, 2010).

### **7.3 - vegetação**

Segundo é descrito pela EMBRAPA (2001), as áreas de definidas para o estudo são caracterizadas por quatro distintas formações florestais como, floresta equatorial subperenifolia e cerrado equatorial subperenifolia de terra floresta equatorial higrófila de várzea e campos equatoriais higrófilos de várzeas, nas áreas sujeitas a inundação.

Nesta região observam-se, predominantemente, grandes formações florestais do continente. São áreas características de clima quente, com intensa puviosidade, evidencia-se o aparecimento dessa floresta densa, muito estratificada, possuindo espécies bastante

diversificada, sendo o vale amazônico o principal local de ocorrência dessas formações. A floresta equatorial subperenifolia é composta, especialmente, por espécies florísticas onde prevalecem espécies verdejantes, embora, as folhagens dessa vegetação são, em parte, reduzidas decorrente da estação seca. As árvores verificadas nesta porção florística podem atingir uma altura de até 50 metros de altitude. Segundo o INPE a região de estudo ainda preserva mais 90% do total de sua área em coberta por floresta primaria. Na área de mata, as espécies florestais de maior valor econômico estão deixando de existir, em consequência de constantes derrubadas, encontrando -se nas áreas de vegetação secundária o aparecimento de grande quantidade de babaçu (EMBRAPA, 2001).

#### **7.4 – Hidrografia**

A região é banhada, fundamentalmente, pelos rios Amazonas e Tapajós que são as rotas de grande importância para o desenvolvimento econômico por meio do escoamento dos grãos que são produzidos, sendo transportados pelas embarcações pequenas, médias e, até, de grande porte. A navegabilidade de navios de grande calado ocorre ao longo de todo o ano pelo rio Amazonas (Rocha, 2014; Embrapa, 2001).

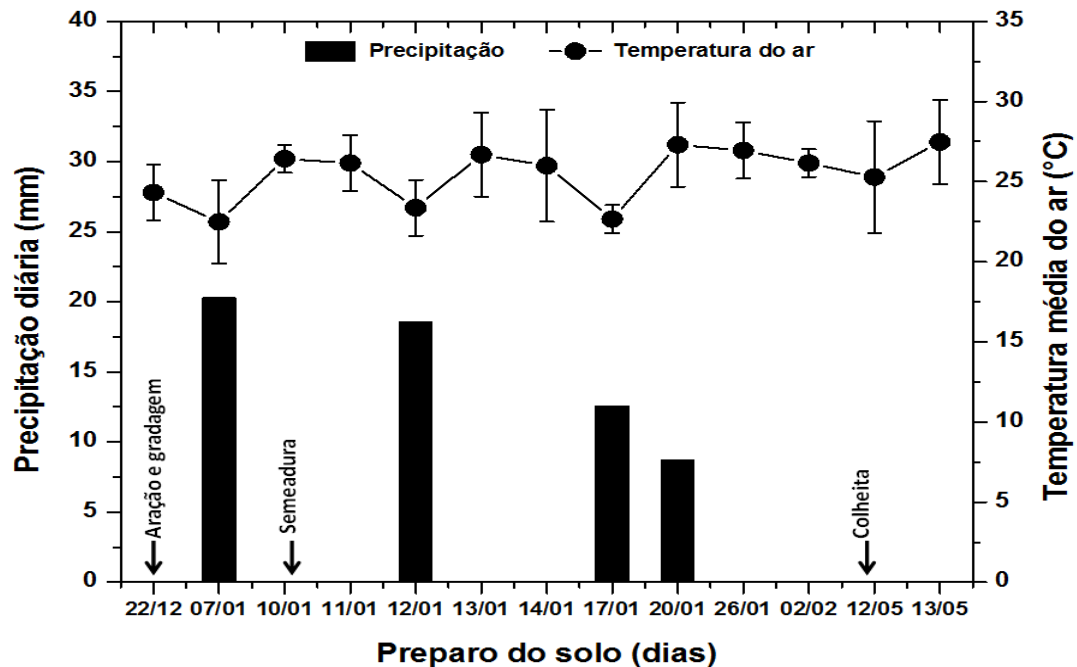
Na Região Amazônica, mais precisamente, no município de Santarém, localiza-se no Rio Tapajós o Porto de Santarém, verificando-se neste Rio uma via de acesso natural, abrangendo desde a sua foz no rio Amazonas até o cais do porto de Santarém, distando 3,1 km, com largura de 1,8 km e profundidade de 15 m. Uma conexão, através deste porto, se estabelece pela rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém) com o norte do Estado de Mato Grosso.

Além de outros municípios da região sofrerem forte influencia da dinâmica desta rota. O Rio Curuá-Una destaca-se, também, não por capacidade de navegabilidade nestas imediações, mas por se constituir uma relevante fonte energética, uma vez que a hidrelétrica de Curuá-Una, capaz de atender a demanda da região (ROCHA, 2014; EMBRAPA, 2001). Outros rios compõem essa malha pluvial, embora com menor volume, sendo utilizados no abastecimento da população rural da região. Todos estes rios desembocam suas águas para o rio Amazonas, tornando o rio Tapajós o afluente, em proporções, o maior e o mais importante.

#### **7.5 – Condições meteorológicas da área de estudo**

O regime diário de chuvas no período estudado é apresentado na Figura 1. As condições microclimáticas (temperatura e precipitação) registradas no período avaliado são

determinantes na realização dos processos como, aração, gradagem, semeadura e a colheita durante todo o preparo do solo em ambos os sistemas de manejo.



**Figura 10.** Distribuição da precipitação diária e variação da temperatura média do ar referente ao plantio direto (PD) e convencional (PC) durante o período de avaliação (22/12/2014 a 13/05/2016).

O solo seco é a condição propícia para que as etapas do preparo do solo sejam executadas de forma eficaz, portanto, nessas datas não foram registrados eventos de precipitação (figura 10).

Não foi evidenciada ocorrência de déficit hídrico, o que permitiu manter níveis adequados de umidade no solo, portanto é de se esperar que esta variável não seja limitante à atividade microbiana responsável pelo efluxo de C-CO<sub>2</sub>.

## 7.6– Cultura da soja (AS 3820 IPRO)

A variedade da soja adotada foi a AS 3820 IPRO, classifica-se como ciclo precoce, com altura compreendida entre 0,80 a 0,82 m e ciclo reprodutivo de entre 112 e 118 dias. Verificando-se, por outro lado, oscilação nesse ciclo devido às condições climáticas da região de Santarém, sem implicar significativamente na produção dessa cultivar. Essa cultivar foi selecionada por apresentar eficiência em termos de rendimento, tornando-a bem aceita pelos

agricultores da região Oeste do Pará. As sementes foram estocadas em espaço apropriado, ambiente climatizado, com tratamento a base de fungicidas, inseticidas e inoculantes.

O plantio foi realizado no dia 05 de janeiro de 2017, utilizando o sistema convencional e aplicando o  $P_2O_5$  no sulco. A cultivar foi plantada com uma população de 15 plantas por metro linear, considerando uma densidade de 310.000 plantas por hectare.

**Tabela 7.** Principais características da cultivar AS 3820 IPRO.

<b>Características</b>	<b>AS 3820</b>
Estande	242.000
Floração	40
Cor (flor)	Roxo
Cor (pubescência)	Cinza
Altura (Inserção)	16
Altura (planta)	82
Acamamento	2
Severidade (%)	3
Peso mil grão (g)	161,7
Produtividade (kg.ha-1)	3.874
Produtividade (sc.ha-1)	64,6
Colheita	112-118

Fonte: KONAGESKI, 2015.

## **8 – PROCESSO PARA A REALIZAÇÃO DA ACV**

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) será desenvolvida para fase agrícola dos grãos (arroz, milho e soja) objetivando a entender a dinâmica dos sistemas agrícolas em termos de fluxos energético-material, econômico e as emissões de  $CO_2$  do solo referente a cada etapa ao longo do processo produtivo.

Para cada etapa do processo será considerado os insumos energéticos e materiais na entrada (*input*). Na saída (*output*), por sua vez, de cada subsistema será analisada a produção energética dos grãos, custo econômicos e as emissões de  $CO_2$  do solo para cada fase das operações agrícolas.

### **8.1 - Definição de objetivo e escopo.**

#### **8.1.2 - Objetivo**

O objetivos desse estudo é a realização de Análise do ciclo de vida da produção de grãos ( soja) sob diferentes sistemas de cultivo e emissões de CO<sub>2</sub> do solo com intuito de contribuir com informações para um banco de dados regionalizado de inventário de ciclo de vida.

## **8.2 - Etapas do sistema agrícola – Soja – Plantio direto e convencional**

O ciclo de vida da produção de soja em rotação com o milho envolve somente as etapas de produção agrícola. As etapas do ciclo de vida da produção de soja sob plantio direto e convencional serão avaliadas seguindo o diagrama sistêmico conforme mostra Fig. São as seguintes:

### **8.2.1 – Preparo do solo;**

O inicio se dá com a caracterização do campo agrícola a ser plantado aliado com uma avaliação das características do solo, sendo Pedoforma e Pedoclima. No processo de planejamento diversos recursos tecnológicos são aplicados, sendo um deles, de maior eficiência que é o levantamento topográfico associado com as análises climáticas históricas, pluviosidade, características edáficas, análises químicas (Embrapa, 2012).

### **8.2.2 – Semeadura;**

A fase de cultivo da soja é, dentro do processo, o de maior importância ao longo de toda a atividade produtiva. O modo como será conduzido o cultivo isso implicará na eficiência do cultivo. Verificam-se dois modelos de produção, o de plantio convencional – preparo do solo ocorre de modo convencional, no qual, o maquinário é utilizado de modo intensivo - e o de Plantio Direto (sistema agrícola que prescinde da mobilização do solo pelas máquinas e mas ocorre a dessecação com herbicidas das plantas existentes no campo uns 30 dias antes do plantio com formação de palhada) (Embrapa, 2012).

### **8.2.3 – Tratos culturais e;**

Esta etapa da fase agrícolas é subsequente ao processo de plantio ( Embrapa, 2012) e antecede a fase de colheita durante o cultivo da cultura. A capina é um dos processos relacionados a esta fase (pode ser de três formas mecânica ou manual, física ou química; as pulverizações para o controle de doenças ou pragas; pulverização de fertilizantes e as adubações de cobertura).



Nesta fase ocorre a aplicação de defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas e fungicidas).

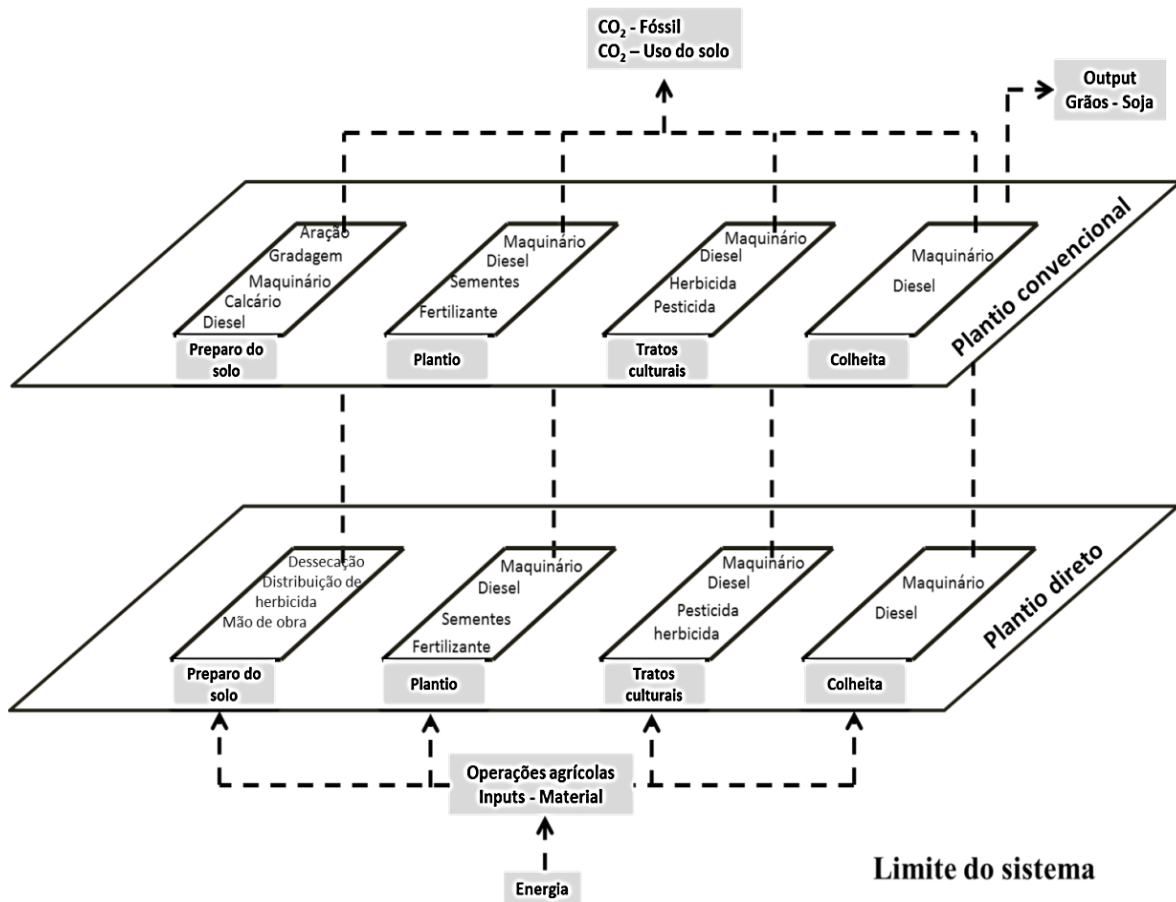
#### **8.2.4 – Colheita.**

Esta fase é fundamental ao longo de todas as etapas da produção de grãos. A colheita representa a última etapa do processo de cultivo considerando apenas a lavoura da soja e, portanto, importante no processo de análise.

O diagrama sistêmico de um sistema de produção de soja é ilustrado na **Figura 11**. Este diagrama contém os principais componentes destes sistemas assim como as interações dos fluxos de massa e energia.

#### **8.2.5 – Caracterização das etapas agrícola.**

Com base no questionário tornou-se viável caracterizar as especificidades da etapa agrícola, no que tange a utilização de maquinários e as mais importantes intervenções agrícolas adotadas no processo do cultivo dos grãos. A partir do levantamento desses dados, foi possível elaborar um diagrama do ciclo de produção de dos grãos. O referido fluxograma expressa, de modo temporal, as operações agrícolas envolvidas nas diferentes etapas do processo produtivo da soja na Região Oeste do Pará.



**Figura 11.** Diagrama sistêmico da produção de grãos (soja) sob preparo convencional e plantio direto. Abordagem do berço ao portão. Adaptado de Koba et al., 2011.

### 8.2.6 – Fator de ajuste

Por se verificar variações temporais no processo de consumo de insumos e as práticas agrícolas ao longo da fase de produção dos grãos que podem ultrapassar o período de um ano como a safra, por exemplo, desta pesquisa. O caso, por exemplo, da aplicação do calcário onde seus efeitos perduram por longos períodos (acima de 1 ano). (Maciel, 2014).

Decorrente disso, as quantidades referentes às aplicações de calcário, diesel e emissões atmosféricas devem ser ajustadas. Soma-se a isso, o fato de haver outros insumos utilizados concomitantemente durante o processo de produção de grãos e, portanto, necessitam de serem ponderados consoante a frequência de substâncias usadas ao longo das intervenções.

Caracteriza-se por intervenção, neste contexto, o envolvimento no ciclo produtivo dos grãos através das operações agrícolas (preparo do solo, semeadura e plantio, tratos

culturais, colheita e consumo de um determinado insumo) (Maciel, 2014). Conforme isto posto, propõe-se adotar a equação 1.

$$FAi = \frac{1}{ns.a}(1)$$

**FAi:** fator de ajuste para intervenção em estudo;

**ns:** número de substâncias aplicadas;

**a:** intervalo entre aplicações em anos ( Maciel, 2014).

### 8.2.6 – Ajuste do consumo de diesel na utilização de maquinários agrícolas.

Essa diferença temporal nas operações agrícolas também se observa, no consumo de diesel e nas emissões devido à queima de combustível por meio do uso de maquinário agrícola durante as aplicações dos insumos. Além disso, conforme reporta Maciel, 2014, deve-se estar atento ao fato do consumo de diesel ser dependente do alcance associado a cada implemento agrícola utilizado. No processo de pulverização, por exemplo, um trator acoplado a um determinado implemento irá consumir uma quantidade de combustível diferente em relação a outro implemento com diferentes especificidades fato que irá interferir na distância percorrida por hectare.

Para isso, pode-se utilizar a equação 2 visando calcular o descolamento dos maquinários agrícolas por hectare.

$$Dpi = \frac{10}{tm}(2)$$

Onde,

**Dpi:** *distância percorrida (deslocamento) em i intervenções (km/ha);*

**tm:** *tamanho da haste (barra) do implemento (m).*

Podem-se adotar dois métodos para se estimar as emissões de CO<sub>2</sub> através das operações mecanizadas. Diante disso, torna-se importante optar por uma única forma de cálculo visando não ocorrer dupla contagem de emissões.

### 8.2.7 – Consumo de combustível

Conforme Maciel, 2014, as emissões de GEE são decorrentes de três fontes, no que tange, o consumo de combustíveis por meio do uso de maquinários agrícolas: trator

agrícola, caminhão para aplicar calcário e a utilização de colheitadeira (Maciel, 2014). As emissões geradas pela queima de combustíveis fósseis foram estimadas a partir da Equação 3 e fatores de emissão específicos para os diferentes GEE emitidos ( $F_{gi}$ ). Estes fatores são apresentados na Tabela 8.

$$E_{gi} = Q_d * FE \quad (3)$$

Onde,  $E_{gi}$  ( $\text{kg CO}_2\text{e.ha}^{-1}$ ) é a quantidade de  $\text{CO}_2\text{e}$  emitido a partir de um determinado maquinário ou intervenção,  $Q_d$  ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) é a quantidade de diesel consumido. Também, foi considerado que 30% da calagem é realizada por trator agrícola e 70% por caminhão aplicador de calcário (Maciel, 2014).

**Tabela 8.** Fatores de emissão por combustão de combustível fóssil por maquinários agrícolas.

Maquinário	Fator $\text{CO}_2$ ( $\text{kg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ Diesel)	Fonte
Trator	4,697	Janulevicius et al., 2013
Caminhão aplicador e Colheitadeira	3,179	MMA, 2011

**Fonte:** Adaptado de Maciel, 2014

### 8.2.8 – Aplicação de calcário

A aplicação de calcário é uma das operações agrícolas fundamentais na fase da agricultura. O quantitativo utilizado durante o preparo do solo é dependente da análise do solo, ou seja, as propriedades física e química do solo ditará o quanto se consumirá de calcário por hectare nas unidades produtivas.

A emissão de  $\text{CO}_2$  proveniente do consumo de calagem é quantificada por meio da equação 4.

$$\text{CO}_2 \text{ CALCÁRIO} = Q_{\text{Calcítico}} * FE_{\text{Calcítico}} + Q_{\text{Dolimítico}} * FE_{\text{Dolimítico}} * 44/12 \quad (4)$$

Onde,

$\text{CO}_2 \text{ CALCÁRIO}$  é a emissão de  $\text{CO}_2$  decorrente da aplicação de calcário no solo ( $\text{kg CO}_2$ );

$Q_{\text{CALCÍTICO}}$  é a quantidade anual de calcário calcítico ( $\text{CaCO}_3$ ) aplicado ao solo por ano (kg);

$Q_{\text{DOLOMÍTICO}}$  é a quantidade anual de calcário dolomítico ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) (Mg) aplicado ao solo por ano (kg);

**FE** é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

**44/12** é o fator de conversão de C para  $\text{CO}_2$ .

A Tabela 9 mostra quais são os fatores de emissão para uso do calcário. Esses fatores de emissão do calcário refere-se as duas formas calcítico e dolomítico ( IPCC, 2006).

**Tabela 9.** Fatores de emissão do calcário

Tipo de Calcário	Fator de emissão (%)
Calcítico	0,12
Dolomítico	0,13

Fonte: IPCC, 2006

### 8.2.9 – Aplicação de fertilizantes

A emissão de  $\text{CO}_2$  proveniente da aplicação de fertilizantes é quantificada por meio da equação 6.

$$\text{CO}_{2\text{N}} = Q_{\text{N}} * \text{FE}_{\text{N}} * 44/12 \quad (5)$$

Onde,

$\text{CO}_{2\text{N}}$  é a emissão de  $\text{CO}_2$  resultante do consumo de nitrogênio no solo (kg  $\text{CO}_2$ );

$Q_{\text{N}}$  é a quantidade de ureia aplicada ao solo (kg).

**Tabela 10.** Fatores de emissão do fertilizantes (N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Fonte de emissão	Fator de emissão médio	Unidade
Fertilizante nitrogenado	8,52	(kg CO <sub>2</sub> eq kg N <sup>-1</sup> )
Fertilizante fosfatado	0,73	(kg CO <sub>2</sub> eq kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>-1</sup> )
Fertilizante potássico	0,54	(kg CO <sub>2</sub> eq kg K <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )

Fonte: IPCC, 2006.

### 8.2.10. Aplicação de defensivos agrícolas

Os fatores de emissão dos defensivos agrícolas são associados à fase de produção e transporte desses químicos, também conhecido como a pegada de carbono do produto até a entrada na unidade rural. O uso destes produtos não acarretam emissões de GEE diretas na fazenda, e, portanto devem ser reportados como emissões indiretas de escopo 3, considerada como Tier 1 (IPCC, 2006).

Para se quantificar as emissões por meio das aplicações dos defensivos agrícolas utiliza-se a notação matemática abaixo:

$$E_{DA} = Q_{Herbicida} * FE_{Herbicida} + Q_{Inseticida} * FE_{Inseticida} + Q_{Fungicida} * FE_{Fungicida} \quad (6)$$

Onde,

$E_{DA}$  é a emissão de GEE associada à aplicação de defensivos agrícolas no solo (kg CO<sub>2</sub>e);

$Q_{HERBICIDA}$  é a quantidade de herbicida aplicado no solo (kg)

$FE_{HERBICIDA}$  é o fator de emissão de herbicida (kg CO<sub>2</sub>e /kg produto);

$Q_{INSETICIDA}$  é a quantidade de inseticida aplicado no solo (kg);

$FE_{INSETICIDA}$  é o fator de emissão de inseticida (kg CO<sub>2</sub>e /kg produto);

$Q_{FUNGICIDA}$  é a quantidade de fungicida aplicado no solo (kg);

$FE_{FUNGICIDA}$  é o fator de emissão de fungicida (kg CO<sub>2</sub>e /kg produto)

**Tabela 11.** Fatores de emissão para o uso de defensivos agrícolas

Defensivo agrícola	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> e/kg produto)
--------------------	--

Herbidas	10,26
Insetidas	16,68
Fungidas	10,11

Fonte: IPCC, 2006

### 8.2.11 – Fatores de ajuste relacionados às operações agrícolas

Devido à variabilidade nas intervenções no campo em termos de hora por hectare, Como abordagem alternativa, as operações mecanizadas são calculadas segundo as planilhas de necessidade de operação por atividade, por hectare. Com essa planilha é possível estimar o consumo médio de diesel nas operações e calcular as emissões de GEE.

Esta abordagem tem como vantagem a baixa necessidade de dados complexos. Por conta da alta taxa de estimativas, esta abordagem apresenta um erro implícito que é a diferença de consumo e de necessidade de horas de cada máquina em tipo de solo, umidade de solo, cultura a ser cultivada, quantidade de adubo a ser aplicado etc. As tabelas abaixo apresentam as médias de hora máquina por hectare médio em cada tipo de lavoura.

Embora se verifique um padrão produtivo no cultivo dos referidos grãos (Embrapa, 2012), pode-se ocorrer variações dependendo da unidade produtiva. Esse fato pode ser decorrente de alguns fatores como as condições do solo, custos operacionais, fatores climáticos e etc.

**Tabela 12.** Fatores de ajustes relacionados às operações agrícolas

<b>Intervenção</b>	<b>FA</b>	<b>Maquinário e Equipamento Agrícola</b>	
		Trator + implemento	1,13
<b>Calagem</b>	0,28	Caminhão	0,88
<b>Pulverização Herbicida</b>	1,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
<b>Pulverização Inseticida</b>	0,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
<b>Semeadura</b>	0,5	Trator + implemento	1,71
<b>Fertilização</b>	0,5	Trator + implemento	1,71
<b>Pulverização Herbicida</b>	1,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
<b>Pulverização Inseticida</b>	1,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
<b>Pulverização Fungicida</b>	1	Trator + pulverizador terrestre	0,68
<b>Colheita</b>	1	Colheitadeira	1,32

Fonte: Maciel, 2014.

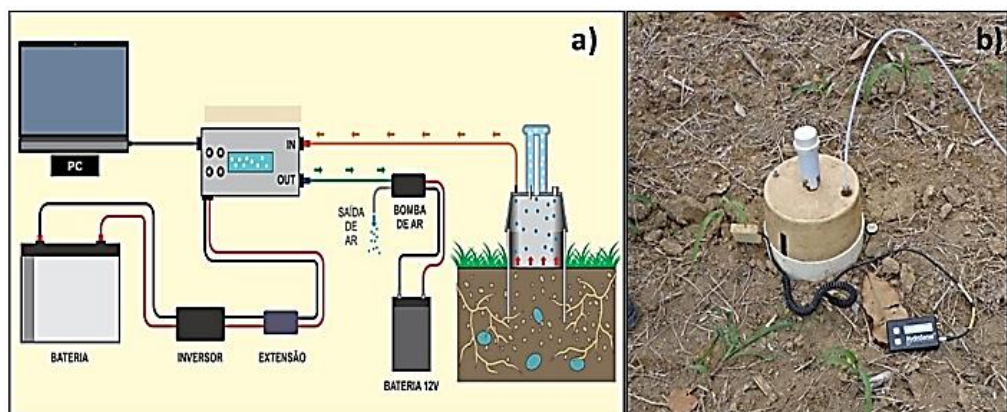
## 9 – EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> DO SOLO DECORRENTE DO IMPACTO DO PREPARO CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO

### 9.1 – Sistema de amostragem

As medições de CO<sub>2</sub> emitido pelo solo foram feitas utilizando-se da metodologia de câmaras dinâmica de concentração e analisador de gás por infravermelho (IRGA), modelo Licor-820. Os sinais de resposta dos detectores serão capturados a frequência de 5s ou menos. Os fluxos de câmaras serão calculados através de regressão linear da concentração pelo intervalo de tempo das medidas.

Apenas o intervalo inicial das medições foram usado para determinar os fluxos na adequação para evitar a curvatura observada durante o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> em função do tempo de amostra que é resultado da diluição do ar dentro da câmara utilizada e do efeito de redução do fluxo solo-atmosfera devido às altas concentrações de CO<sub>2</sub> dentro da câmara.

Os fluxos de solo foram medidos utilizando-se de um sistema portátil constituído por um IRGA acoplado por um tubo de teflon a câmara dinâmica de concentração sendo encaixada no colar de PVC, um palmtop (HP – Pavilion Entertainment PC, com aplicativo computacional Licor, uma bomba de 12 V para gerar um fluxo contínuo de ar sendo monitorado um fluxo de ar próximo de 1,2 L/min (Keller et al., 2005), um inversor de potência e uma bateria grande servindo como fonte para o IRGA e uma bateria pequena como fonte de energia à bomba de ar configurando o sistema de medidas conforme ilustrado na (figura 3).





**Figura 12.** (a) Arranjo experimental utilizado para medição do fluxo e (b) câmara dinâmica de concentração.

O palmtop permite que os sinais de aumento da concentração da câmara sejam visualizados em tempo real de amostragem. Juntamente com o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, variáveis ambientais (temperatura do ar e do solo, e quantidade de água no solo) serão avaliadas para análises estatísticas de correlação de fluxos.

## 9.2 - Cálculos do fluxo de CO<sub>2</sub>

O fluxo de CO<sub>2</sub> do solo ( $R_s$ ) será calculado como a taxa de variação de concentração de CO<sub>2</sub> pela unidade de tempo e a área sob a região coberta pela câmara, como mostra a equação abaixo:

$$R_s = \frac{(C_n - C_{n-1}) \times (V)}{T_n \times A} \quad (6)$$

$R_s$  = respiração do solo ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );

$C_{n-1}$  = concentração (ppm) de CO<sub>2</sub> no tempo inicial (n-1);

$C_n$  = concentração (ppm) de CO<sub>2</sub> no tempo final (n)

$V$  = volume da câmara ( $\text{m}^3$ );

$A$  = área de cobertura ( $\text{m}^2$ );

$T_n$  = intervalo de tempo (s).

O cálculo do fluxo de CO<sub>2</sub> descrito acima foi determinado através de um aplicativo computacional (Licor -2010) desenvolvido por (Fagner, 2010), essas relações matemáticas expressas na equação (1) foram inseridas neste aplicativo o que permitirá que esta ferramenta, em tempo real, determine o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , precisando para isso somente definir o intervalo com maior homogeneidade da evolução de CO<sub>2</sub> no interior da câmara, fornecendo na sequência as variáveis necessárias, como a temperatura do ar (°C) e a altura média da câmara (cm) obtida a partir dos três diferentes pontos da base do anel.



Figura 13. Interface gráfica do programa computacional Licor, Fagner (2010).

Para obter o efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo em mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> foi feita uma relação com um fator de conversão no valor de 43,2.

### 9.3 - Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa Statistica versão 6.0 para o Windows, admitindo-se  $P < 0,05$ . Todos os dados de emissões de CO<sub>2</sub> foram analisados quanto a distribuição, a normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogov-Smirnov. O teste utilizado demonstrou que os dados apresentavam distribuição normal. Após verificada a normalidade dos dados foi aplicada a estatística paramétrica. O efeito da sazonalidade e cobertura do solo nos efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo foi investigado através da análise de variância (ANOVA). Quando observado algum efeito significativo ( $p < 0,05$ ), foram realizados testes de Tukey.

A dependência das emissões de C-CO<sub>2</sub> em relação à temperatura e umidade do solo foi avaliada a partir da significância dos coeficientes de correlação de regressões lineares de Pearson. As emissões de CO<sub>2</sub> entre os sistemas de preparo convencional e direto foram avaliadas através da análise de variância (ANOVA) detectando diferenças entre os tratamentos foi aplicado o Teste de Tukey para quantificar a magnitude dessa diferença, a 5% de significância.

#### **9.4 – Determinação dos custos econômicos**

Os dados referentes aos custos por hectare que foram utilizados neste estudo foram obtidos com a aplicação de questionários e entrevistas com alguns agricultores, num período compreendido entre os meses de agosto a setembro de 2014, 15 e 16, estes questionários, também, foram preenchidos pelas informações fornecidas por técnicos da Agrossanta e Agrotécnica sendo, complementados quando necessário pelos relatórios da Agriannual e Conab, 2016.

As entrevistas foram aplicadas a três produtores agrícolas. Esse número está associado à disponibilidade dos agricultores e a acessibilidade em suas propriedades nos municípios de Belterra e Santarém. Por este fato, a amostra foi intencional (não probabilística) conforme a abordagem de Oliveira (2013).

Os produtores foram selecionados, também, com base no cultivo do grão de soja sob o plantio direto e convencional em relação ao tempo na região, tecnologia de produção nos referidos municípios.

Os dados referentes aos custos de produção foram originários de informações primárias obtidas *in loco* e secundário com base na Agriannual (2016) e Conab (2016), com isso buscando obter juntamente com outros parâmetros indicativos para compreender a eficiência do desempenho da produção do grão de soja.

#### **9.5 – Determinação dos Equivalentes Energéticos dos Produtos.**

Para se determinar os equivalentes energéticos dos insumos agrícolas consumidos ao longo da lavoura do grão de soja precisou-se obter os coeficientes técnicos (Embrapa, 2012) do quantitativo físico utilizado por hectare (ha) durante as operações agrícolas considerando dois modelos de cultivo: preparo convencional e plantio direto.

As entradas (inputs) nesse processo de cultivo, tais como, diesel, maquinário, defensivos agrícolas (herbicida, inseticida e fungicida), calcário, fertilizantes (nitrogênio, potássio e fósforo) possuem um valor energético específico e estes cálculos foram desenvolvidos em sua maioria nos estudos de Pimentel & Pimentel, 2007.

## 10 – PREPARAÇÃO PARA O ESTUDO DA ACV.

### 10.1 – Fronteiras e limitações do estudo

O desenvolvimento desta pesquisa não objetiva realizar uma análise completa do ciclo de vida da produção de grãos de soja, porém, pretende-se neste estudo demonstrar um inventário parcial que abranja, tão somente, a fase agrícola envolvendo a produção dos cultivares acima mencionados.

Visando definir os insumos mais importantes referentes ao sistema produtivo foi necessário identificar o padrão produtivo desenvolvido nas áreas determinadas para a realização do estudo. Nessa busca alguns percalços foram encontrados, principalmente, no que tange o acesso às unidades produtivas.

As informações obtidas para este estudo baseiam-se em dados primários levantados através de questionários aplicados aos produtores e as empresas técnicas.

## 11 – INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE GRÃOS (*Soja – Plantio convencional e direto*).

### 11.1 – Fluxo de massa referente à fase da lavoura da soja ( *preparo convencional e plantio direto*)

Esta etapa do inventário sobre a produção de grãos de soja, milho e arroz demanda a entrada de dados referentes a algumas operações agrícolas. Estas entradas contabilizadas do subsistema agrícola serão relativas às seguintes etapas mão-de-obra, maquinário, fertilizantes (calcário, potássio, fósforo, nitrogênio), defensivos agrícolas (herbicida, fungicida, inseticida), combustível fóssil e outros. Estes insumos consumidos ao longo do processo de cultivo das referentes oleaginosas serão contabilizados no presente estudo.

### 11.2 – Produção agrícola (Soja) – Preparo convencional e plantio direto.

A produção de soja envolve, principalmente, os dados referentes à correção do solo, preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita (Embrapa, 2010). Toda essa operação no campo agrícola do ciclo produtivo da soja é decorrente do levantamento de dados in loco realizado da unidade produtiva ( **MJ**) sendo que essas fases caracterizadas em campo foram validadas ( Embrapa, 2010).

Nesse período, onde ocorrem os tratos culturais, a pulverização é um importante processo, no qual, aplicam quantidades de pesticidas e herbicidas que é dependente da quantidade de área plantada em hectare referente a cada propriedade agrícola. Em geral, o pesticida e o herbicida são pulverizados com 4 e 1 repetições, respectivamente, para cada hectare de soja cultivada.

### **11.3 – Tratos culturais**

O trato cultura é uma das operações agrícolas que antecede a colheita do grão de soja e subsequente ao processo de cultivo dessa oleaginosa. Essa etapa quando realizada adequadamente garante o bom desenvolvimento da planta, além, de criar condições de prevenção contra as pragas e doenças que afetam esse tipo de vegetal.

A pulverização através desses defensivos agrícolas como, os pesticidas e herbicidas, são fundamentais, também, no controle das plantas daninhas.

### **11.4 – Colheita**

Este processo corresponde a uma das últimas etapas no campo agrícola. Para a realização da colheita de grãos de soja é necessário o uso de maquinário o que implica no consumo de combustível fóssil. O maquinário específico para esta finalidade chama-se colheitadeira e sua utilização nessa fase da operação agrícola demanda um consumo médio de combustível fóssil (diesel) de  $5.5 \text{ l.ha}^{-1}$ . Em relação a esta oleaginosa a produtividade média entre os anos de 2015 e 2016 na unidade produtiva de estudo foi de  $3450 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

### **11.5 – Soja**

Esta etapa do inventário envolve os principais dados relativos ao preparo do solo (plantio convencional), plantio, tratos culturais e colheita. Ao passo que, no sistema de plantio direto, as operações agrícolas sofrem uma pequena mudança por não se utilizar o maquinário no preparo do solo.

Os dados levantados são de natureza primária, ou seja, as informações obtidas por meio de entrevistas realizadas com alguns agricultores, empresas técnicas e especialistas na área. Além de consultas as literaturas especializadas referentes, sobretudo, a ACV e Embrapa.

No que concerne ao preparo do solo, a Tabela 13 sumariza o balanço de massa pelo preparo do solo visando a produção de 1 ha de grãos de soja.

**Tabela 13.** Insumos consumidos nas operações agrícolas sob plantio convencional e direto à produção de 1 ha de soja, Santarém e Belterra, Pará – Safra 14/15.

<i>Entrada (inputs)</i>	<i>Unidade</i>	<b>Plantio</b>	<b>Plantio direto</b>
		<b>convencional</b>	<b>Quantidade/ha</b>
		<b>Quantidade/ha</b>	<b>Quantidade/ha</b>
<sup>d</sup> Mão-de-obra	h	7,1	4,0
<sup>a</sup> Energia elétrica	Kwh	66,5	<b>n</b>
<sup>b</sup> Arado (diesel)	L	19	<b>n</b>
<sup>b</sup> Gradagem (diesel)	L	17	<b>n</b>
<sup>d</sup> maquinário	kg	20	20
<sup>a</sup> Adubo orgânico	L	<b>n</b>	1,5
<sup>a</sup> Calcário	t	3,0	1,2
<sup>c</sup> Óleo diesel	L	27	15
<sup>c</sup> Lubrificante	L	0,15	0,15
<b>Saídas (outputs)</b>			
<sup>a</sup> Soja		3450	3250
<b>Emissões atmosféricas</b>			

**Fonte:** <sup>a</sup> Dados de campo; <sup>b</sup> Estimado com base em Embrapa, 2015; <sup>c</sup> Estimado com base em Pimentel & Pimentel, 2007; <sup>d</sup> Pimentel & Pimentel, 2007.

**Tabela 14.** Equivalente-energético das operações agrícolas sob preparo convencional e direto à produção de 1 ha de soja.

<b>Maquinário e implementos agrícolas</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Vida útil (h)</b>	<b>DEE (Kcal/h)</b>	<b>Equivalente-energético (kcal/ha)</b>
<b>Plantio convencional</b>				
Grade niveladora	1218	175200	1,75E+02	1,89E+02
Trator	3150	87600	8,76E+01	2,56E+04
pulverizador	842	104400	1,04E+02	3,28E+03
semeadora	2437	131400	1,31E+02	5,06E+02
Colheitadeira	8000	131400	1,31E+02	1,17E+04
<b>Plantio direto</b>				
Trator	3150	87600	8,76E+01	2,48E+04
pulverizador	842	87600	8,76E+01	3,29E+03
Semeadora	2437	131400	1,31E+02	5,06E+02
Colheitadeira	8000	131400	1,31E+02	1,17E+04

**Fonte:** Estimado com base em Assenheimer et al., 2009;

**Tabela 15.** Fluxo de massa referente a produção de grãos em 1 ha (Soja – Preparo convencional) – Safra 14/15 – no Oeste do Pará.

<b>Sistema de cultivo - Convencional</b>		
<i>Operações agrícolas (Etapas)</i>	<i>Massa/ha</i>	<i>Unidade</i>
<i>Preparo do solo</i>		
<i>Entradas (Inputs)</i>		

<sup>a</sup> Mão de obra	7,1	h
<sup>a</sup> Maquinário	20	kg
<sup>b</sup> Calcário	3,0	t
Perda de solo	0,33	t
Gradagem	10	kg
Gradagem niveladora 1	13,3	kg
Gradagem niveladora 2	5,8	kg
Distribuição de calcário	4,0	kg
<b>Saídas (Outputs)</b>		
<b>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>564,1</b>	kg
<b>Plantio</b>		
<b>Entradas (Inputs)</b>		
Sementes	60	kg
Plantio	0,8	h.m
Plantio interno	0,3	h.m
Adubação de cobertura	0,6	h.m
Fertilizante	300	kg
I.    Fósforo	120	kg
II.   Potássio	180	kg
Inseticida	3,0	kg
Fungicida	0,5	kg
<b>Saídas (Outputs)</b>		
<b>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>343,9</b>	
<b>Tratos culturais</b>		
<b>Entradas (Inputs)</b>		
Adubação de cobertura	250	kg
Herbicida	2,5	L
Inseticida	0,8	L
Distribuição de herbicida	4,5	kg
Distribuição de inseticida	3,5	kg
<b>Saídas (Outputs)</b>		
<b>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>173,9</b>	
<b>Colheita</b>		
<b>Entradas (Inputs)</b>		
Colheita (Diesel)	15	kg
Transporte interno colheita (Diesel)	5,5	kg
<b>Saídas (Outputs)</b>		
<b>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>38,04</b>	

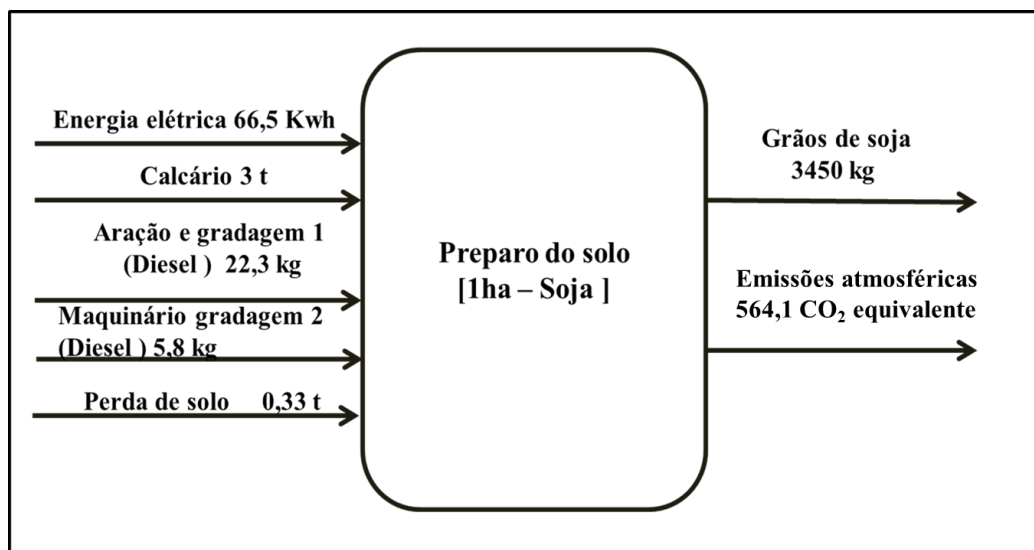
**Fonte:** <sup>a</sup>Pimentel & Pimentel, 2007; <sup>b</sup>Dados de campo – Safra 14/15; <sup>c</sup>Embrapa, 2015.

Ao comparar os dados da Tabela 15 com o da Figura 14, destaca-se para o fluxo de massa os seguintes inputs: calcário (3t), aração e gradagem (22,3 kg), maquinário gradagem ( 5,8 kg). No que tange aos outputs (saídas do sistema), ou seja, o rendimento de grãos de soja ( 3450 kg/ha) e emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes decorrente da queima de combustível fóssil

oriundos do consumo do diesel e resultante da aplicação de calcário na fase de preparo do solo na fase agrícola da produção de grão de soja, que correspondem no total de 564,1 kg de CO<sub>2</sub>e por hectare. Os fluxos de massa mais relevantes podem ser contemplados na Figura 14.

As fontes que mais contribuíram para as emissões de GEE (CO<sub>2</sub>e) na etapa do preparo do solo sob o preparo convencional foram a aplicação de calcário e consumo de óleo diesel correspondente a utilização do maquinário, conforme se verifica na Tabela 15.

O uso do maquinário no preparo convencional é característico desse processo (Embrapa, 2012) nessa fase agrícola da produção do da soja. A Figura 14 expõe nitidamente o fluxo de dados de entrada e saída no processo de preparo do solo sob preparo convencional, apontando a contabilização dos recursos consumidos nesta etapa do processo.

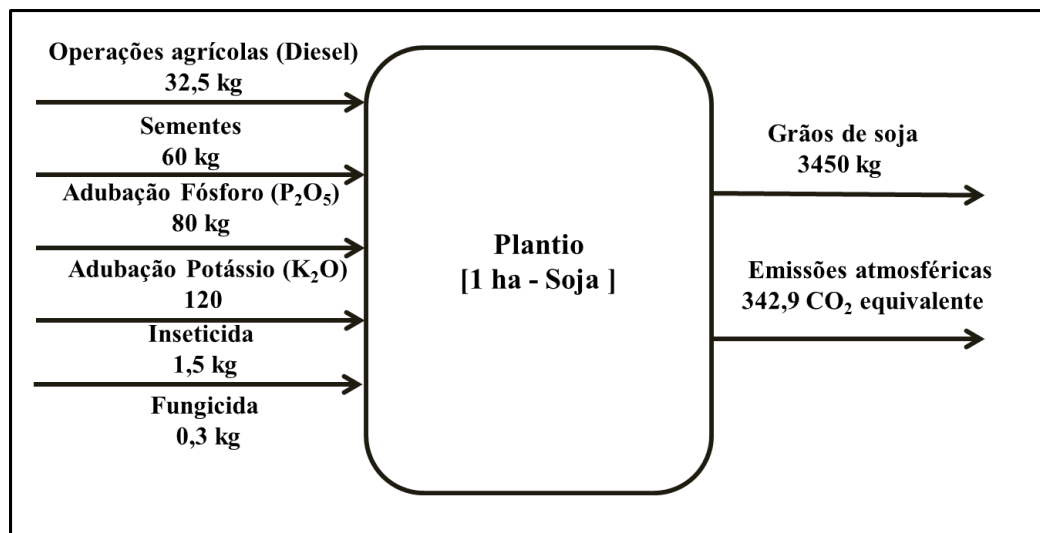


**Figura 14.** Diagrama referente ao processo de preparo do solo de 1 ha de grão de soja no Oeste do Pará – Safra 14/15.

Em relação à Figura 15 fica evidente a redução nas emissões de CO<sub>2</sub>e (342,9 CO<sub>2</sub>e) na etapa de plantio ao se comparar com o processo de preparo do solo que promoveu emissões CO<sub>2</sub>e estimadas em, 564,1 CO<sub>2</sub>e, diferença estatisticamente significativa. Os recursos consumidos, tais como calcário (3t) e diesel (29,1 kg) correspondente ao uso do maquinário (Figura 14) foram as fontes que mais contribuíram para as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente.



A lavoura utilizando a cultivar (AS 3820 IPRO) promove um ciclo que, oscila, entre 112 a 118 dias. A produção dessa cultivar dispensa o uso de recursos hídricos, pois o plantio desenvolvido na estação úmida não necessitando de um sistema de irrigação (Mendonça, . A planta da soja tem como entrada o dióxido de carbono equivalente ao carbono contido na celulose, em torno de 10% a mais em termos mássicos. Foi utilizada nesta etapa um quantitativo de 60 kg.ha<sup>-1</sup> de sementes e 300 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizantes, conforme mostra a Tabela 15. No que se refere ao diesel, o consumo foi de 32,5 kg mostrando um potencial de redução quando comparado a fase de preparo do solo o que, conseqüentemente, interfere nas emissões de GEE (CO<sub>2</sub> equivalente) à atmosfera.

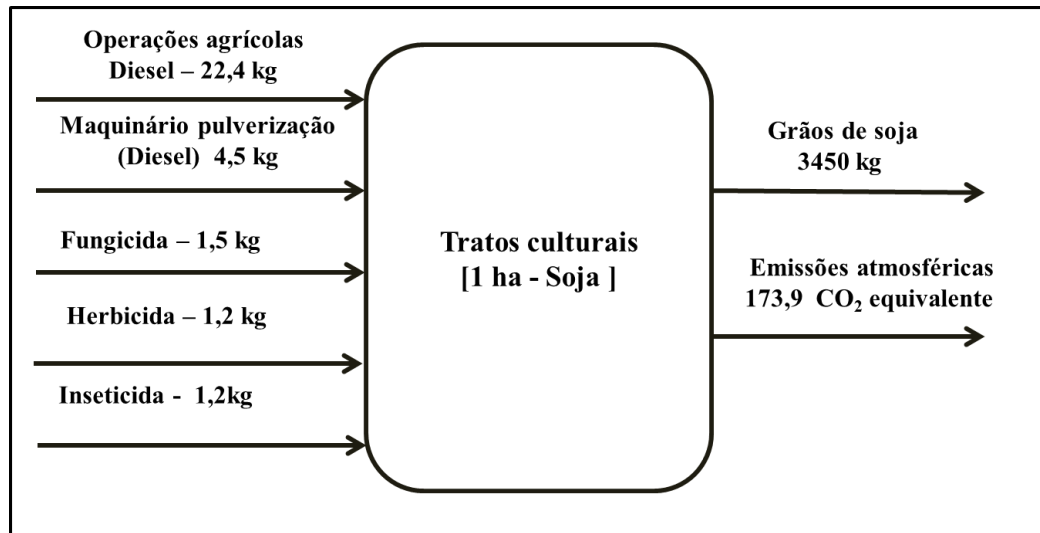


**Figura 15.** Diagrama referente ao processo de plantio de 1 ha de grão de soja no Oeste do Pará – Safra 14/15.

Ao se comparar os fluxos de massa, destacam-se o diesel (32,5 kg) e os fertilizantes ( 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O) fonte relevantes no cômputo das emissões atmosféricas (342,9 kg CO<sub>2</sub>e) da fase de plantio (Figura 15) em relação à etapa dos tratos culturais o quantitativo no consumo do diesel foi inferior, conforme, pode-se observar na Figura 16, sendo determinante nas emissões de CO<sub>2</sub>e (173,9 kg CO<sub>2</sub>e) , no tocante os tratos culturais.

Importante ressaltar que o processo nas operações agrícolas dos tratos culturais demanda o uso da pulverização para o referido trato cultural, quando se aplica o pesticida e

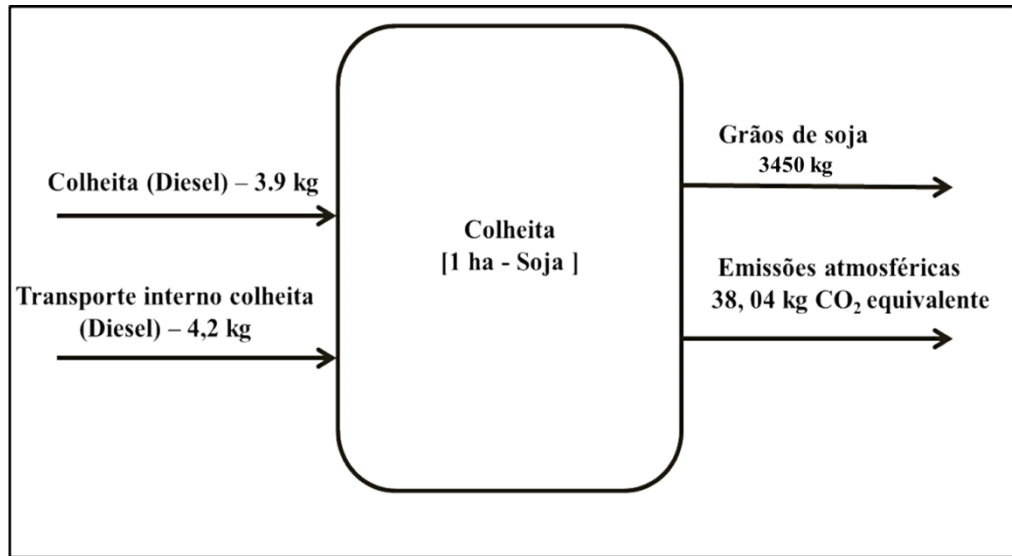
herbicida, mantendo um consumo de, aproximadamente,  $4,5 \text{ L.ha}^{-1}$ , promovendo uma emissão de CO<sub>2</sub>e de 24,61.



**Figura 16.** Diagrama referente ao processo de tratos culturais de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

A Figura 14 expressa nitidamente o fluxo dos dados de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) referente a etapa de preparo do solo, apontando o quantitativo de recursos demandados ao longo desse processo. No que trata a fase do plantio sob o sistema de cultivo mecanizado a Figura 15 ilustra as entradas (*inputs*) e as saídas (*outputs*) no processo de composição do fluxo de massa referente a esta fase da processo de cultivo.

Ao passo que, a fluxo de massa relativo a colheita consome de modo não tão intenso recursos da natureza, tais como, o consumo do combustível fóssil correspondente ao uso do maquinário. O uso dessa fonte contribuíram de modo similar considerando os dois tipos de manejo (preparo do solo e plantio direto) mostrando nenhuma diferença estatística referentes aos dois sistema de cultivo, sendo evidenciado emissões exatas de 38,04 kg CO<sub>2</sub>e por meio do processo de colheita e transporte interno, Figura 17.



**Figura 17.** Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

O consumo de materiais (entradas) para cada etapa da fase produtiva da soja e as saídas, em termos de emissões de GEE, estes valores foram obtidos com base no plantio direto e são expressos na Tabela 16.

Os quantitativos dos materiais ou insumos consumidos no decorrer do processo de cultivo da cultura foram relacionados com a unidade funcional (UF) sendo para o campo da agricultura o hectare (ha), portanto, todo fluxo de massa de todos os insumos está definido para um ha.

**Tabela.16** Fluxo de massa referente a produção de grãos em 1 ha (Soja – Plantio direto) – Safra 14/15 – no Oeste do Pará.

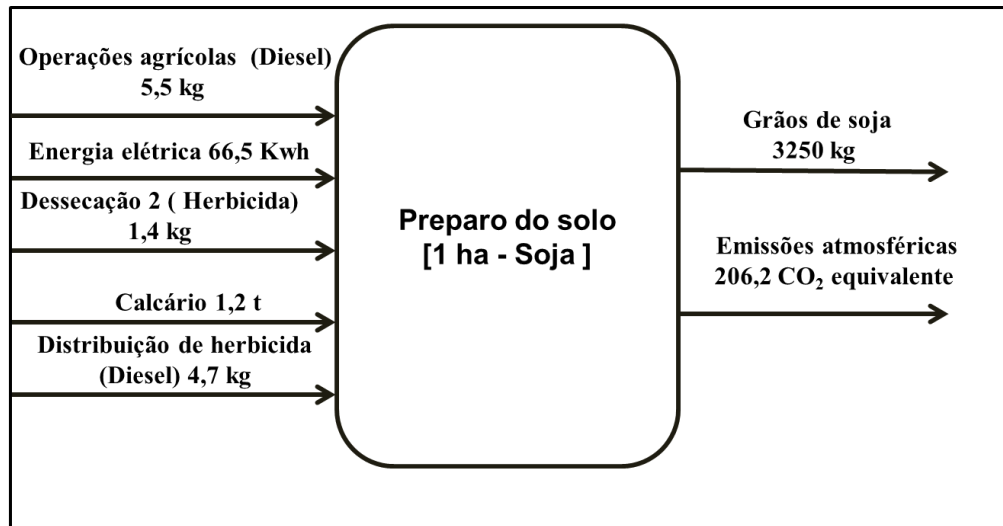
<b>Sistema de cultivo - Plantio direto</b>		
<i>Preparo do solo</i>	<i>Massa/ha</i>	<i>Unidade</i>
<b>Entradas (Inputs)</b>		
Calcário	1,2	t
Dessecação 1	0,7	kg
Energia elétrica	66,5	Kwh
Dessecação 2	0,7	kg
Operações agrícolas	5,5	n
Dessecação	3	kg
Distribuição de herbicida	4,7	kg
<b>Saídas (Outputs)</b>		

<b><i>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</i></b>	<b>206,2</b>	
<b><i>Plantio</i></b>		
<b><i>Entradas (Inputs)</i></b>		
Plantio com adubação	12,2	kg
Plantio interno	10,5	kg
Fertilizante	200	kg
I – Fósforo	120	kg
II – Potássio	80	kg
Adubação	9,5	kg
Herbicida	1,5	kg
Inseticida	0,4	kg
<b><i>Saídas (outputs)</i></b>		
<b><i>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</i></b>	<b>310,3</b>	
<b><i>Tratos culturais</i></b>		
<b><i>Entradas (Inputs)</i></b>		
Adubação de cobertura	3,5	kg
Herbicida	0,75	kg
Inseticida	0,75	kg
Fungicida	0,8	kg
Distribuição de herbicida	4,5	kg
Distribuição de inseticida	4,5	kg
Distribuição de fungicida	3,0	kg
<b><i>Saídas (outputs)</i></b>		
<b><i>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</i></b>	<b>66,3</b>	
<b><i>Colheita</i></b>		
<b><i>Entradas (Inputs)</i></b>		
Colheita	15	kg
Transporte interno	5,5	kg
<b><i>Saídas (outputs)</i></b>		
<b><i>Emissões atmosféricas - CO<sub>2</sub> equivalente</i></b>	<b>38,04</b>	

No que concerne ao preparo do solo associado ao plantio direto, a Figura 18 expõe o as entradas do consumo de massa em relação às diferentes fontes, tais como diesel (10,2 kg.ha<sup>-1</sup>), calcário com quantitativo físico por hectare de (1,2 t), energia

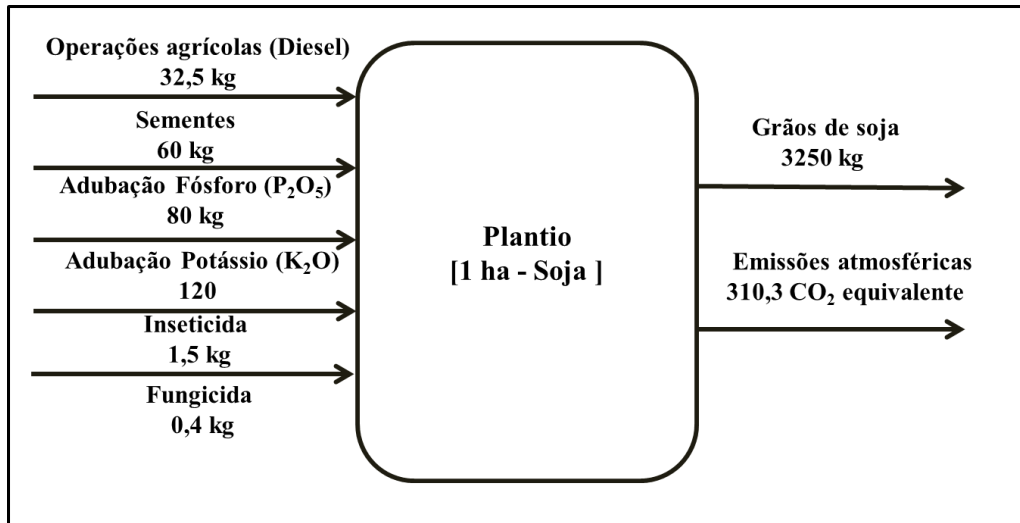
elétrica (66,5 Kwh), fontes essas responsáveis por produzirem emissões atmosféricas ( 206,2 kg CO<sub>2</sub>e) valor inferior somente ao processo de plantio com valor estimado em 310,3 kg CO<sub>2</sub>e).

a



**Figura 18.** Diagrama do processo de preparo do solo de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

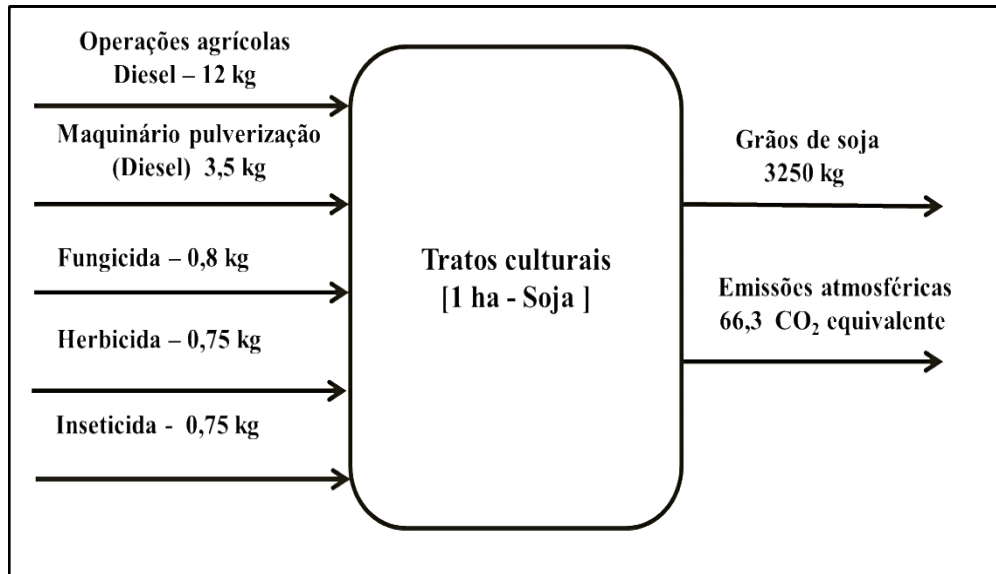
Na fase agrícola o processo de plantio sob semeadura direta expressa o balanço de massa na Figura 19, nesse estágio a emissão de CO<sub>2</sub>e é mais intensa, estimada em 310,3 kg, ao comparar com os outros processos (etapas) sob o mesmo manejo do solo (semeadura direta), tais como, preparo do solo ( 206,3 kg CO<sub>2</sub>e), tratos culturais (66,3 kg CO<sub>2</sub>e e colheita (206,3 kg CO<sub>2</sub>e), a alta emissão na etapa de plantio decorre do consumo considerável de recursos materiais e energético (fontes ) que contribuem para as elevadas emissões. No tocante o consumo de diesel ( 32, 5 kg. ha<sup>-1</sup>) e fertilizantes ( 200 kg.ha<sup>-1</sup>) que foram determinantes nessas emissões equivalentes. Embora, os valores sejam discrepantes, Mendonça (2007) verificou que as emissões de CO<sub>2</sub>e foram mais elevadas na fase de plantio considerando a fase, tão somente agrícola, (preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita).



**Figura 19.** Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja no Oeste do Pará – Safra 14/15.

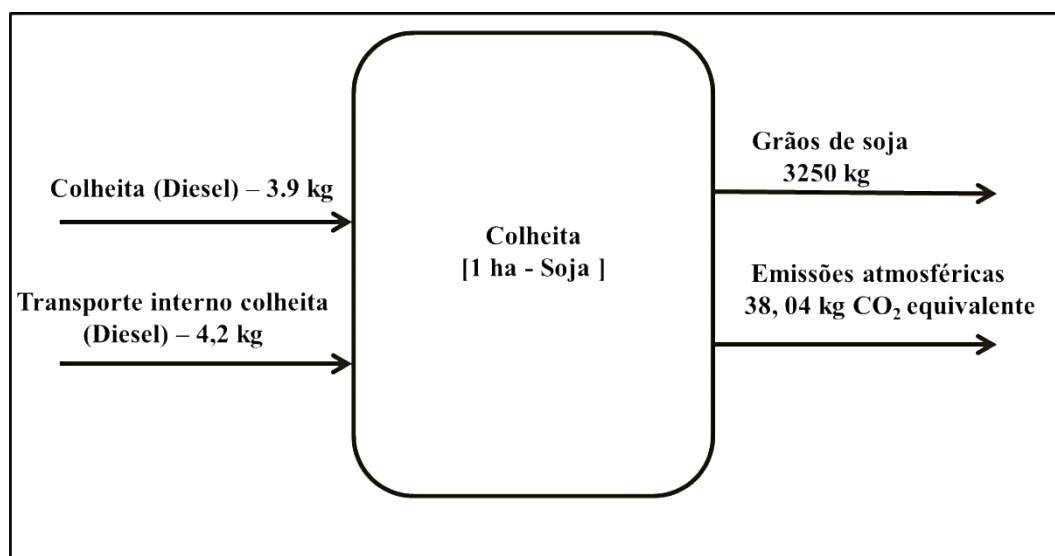
O trato cultural é a fase da lavoura do grão de soja que posterior a etapa do plantio e o estágio que antecede a colheita da soja. Durante esta fase ocorre o processo de manutenção para o melhor desenvolvimento da planta, precavendo de doenças e pragas, além de controlar as plantas daninhas. Os defensivos agrícolas são distribuídos por meio da pulverização. São aplicados herbicidas e pesticidas (*inputs*) e planta da soja.

Observa-se uma diferença considerável nas emissões de CO<sub>2</sub>e nessa etapa ao comparar os dois sistemas de cultivo. No plantio direto o valor da emissão de CO<sub>2</sub>e foi de 66,3 kg (Figura 20) sendo inferior em relação ao preparo convencional estimado em 173,9 kg CO<sub>2</sub>e (Figura 16) a discrepância nos valores pode estar relacionada com o solo que depois de passado alguns anos torna-se mais estável, caso do plantio direto, o que implica na redução da aplicação de defensivos agrícolas ( comunicação pessoal-agricultor).



**Figura 20.** Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

Esta é a última etapa do processo de cultivo referente aos dois tipos de manejo do solo (PC e PD). Nesse estágio do ciclo de cultivo do grão, as operações agrícolas são similares, tais como, colheita mecânica e transporte interno, conforme mostram as Tabelas 15 e 16, nos dois tipos de tecnologia de manejo do solo. Sendo a demanda semelhante por combustível fóssil correspondente a utilização de maquinário por, consequência, as emissões de CO<sub>2</sub>e estimadas foi de 38,04 kg.ha<sup>-1</sup>, como ilustram as Figuras 17 e 21.



**Figura 21.** Diagrama do processo de colheita de 1 ha de grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

## **12 – DESEMPENHO ENERGÉTICO CONSIDERANDO A FASE DA LAVOURA (*Soja – Preparo convencional e plantio direto*)**

### **12.1 – Energia para a produção de grãos de soja sob preparo convencional e plantio direto**

A fase agrícola no cultivo de soja, sob preparo convencional e plantio direto, foi efetuada considerando as demandas físicas de insumos e dos coeficientes técnicos para cada operação do sistema, como o preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita. Foi registrado o consumo por hectare e transformado em valores energéticos.

A análise energética verificada nos processos agrícolas, independentemente da finalidade como a produção voltada à alimentação humana ou insumo industrial, possibilita constatar se o campo agrícola precisa de aprimoramento, conforme CASTANHO FILHO e CHABARIBERY, (1983). A relevância de se determinar o balanço energético é fornecer elementos cruciais para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões (COMITRE, 1993).

A energia demandada para cultivar um hectare de grãos de soja foi determinada para dois tipos de sistema de manejo, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), em relação à unidade produtiva JM que desenvolve esse sistema de cultivo durante 8 anos.

Esta energia consumida foi estimada com base nos insumos de maior relevância como **mão de obra, maquinário, combustível fóssil (diesel), fertilizantes ( nitrogênio, potássio e fósforo), defensivos agrícolas ( herbicida, inseticida e fungicida)** em relação aos processos de **preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita** relativos ao sistema produtivo de grãos de soja.

Os valores energéticos contabilizados em relação a cada insumo consumido e o total para produzir um hectare de grão de soja ao longo do processo produtivo com base nos dois tipos de manejo (PC e PD) estão sumarizados na Tab (1).

A dinâmica do consumo energia nestes processos, de modo geral, gera impacto em três vertentes:

1 – No que tange, os impactos ambientais como, o efeito estufa, decorrente da emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa;



2 – Também, impactos ecológicos por meio da exploração de matéria – prima ou recursos ( carvão, gás e outros) e, soma-se a isso, o consumo de solo;

3 – Por último, impactos na esfera monetária, em virtude dos efeitos dos custos, visto que, sendo o consumo de energia mais intenso no processo mais custos haverá de serem calculados (Coltro, 2003; Vieira, 2006).

A estimativa do quantitativo energético demandado para produzir um hectare de grão de soja foi determinada para cada um dos sistemas de cultivo, considerando os insumos mais importantes como mão de obra, maquinário, combustível, fertilizantes, herbicidas e transporte interno no campo agrícola.

A Tabela 17 expressa o quantitativo energético consumido através das entradas (*inputs*) dos insumos durante a toda a fase agrícola da produção do grão da soja em relação ao sistema de plantio convencional e direto.

**Tabela. 17.** Balanço energético da produção de soja sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) por ha, Santarém e Belterra, no Oeste do Pará.

<i>Entrada</i>	Unidade	Plantio convencional		Plantio direto	
		Quantidade/ha	Equivalente - Energético (kcal.ha <sup>-1</sup> )	Quantidade/ha	Equivalente - Energético (kcal.ha <sup>-1</sup> )
<i>Preparo do solo</i>					
aMão-de-obra	h	7,1	2,84E+05	4,1	2,84E+05
aMaquinário	kg	20	6,84E+05	n	n
Arado	kg	18	7,20E+01	n	n
Gradagem	kg	16	8,00E+01	n	n
Calcário	t	3,2	1,97E+06	1,2	7,39E+05
bGraxa	kg	0,8	1,18E+04	n	n
bLubrificante	L	0,7	1,08E+04	n	n
Diesel	kg	34	3,87E+05	13	1,48E+05
<b>Total</b>			<b>3,35E+06</b>		<b>1,17E+06</b>
<i>Plantio</i>					
Semeadora	h	0,6	5,78E+03	0,8	7,71E+03
Fertilizante					
<i>I - Nitrogênio</i>	kg	30	4,80E+05	n	n
<i>II - Fósforo</i>	kg	120	1,38E+05	120	1,38E+05
<i>III - Potássio</i>	kg	75	1,65E+05	75	1,65E+05

Diesel	kg	3,9	2,86E+04	3,9	2,86E+04
Sementes	kg	60	4,80E+05	60	4,80E+05
<b>Total</b>			<b>1,29E+06</b>		<b>8,12E+05</b>
<b>Tratos culturais</b>					
Defensivos agrícolas					
<i>I - Herbicida</i>	kg	1,5	1,50E+05	1,5	1,50E+05
<i>II - Inseticida</i>	L	0,3	1,05E+04	0,1	3,51E+03
<i>III - Fungicida</i>	kg	0,3	1,95E+04	0,16	1,04E+04
Diesel	kg	38,8	5,29E+04	1,5	6,61E+04
<b>Total</b>			<b>2,33E+05</b>		<b>2,30E+05</b>
<b>Colheita</b>					
Colheitadeira (Diesel)	L	23	2,63E+05	20	2,29E+05
Transporte interno	kg	154	4,00E+04	154	4,00E+04
<b>Total</b>			<b>1,01E+07</b>		<b>4,70E+06</b>
<b>Saída</b>					
<b>Produção de soja</b>	<b>kg</b>	<b>3450</b>	<b>1,12E+07</b>	<b>3250</b>	<b>1,06E+07</b>
<b>Outputs kcal/Inputs kcal</b>			<b>1,11E+00</b>		<b>2,25E+00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base em pesquisa de campo; Pimentel & Pimentel, 2007.

A energia associada ao preparo mecanizado do solo da área de cultivo e ao transporte interno do grão de soja foi contabilizada sob a forma de consumo de combustível fóssil.

Baseado nos dados primários levantados nas unidades produtivas (JM, PS e F, 2014/15) e através da contabilização da energia necessária para operação das atividades relativas ao cultivo da soja (Pimentel & Pimentel, 2007) determinou-se a mão de obra, homens – hora (h.h), e a correspondente energia consumida para produzir um 1 hectare de grão de soja durante um ano para as duas tecnologias adotadas no cultivo da referida oleaginosa (preparo convencional e direto).

Ao passo que, a energia precisa na fabricação de maquinários (tratores – pulverizador, colheitadeira, plantadeira, implementos agrícola ) é quantificada a partir do peso dos equipamentos, vida útil e a energia média utilizadas para fabricar cada quilograma (kg) de máquina ou equipamento (Pimentel, 1980; Macedônio & Picchioni, 1985; Pimentel & Pimentel, 2007). O equivalente energético, no que tange ao maquinário, foi determinado somente para o sistema de cultivo mecanizado do grão de soja visto que o sistema de cultivo conservacionista na fase de preparo do solo prescinde do uso do maquinário (Embrapa, 2016).

Para se estimar o consumo do diesel considerou-se a demanda desse óleo no preparo do solo, plantio, tratos culturais, colheita e transporte interno no campo agrícola envolvendo os

dois sistemas de cultivo. Considerou-se, para efeito de cálculo, o tempo de operação do maquinário em relação a cada intervenção agrícola ( $\text{Hm.ha}^{-1}$ ).

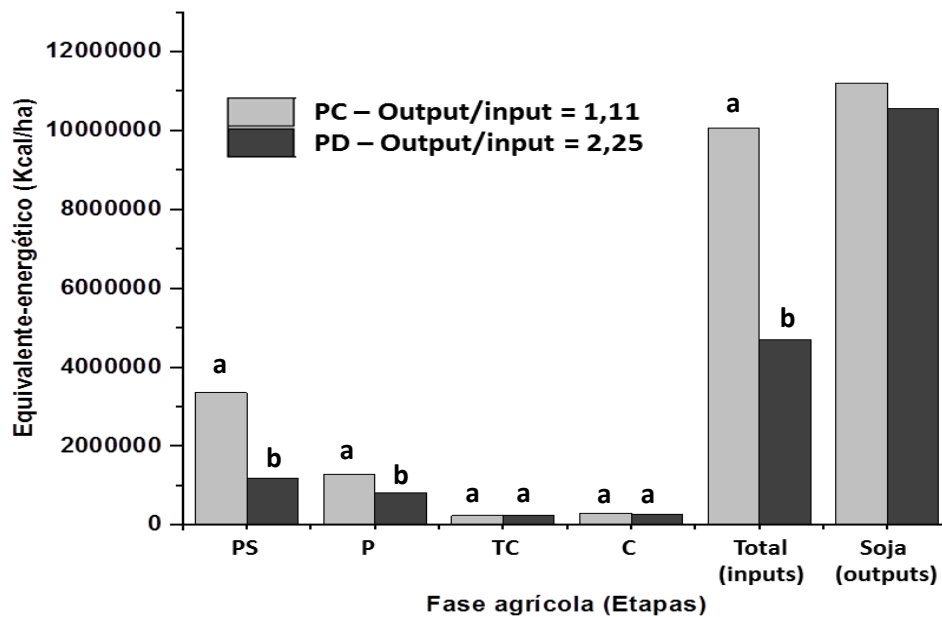
Verifica-se que houve um consumo de energia mais intenso na etapa do preparo do solo sob preparo do convencional, sendo  $3,35\text{E}+6$   $\text{Kcal.ha}^{-1}$  e  $1,17\text{E}+6$ , o que se verifica uma significativa diferença estatística em relação a esta fase do processo de cultivo considerando os dois modelos de cultivo, conforme se verifica na Figura 22.

As fontes mais relevantes nesse diferença no consumo de energia são uso intensivo de maquinário, por meio do processo de aração e gradagem, além da aplicação de uma quantidade expressiva de calcário (3t) gerando um equivalente-energético ( $\text{kcal.ha}^{-1}$ ) importante nesta etapa do processo de cultivo da do grão de soja, Tabela 17.

O balanço energético obtido foi de 1,11 e 2,25 (Figura 22) sob preparo convencional e plantio direto, respectivamente. Realizando um comparativo com índice considerado sustentável por Schroll (1994) que aponta um valor de (2,0 kcal de saída/entrada), constata-se que o preparo convencional mostrou-se menos eficiente no que tange o desempenho energético. Diante disso, o que se pode afirmar é que os resultados estão abaixo do índice considerado sustentável (2,0 kcal de saída/entrada) por Schroll (1994), considerando este índice, pode-se concluir que o sistema de cultivo conservacionista (plantio direto) mostrou-se mais eficiente nesse balanço energético.

No consumo energético intensivo verificado na etapa do preparo do solo umas das fontes determinantes para esse considerável valor no dispêndio da energia foi o consumo de diesel decorrente das operações do maquinário, como mostra a Figura 22. Ao passo que, no plantio direto é prescindível o uso de maquinário o que reduz, por conseguinte, o consumo de energia no preparo do solo sob plantio direto.

Essa diferença, também, foi reportada por Mesquita et al. (1982), na comparação entre três modelos de cultivo de grão de soja, em relação ao consumo de combustível, em Londrina – PR, sendo o consumo de óleo diesel em três sistemas de produção de soja em Londrina, PR, no entanto, nesse caso importa destacar o valor estimado, em percentual de 53,00% para o sistema plantio convencional e 26,30% no plantio direto, verificando menor consumo do mesmo em plantio direto.



**Figura 22.** Gráfico referente à energia consumida (kcal/ha) ao longo das etapas do cultivo do grão de soja, Santarém e Belterra, Oeste do Pará. **PS** -Preparo do solo; **P** - Plantio; **TC** - Tratos culturais e **C** - Colheita.

A estimativa do equivalente energético correspondente ao preparo do solo está associada ao consumo de combustível. Baseado em dados primários (unidades produtivas) e na quantidade física dos insumos consumidos por hectare nas propriedades agrícolas.

## 12.2 – DESEMPENHO ECONÔMICOS DO CULTIVO DO GRÃO DE SOJA ( Preparo convencional e direto)

Os dados de custos quantificados estão associados a variante de custos variáveis no que trata a fase da lavoura da cultura, os custos econômicos levantados referem-se à safra 2014/15.

Nos custos variáveis estão inclusos itens como: operação de máquinas e implementos; diesel consumido no uso do maquinário, corretivos do solo, mão-de-obra, sementes, fertilizantes, etc.

A Tabela 18 apresenta um comparativo dos custos de produção de soja plantada convencionalmente e com plantio direto. Os dados referentes aos custos por hectare que foram utilizados neste estudo foram obtidos com a aplicação de questionários e entrevistas

com a alguns agricultores e técnicos agrícolas, num período compreendido entre os meses de agosto a setembro de 2015, estes questionários, também, foram preenchidos pelas informações fornecidas por técnicos da Agrossanta e Agrotécnica sendo, complementados quando necessário pelos relatórios da Agriannual e Conab, 2015.

As entrevistas foram aplicadas a três produtores agrícolas. Esse número está associado à disponibilidade dos agricultores e a acessibilidade em suas propriedades nos municípios de Belterra e Santarém. Por este fato, a amostra foi intencional (não probabilística) conforme a abordagem de Oliveira (2013).

Os produtores foram selecionados, também, com base no cultivo do grão de soja sob o plantio direto e convencional em relação ao tempo na região, tecnologia de produção nos referidos municípios.

Os dados referentes aos custos de produção foram originários de informações primárias obtidas *in loco* e dados secundário com base na Agriannual (2015) e Conab (2015), com isso buscando obter juntamente com outros parâmetros indicativos para compreender a eficiência do desempenho da produção do grão de soja.

Na agricultura, os custos contabilizados são todos associados, tão somente, a lavoura do cultivo da soja, tais como sementes, operações agrícolas, fertilizantes, defensivos agrícolas, diesel, calcário e mão de obra.

Os custos econômicos é um parâmetro importante nesta análise, visto que, não se pode considerar outros indicadores visando entender a eficiência do desempenho da produção de um determinado produto, sem primar pelo desempenho econômico referente a este produto, pois como reporta (Santana, 2003; Oliveira et al., 2013), o controle dos custos constitui-se um critério competitivo fundamental para determinar a eficiência operacional, e para a formação de vantagens competitivas sustentáveis (Santana, 2003; Oliveira et al., 2013).

Para isso, os dados relativos ao custo gerado, somente na lavoura do grão de soja, foram determinados em relação ao preparo convencional e plantio direto, considerando a importância das etapas (preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita) do ciclo de cultivo sob os dois tipos de manejo do solo. Esses valores estão sumarizados na Tabela 18.

Para realizar a análise comparativa o custo econômico foi contabilizado para cada hectare (R\$/ha).

**Tabela 18.** . Valores médios dos custos econômicos da lavoura de soja para produzir 1 ha, Santarém e Belterra, Pará, safra 14/15.

Discriminação	Preparo convencional				Plantio direto		
	Unidade	Quantidade	Custo (R\$)		Quantidade	Custo (R\$)	
Unitário			Total	Unitário		Total	
<b>Insumos</b>							
<b>Recuperação de solos</b>							
Diesel	kg	200	2,50	500,00	120	2,50	300,00
Calcário	t	3,0	120,00	384,00	1,2	120,00	144,00
semente	kg	60	3,33	200,00	60	3,33	200,00
<b>Fertilizante</b>							
Inoculante	DS	2	3,50	7,00	2	7,00	7,00
Potássio	kg	200	6,00	1.200,00	100	6,00	600,00
Fósforo	kg	450	2,11	950,00	350	2,11	738,89
<b>Defensivos agrícolas</b>							
Herbicida 1 (glifosato)	L	2,2	18,00	39,60	1,2	18,00	21,60
Herbicida 2 (2,4 - D)	L	0,4	16,00	6,40	0,4	16,00	6,40
Espalhante ( Silcon)	L	0,05	78,00	3,90	0,05	78,00	3,90
Inseticida 1 (acefato)	L	0,7	55,00	38,50	0,7	55,00	38,50
Inseticida 2 ( Thiodicarb+Imidacloprid )	L	0,002	0,48	240,00	0,002	0,48	240,00
Inseticida 3 ( TRIFLUMUROM )	L	0,2	38,00	190,00	0,2	38,00	190,00
Inseticida 4 ( FLUBENDIAMIDA )	L	0,07	42,00	600,00	0,07	42,00	600,00
Fungicida 1 ( Carbendazin+thiran )	L	0,002	0,48	240,00	0,002	0,48	240,00
Fungicida 2 ( Trifloxytrobin+Ciproconazol)	L	0,4	80,00	200,00	0,4	80,00	200,00
<b>Operações</b>							
Distribuição de calcário	h/C	2,0	24,30	48,60	1,0	24,30	24,30
<b>Preparo do solo e plantio</b>							
Dessecação	h/D	n	n	n	0,4	34,00	85,00
Aração	h/A	1,5	52,50	35,00	n	n	n
Gradagem (2x)	h/G	1	60,00	60,00	n	n	n
Tratamento de sementes	h/T	0,5	5,00	10,00	0,5	5,00	10,00
Plantio direto	h/PD	n	n	n	0,5	45,00	90,00
Plantio e adubação	h/P	1					
<b>Tratos culturais</b>							
Aplicação de herbicida	h/P	0,5	85,00	170,00	0,5	85,00	170,00
Aplicação de herbicida	h/P	0,4	68,00	170,00	0,4	68,00	170,00
Adubação de cobertura	h/A	1	250,00	250,00	1	250,00	250,00
Aplicação de inseticida	h/P	0,4	52,00	130,00	0,4	52,00	130,00
Aplicação de inseticida	h/P	0,5	65,00	130,00	0,5	65,00	130,00
<b>Colheita</b>							
Colheita	h/c	1	400,00	400,00	1	400,00	400,00

Transporte interno	<b>h/t</b>	1	135,00	135,00	1	135,00	135,00
<b>Total</b>				2.414,32		2.324,32	

NOTA: h/d - hora/distribuição de calcário; h/H - hora/homem; h/P - hora/plantio; h/p - hora/pulverização; h/a - hora/adubação de cobertura; h/c - hora/colheita mecânica; h/t - hora/transporte interno.

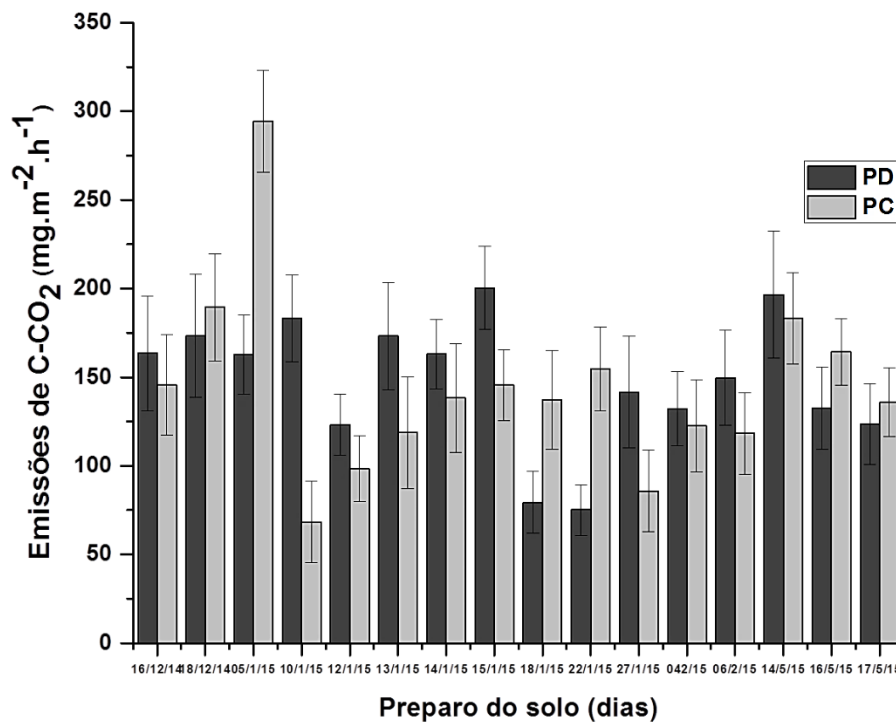
### **13–EMISSÕES DE C-CO<sub>2</sub> SOB CULTIVO DE GRÃOS (Soja – preparo convencional e plantio direto).**

#### **13.1 – Comparação das emissões de CO<sub>2</sub> entre o plantio direto e convencional**

O sistema de plantio direto (PD) promoveu emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo superior ( $p < 0,05$ ) ao sistema de preparo convencional (PC). Notou-se durante todas as etapas de preparo do solo (aração + gradagem, semeadura e colheita) que a execução destes processos condicionaram elevados valores de emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo durante o período de avaliação, conforme mostra a (figura 2). Durante todo o período de avaliação foi observado emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo mais elevados no sistema sob PC (Figura 23) quando comparado a PD, com médias de  $163.9 \pm 24.9$  e  $131.3 \pm 24.8$  mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 19), exceto nos dias 27/01/15 e 14/02/15, nos quais o efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo registrado no PD foi superior.

Valores próximos, embora inferiores aos obtidos neste trabalho foram reportados em estudo que avaliou a emissão de CO<sub>2</sub> derivada da aração e gradagem, no qual a emissão média do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo observada foi maior no tratamento que incluía a realização dos processos supracitados (La scala et al., 2001). Pode-se observar ainda na (Figura 23) que os maiores valores de emissão de C-CO<sub>2</sub> do solo foram registrados nos dias 22/12/14 e 07/01/15 durante o preparo do solo, sendo 250 e 345 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> para o PC, respectivamente, ocorrendo estes valores poucos dias após a execução de aração + gradagem e aplicação de calcário (3,0 tCaCO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>) no dia 07/01/15 que gerou um pulso (Figura 23) no emissões de C-CO<sub>2</sub> no valor de  $341,3 \pm 31,5$  mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> como o manejo da calagem foi facilitada pela mobilização do solo antes do cultivo da soja, este processo, possivelmente, criou condições favoráveis ao processo de decomposição e mineralização do C no solo justificando o elevado pico no efluxo de C-CO<sub>2</sub> (Anghinoni e Salet, 2000). A realização das subsequentes

operações de gradagem aradora geraram o valor mais elevado ( $341,3 \text{ mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) em relação aos demais dias avaliados. Já na etapa de semeadura, os valores de emissões de C-CO<sub>2</sub> registrados teve de aumento gradual tanto no PC quanto no PD (Figura 23) o que pode estar associada a intensa atividade autotrófica induzida pela aplicação substancial ( $300 \text{ kg NPK/ha}$ ) de fertilizante neste período.



**Figura 23.** Emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo nos sistemas de preparo do solo convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistema de rotação soja/milho. As barras indicam o desvio padrão da média.

O processo de aração e gradagem na fase de preparo do solo através da mobilidade do maquinário promove a quebra dos os agregados do solo deixando suscetível a matéria orgânica que pode se encontrar dentro de diferentes agregados do solo, sobretudo os macroagregados e microagregados oclusos dentro dos macroagregados (Six et al., 2000), tornando acessível o carbono particulado intragregados à atividade dos microbiana esse fato pode respaldar os valores de emissões mais elevados registrados na etapa de preparo do solo (16/12, 18/12/2014, Figura 23) quando comparado com a estágio de preparo do solo sob plantio direto. Em solos temperados, o principal mecanismo de proteção do carbono em agroecossistemas é a proteção física no interior dos agregados. Em solos tropicais, por outro lado, como os Latossolos, a proteção química pode ser o principal mecanismo de proteção de carbono (Zinn et al., 2005a; Denef et al., 2007). Neste caso, o impacto do preparo sobre o emissões de C-CO<sub>2</sub> pode ser menor do que o verificado em solos temperados.



A partir do dia 12/1/2015, observa-se, após um declínio nas emissões, uma dinâmica crescente nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo tanto sob preparo convencional quanto o sistema de plantio direto. Esse comportamento pode estar associado

No processo de colheita da soja que foi realizada em (14/05/2015) em ambos os sistemas de manejo foram registrados, nos dias subsequentes (15/05/2015), elevados valores de efluxo de C-CO<sub>2</sub>, este padrão no comportamento das emissões de C-CO<sub>2</sub> tem sido reportado por alguns autores analisando a cultura da soja alguns dias após a colheita (Recous, 1995; Campos, 2006; Oorts et al., 2007).

Estes elevados níveis de emissões aparentemente estão relacionados às maiores concentrações de carbono lábil, produto da senescência nodular, que é consumido e utilizado como substrato elementar para o crescimento das populações microbianas, favorecendo desta maneira à totalidade de microrganismos do solo.

As raízes da soja remanescentes no solo após a colheita continuam a emitir C-CO<sub>2</sub> durante o processo da sua decomposição, além disso, ocorre a quebra e corte das raízes durante o processo de colheita provocando o aumento nas emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo. (Recous, 1995; Oorts et al., 2007; Varner et al., 2003).

**Tabela 19.** Valores médios do fluxo de C-CO<sub>2</sub> (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), desvio padrão (DP), poros do solo preenchidos por água (PPA, %) e temperatura do solo à 5 cm de profundidade sob plantio direto e convencional durante o período de avaliação.

Data (Preparo)	Plantio direto				Preparo convencional			
	Fluxo de CO <sub>2</sub>	DP	PPA %	T °C	Fluxo de CO <sub>2</sub>	DP	PPA %	T °C
16 Dez. 2014	163,4	32,5	48,3	29,3	145,6	28,4	32,7	31,6
18 Dez. 2014	173,5	34,6	48,3	29,3	189,5	30,2	32,7	31,6
05 Jan. 2015	162,8	22,3	52,2	28,4	294,3	28,7	33,3	33,1
10 Jan. 2015	183,1	24,5	39,8	27,4	68,4	23,1	36,4	29,0
12 Jan. 2015	155,6	17,3	42,9	29,7	98,5	18,4	32,7	30,2
13 Jan. 2015	173,2	30,1	42,5	30,4	118,7	31,6	35,9	31,7
14 Jan. 2015	178,9	19,6	46,3	31,9	138,3	30,8	39,4	30,9

<b>15 Jan. 2015</b>	200,4	23,5	46,5	28,9	145,6	20,1	44,3	30,0
<b>18 Jan. 2015</b>	79,4	17,4	38,8	29,4	137,2	27,9	41,3	31,0
<b>22 Jan. 2015</b>	75,2	14,3	39,3	28,4	154,7	23,8	42,6	28,6
<b>27 Jan. 2015</b>	141,6	31,5	68,3	31,2	85,7	23	25,9	28,7
<b>04 Fev. 2015</b>	132,2	20,9	63,9	29,7	122,6	26	30,6	30,7
<b>06 Fev. 2015</b>	149,7	26,8	64,3	31,8	118,3	22,9	30,1	29,7
<b>14 Mai. 2015</b>	196,6	35,6	48,8	29,6	183,2	25,9	29,9	30,2
<b>16 Mai. 2015</b>	132,5	23,4	48,4	28,9	164,3	18,8	29,6	30,5
<b>17 Mai. 2015</b>	123,6	22,6	49,3	29,3	135,8	19,3	28,9	31,2
<b>Média</b>	<b>131,3</b>	<b>24,8</b>	<b>49,4</b>	<b>29,7</b>	<b>163,9</b>	<b>24,9</b>	<b>35,0</b>	<b>30,4</b>

### 13.2 – Correlação entre o emissões de CO<sub>2</sub> e a temperatura do solo

As emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo não sofre influência somente dos processos físicos e biológicos no solo, mas, também, pelos fatores ambientais como a temperatura e a umidade do solo, que são apontados como fatores de relevância no controle das taxas de emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo.

Neste abordagem,obteve-se alto coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,65$ ) e elevada significância ( $P < 0,01$ ) entre as emissões de C-CO<sub>2</sub> e temperatura do solo em PC, contrastando com o PD onde não houve correlação entre estas variáveis (Figura 24), indicando que há uma relação mais direta do efluxo de C-CO<sub>2</sub> em relação à temperatura do solo em PC, e que outros fatores, além da temperatura do solo, podem estar influenciando o emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo em PD. Dessa forma, a variação da temperatura média diária do solo explicou 65 % da variação nas emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo em PC.

Neste caso, a ausência de cobertura do solo em PC, ao permitir incidência direta de raios solares, aumentou a temperatura do solo, que, por sua vez, intensificou a atividade microbiana e, portanto, as emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

A temperatura do solo como fator controlador das emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo é um tema que tem despertado grande importância, sendo utilizada em modelos analíticos e

estatísticos nas previsões da emissão desse gás em solo de diversos ambientes (Moncrieff e Fang, 2001).

No solo em PD, o aporte de superficial de resíduos vegetais, mediante seus efeitos de diminuição na incidência direta de raios solares sobre o solo e conseqüente redução na perda de água (Salton e Mielniczuk, 1995) atuou no sentido de inibir o aumento da temperatura do solo em PC e, portanto, em reduzir as emissões C-CO<sub>2</sub> do solo à atmosfera. A produção do CO<sub>2</sub> no solo é basicamente resultado da atividade radicular e microbiana, a qual, em não havendo limitação de outros parâmetros (oxigênio, umidade, pH, compostos orgânicos, nutrientes etc.) é regulada pela temperatura do solo.

Esta interferência não se dá, somente, por conta das taxas de reações das atividades microbianas, mas também devido as propriedades físico-químicas do meio podem afetar como, a viscosidade e a tensão superficial da água do solo que afetam o processo de difusão de gases do solo à atmosfera (Paul e Clark, 1996). Outro ponto fundamental entre os sistemas de PC e PD quanto à produção de CO<sub>2</sub> é a composição microbiana e sua localização no perfil do solo, como destacado por Vargas (2002). Estes autores reportam que maiores populações de organismos desnitrificadores e de fungos situam-se em regiões mais superficiais do solo em PD e de microrganismos aeróbicos ao longo de toda a camada arável do solo em PC.

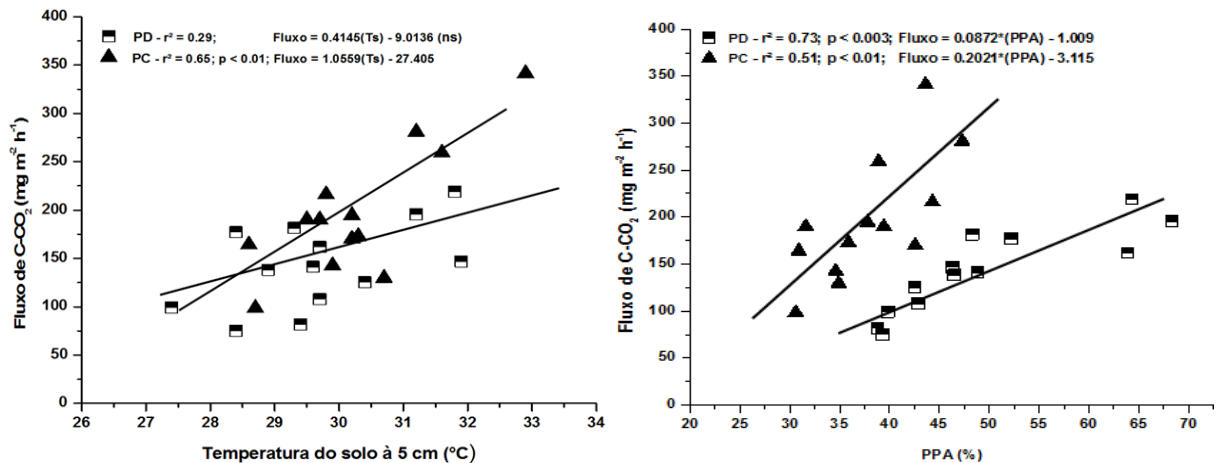
Estes aspectos estão associados com os efeitos dos sistemas de manejo do solo na distribuição de C e N ao longo do perfil do solo. Contudo, as alterações físicas desencadeadas pelo preparo, e que refletem na capacidade do solo em reter mais ou menos água, tem forte efeito sobre a composição e distribuição de microrganismos no perfil do solo.

### **13.4 – Correlação entre o emissões de CO<sub>2</sub> e a umidade do solo**

No sistema de PD foi observada uma tendência de maior umidade e conseqüentemente maior porosidade preenchida por água (PPA), sendo acompanhada por menor emissões de C-CO<sub>2</sub>, em relação ao PC, sendo que neste último sistema, a PPA reduziu drasticamente com as operações de preparo do solo (Tabela 3).

Os poros preenchidos por água (PPA) no período avaliado explicou 70 % e 51 %, respectivamente, em ambos os sistema (Figura 9) a variabilidade do emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo. Essa correlação positiva significativa ( $p < 0,05$ ) nos sistema de PD pode estar associada com a manutenção de resíduos na superfície do solo, evitando a incidência direta da radiação solar sobre o solo, e maior capacidade de armazenar água do solo em PD (Salton &

Mielniczuk, 1995; Costa et al., 2003; Tabela 3), devido ao seu maior estoque de C orgânico, condições estas que podem explicar parte dos resultados obtidos no presente estudo.



**Figura 24.** Correlação entre o fluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo e os poros preenchidos por água (PPA) sob plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) em sistemas de rotação de soja/milho.

No PC, também, foi observada correlação linear significativa entre emissões de C-CO<sub>2</sub> e umidade do solo ( $r^2=0,51$ ) (Figura 8), o que indicou, neste caso, maior dependência entre as emissões de C-CO<sub>2</sub> no solo em PC com a umidade, pela ausência dos resíduos de culturas na superfície do solo, o qual aumenta a temperatura do mesmo.

Alguns estudos têm demonstrado que as emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo indicam atividade microbiana no solo, aumentando exponencialmente ou linearmente com a temperatura e umidade do solo sendo por isto utilizado em modelos matemáticos de ecossistemas como uma constante (Xu & Qi, 2001).

Além do exposto em relação à temperatura e umidade do solo com emissões de C-CO<sub>2</sub>, Ouyang & Zheng (2000), enfatizaram, que a radiação solar é um dos processos importantes que governam os ciclos diurnos da temperatura do solo e a evaporação da água, controlando as taxas de produção de C-CO<sub>2</sub> no interior do solo, e assim as emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

#### 14 – ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL ( Emissões atmosféricas, uso de energia e uso do solo, custos econômicos)

Com base na discussão sobre a abordagem utilizando duas técnicas (ACV e câmara dinâmica de concentração), pode-se afirmar que a análise de impactos no meio ambiente é

considerada a terceira fase desta metodologia, com o intuito de sintetizar e discutir os resultados do inventário do ciclo de vida. O inventário é feito mediante a transferência do consumo de recursos, avaliando as emissões de impactos ambientais, permitindo, assim, uma melhor análise (Vieira, 2006).

Os dados registrados na Tabela 20 expressam as contribuições dos custos energéticos, econômicos e das emissões (CO<sub>2</sub> - equivalente e CO<sub>2</sub> - uso do solo) referentes ao processo de produção de grãos de soja, no que tange, os sistemas de preparo convencional e conservacionista (plantio direto).

Esses parâmetros foram avaliados considerando o fator etapas (Preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita) sob o preparo convencional e plantio direto.

**Tabela 20.** Dados impacto referente às emissões de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup>), emissões de CO<sub>2</sub> do solo (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), custos econômicos (R\$.ha<sup>-1</sup>) e energéticos (kcal.ha<sup>-1</sup>) relativas à safra 14/15 no Oeste do Pará.

<b><sup>a</sup>Emissões CO<sub>2</sub> - Combustível fóssil</b>			
<b>Plantio direto</b>		<b>Preparo convencional</b>	
Operações agrícolas	Emissões CO <sub>2</sub> e (Kg CO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup> )	Operações agrícolas	Emissões CO <sub>2</sub> e (Kg CO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup> )
Prep. do solo	206,2 (±52)	Prep. do solo	564,1(±70)
Plantio	310,3 (±37)	Plantio	342,9 (±32)
Tratos culturais	66,3 (±23)	Tratos culturais	173,4 (±12)
Colheita	38,08 (±5.5)	Colheita	38,08 (±4,6)

<b><sup>b</sup>Emissões CO<sub>2</sub>- Uso do solo</b>			
<b>Plantio direto</b>		<b>Preparo convencional</b>	
Operações agrícolas	Emissões (mg C-CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Operações agrícolas	Emissões do solo (mg C-CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
Prep. do solo	166,6 (± 29,8)	Prep. do solo	209,8 (± 29,1)
Plantio	154,6 (± 23,0)	Plantio	113,8 (± 21,8)
Tratos culturais	98,7 (± 22,2)	Tratos culturais	108,7 (± 24,7)
Colheita	150,9 (± 27,2)	Colheita	161,1 (± 21,7)

<b><sup>c</sup>Custos econômicos</b>			
<b>Plantio direto</b>		<b>Preparo convencional</b>	
Operações agrícolas	Custos (R\$.ha <sup>-1</sup> )	Operações agrícolas	Custos (R\$.ha <sup>-1</sup> )
Preparo do solo	444	Preparo do solo	654

Plantio	1015	Plantio	900
Tratos culturais	657	Tratos culturais	745
Colheita	235	Colheita	235

---

**<sup>d</sup> Equivalente - energético**

---

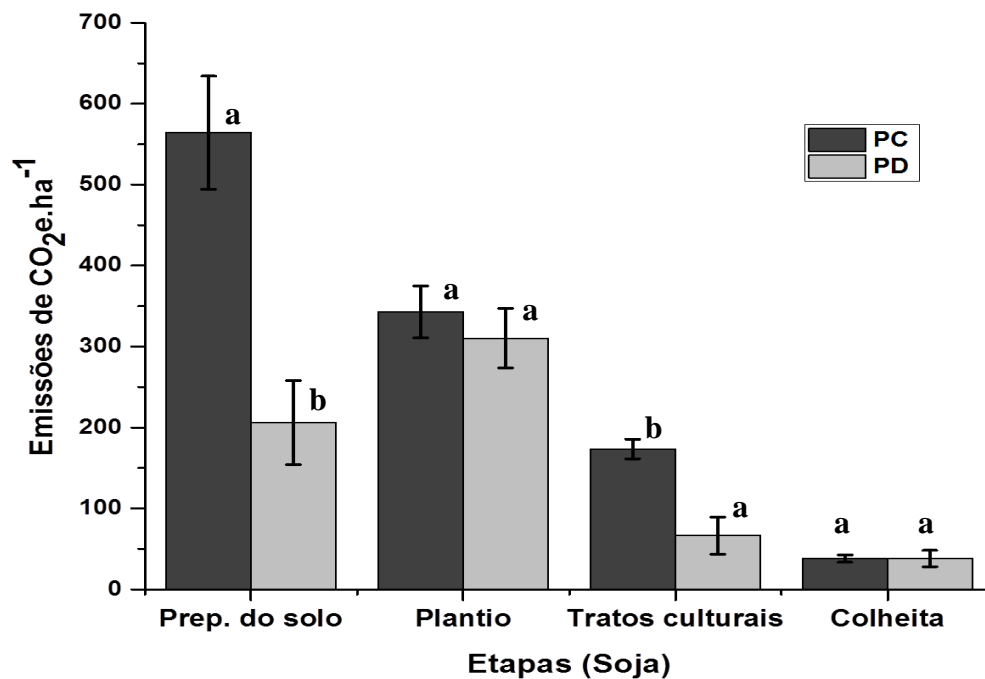
Operações agrícolas	<b>Plantio direto</b>	Operações agrícolas	<b>Preparo convencional</b>
	Equivalente energético (kcal*10 <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )		Equivalente energético (kcal*10 <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
Prep. Do solo	1170 (±174)	Prep. Do solo	3350 (±250)
Plantio	812 (±74)	Plantio	1290 (±68)
Tratos culturais	230,01 (±23)	Tratos culturais	233 (±22)
Colheita	269 (±45)	Colheita	303 (±32)

**Fonte:** **a** Dados de campo (Valores médios – Safra 15/16) Unidades produtivas, Agrossanta, Agrotécnica, Embrapa; **b** Valores médios – (Prep. do solo - n = 27, Plantio - n = 45, Tratos culturais - n = 45, Colheita - n = 27); **c** Dados de campo (Safra – 15/16), Imea, Agrianual e Conab; **d** Valores definidos com base em Pimentel & Pimentel, 2007.

#### 14.1 - Aquecimento global e efeito estufa

Na categoria de impacto ambiental (emissões atmosféricas), observam-se os impactos nocivos no tange às causas antropogênicas do aquecimento da atmosfera. Consoante o relatório do IPCC (2007), os GEE que mais contribui em termos de massa emitido à atmosfera, é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a intensificação do efeito estufa. A exclusão dos outros gases nessa investigação decorre desse fato. Nesta abordagem com base na ACV, utilizou-se o fator de emissão associado a cada fonte de emissão recomendado por IPCC (2006), que é dado em equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Observando os valores obtidos em relação às emissões de CO<sub>2</sub> e nos dois sistemas de cultivo, foi verificada diferença estatística nas etapas preparo do solo e tratos culturais



**Figura 25.** Valores médios de emissões de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup>) em relação as fases da lavoura da soja ( AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey para o nível de significância de 5%.

**Tabela 21.** Impactos para o aquecimento global e efeito estufa.

	Preparo convencional				Plantio direto			
	Preparo do solo	Plantio	Tratos culturais	Colheita	Preparo do solo	Plantio	Tratos culturais	Colheita
Emissão (kg.ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
	564,1	342,9	173,4	38,08	206,2	310,3	66,3	38,04
Coeficiente	1	1	1	1	1	1	1	1
Impacto (kg.ha <sup>-1</sup> )	564,1	342,9	173,4	38,08	206,2	310,3	66,3	38,04
Total equivalente de CO <sub>2</sub> (kg)	<b>1118,48</b>				<b>620,84</b>			

**Fonte:** Elaboração do autor com base em Vieira (2006).

No que trata o efeito estufa, a Figura 25 mostra esta categoria como equivalente total de CO<sub>2</sub> (kg.ha<sup>-1</sup>). A Tabela 21 reúne todos os números a fim de apontar todos os parâmetros para este impacto, tais como o CO<sub>2</sub> na produção de grão de soja considerando as etapas (preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita) sob preparo convencional e plantio direto. Contudo, em relação ao total de CO<sub>2</sub> equivalente associado ao sistema de cultivo conservacionista (plantio direto), constata-se uma redução substancial.

Observa-se que existe uma diferença substancial no tocante ao impacto ambiental ao comparar dos dois tipos de cultivo nas etapas, sobretudo, preparo do solo e plantio (Tabela 21).

## 14.2 – Uso de energia

Dentre as categorias de impacto ambiental o consumo de energia não renovável associada à agricultura foi destacada nesta avaliação nesse estudo por mostrar-se relevante no que tange as atividades agrícolas. No entanto, haja vista que nem todos os impactos foram analisados no presente estudo, considerou-se o consumo de energia associada com dadas fontes (insumos: calcário, combustível, fertilizantes, defensivos e outros) como uma categoria de impacto ambiental. O consumo de energia devido às operações agrícolas para cada etapa do ciclo da soja é mostrado na Tabela 20.

Analisando o consumo de energia ( $\text{kcal}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) representado na Figura 26, observou-se que houve efeito significativo quanto ao fator preparo do solo e plantio sob o sistema convencional e plantio direto. Expressa-se na Tabela 20 o consumo energético, o quantitativo físico por hectare e o valor calórico da cultura da soja (AS 3820 IPRO) com rendimento médio de  $3450 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e  $3250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  sob preparo convencional e plantio direto, respectivamente.

O custo energético em sistemas de produção agrícola, segundo CARVALHO et al., 2012, tem sido estudado como uma forma de apontar formas de manejo com maior eficiência e sustentável. Nota-se, conforme a expressa a Figura 26, diferenças estatísticas importante nas etapas do preparo do solo e plantio sob as duas formas de manejo do solo (PC e PD). O consumo energético na parte de preparo do solo foi estimado em  $1170 \text{ kcal}\cdot 10^3\cdot\text{ha}^{-1}$  e  $3350 \text{ kcal}\cdot 10^3\cdot\text{ha}^{-1}$  no sistema plantio direto e preparo convencional, respectivamente. No que tange o tratamento plantio, houve diferença estatística significativa entre PD e PC. Os valores obtidos foram de  $812 \text{ kcal}\cdot 10^3\cdot\text{ha}^{-1}$  e  $1290 \text{ kcal}\cdot 10^3\cdot\text{ha}^{-1}$  nos sistema de manejo do solo PD e PC, respectivamente, Tabela 20.

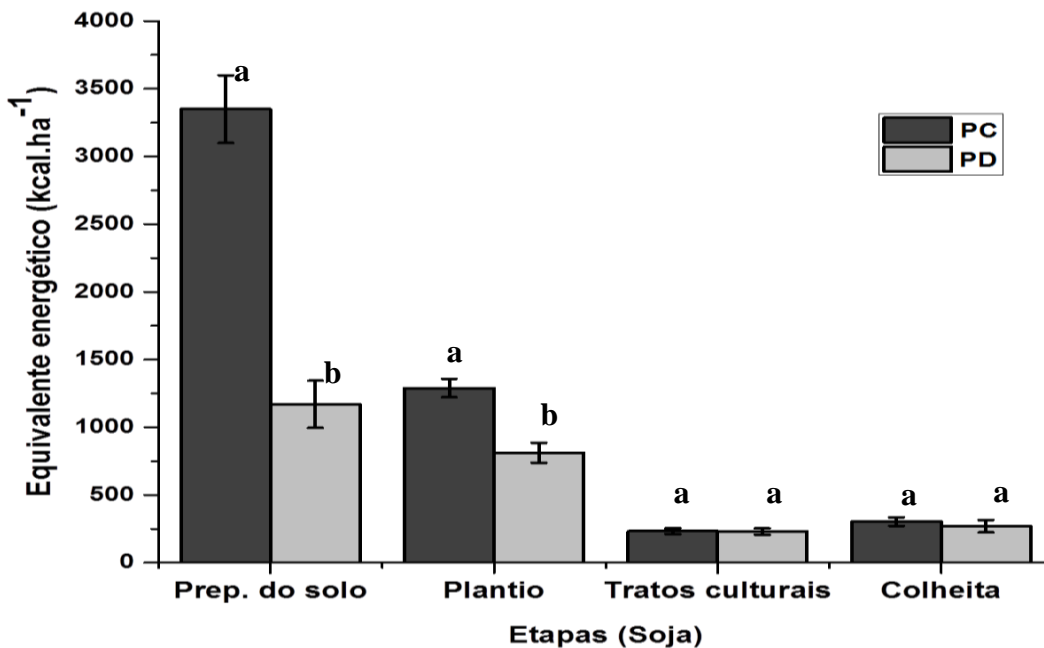
Essas diferenças podem estar associadas às fontes, dielele calcário, insumos consumidos em quantidades consideráveis na etapa de preparo do solo no sistema convencional sendo os equivalentes energéticos obtidos de  $1,97\text{E}+06$  e  $7,39\text{E}+05 \text{ kcal}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente, na fase de preparo do solo, Tabela 17.

O diesel torna-se uma das principais fontes ao se verificar essas diferença do dispêndio de energia, sob a forma de equivalente energético, no preparo do solo por conta do



sistema convencional que é caracterizado pelo uso intensivo de maquinário através de processos de aração e gradagem no solo. Campos et al., 2009, verificaram esse dispêndio de energia fóssil decorrente da utilização do maquinário nesse sistema, o que corrobora com a observação desse estudo.

No foi detectado diferença significativa no que trata as etapas tratos culturais e colheita ao se comparar os sistemas de cultivo PC e PD. A etapa da colheita última fase da lavoura, correspondendo a colheita mecânica e transporte interno, do processo produtivo é muito similar entre os dois tipos de manejo do solo (comunicação pessoal, agricultores – 2015), o que explica a ausência de diferença estatística significativa nesse estágio da fase agrícola da soja.



**Figura.26.** Equivalente – energético (kcal.ha<sup>-1</sup>) em relação às fases da lavoura da soja (AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey para o nível de significância de 5%

### 14.3 - Uso do solo (Emissões de CO<sub>2</sub>)

Essas é uma das categorias de impacto pouco incluída nas avaliações do ciclo de vida (ACV) no campo agrícola, de modo geral, quando se considera nas pesquisas esta categoria, abordam-se alguns aspectos relativos ao uso do solo

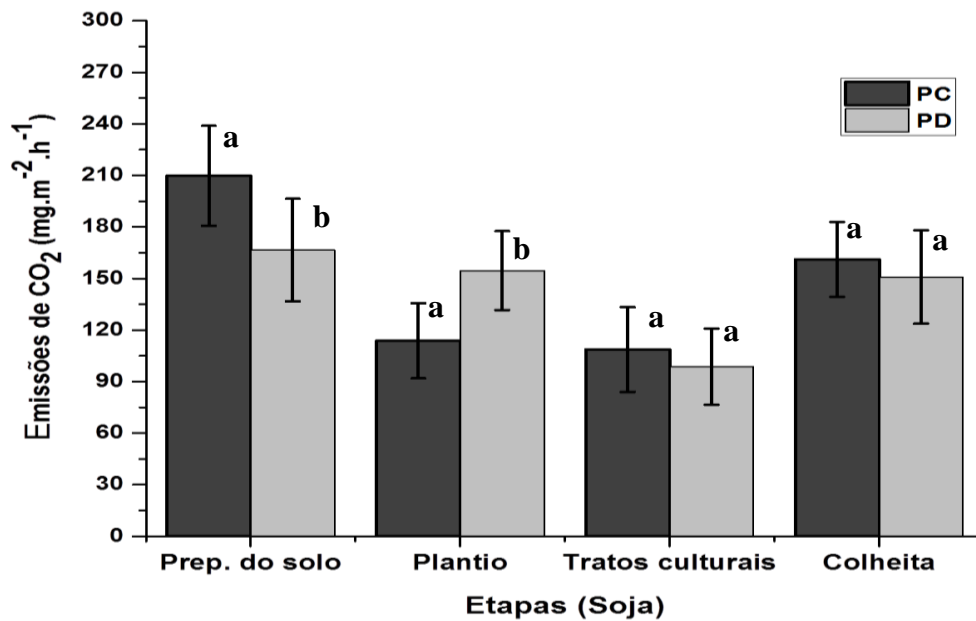
A Figura 23 processo de gradagem altera os agregados do solo e libera a matéria orgânica que pode se encontrar dentro de diferentes agregados do solo, esse mecanismo é explicado por Six et al., (2000) quando explicita que macroagregados e microagregados dentro dos macroagregados podem tornar acessível o carbono particulado intragregados à decomposição dos microrganismos.

Embora não se observe aporte vegetal no solo manejado por meio do sistema convencional quando se compara com plantio direto realizado através de rotação de cultura no local de estudo (soja/milho) que propicia um solo favorável à atividade microbiana, há outros fatores que concorrem na interferência da dinâmica das emissões de CO<sub>2</sub>, tais como a estabilidade dos agregados e a textura do solo que estão associados às dimensões do solo (CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012).

Em solos temperados, o principal mecanismo de proteção do carbono em agroecossistemas é a proteção física no interior dos agregados. Em solos tropicais, por outro lado, como os Latossolos, a proteção química pode ser o principal mecanismo de proteção de carbono (ZINN ET AL., 2005A; DENEFF ET AL., 2007). Neste caso, o impacto do preparo sobre o emissões de C-CO<sub>2</sub> pode ser menor do que o verificado em solos temperados.

No processo de colheita da soja que foi realizada em (14/05/2015) em ambos os sistemas de manejo foram registrados, nos dias subsequentes (15/05/2015), elevados valores de emissões de C-CO<sub>2</sub>, este padrão no comportamento das emissões de C-CO<sub>2</sub> tem sido verificado por alguns autores ao analisar a cultura da soja alguns dias após a colheita (RECOUS, 1995; CAMPOS, 2006; OORTS ET AL., 2007).

Os valores médios observados de emissão de CO<sub>2</sub> do solo na etapa de plantio do ciclo de cultivo é diferente estatisticamente entre PD e PC sendo as emissões superiores no plantio direto (Figura 27) fato que pode ser explicado pelo aporte de resíduos vegetais na superfície do solo que interfere na dinâmica das emissões de CO<sub>2</sub>, visto que constitui substrato para a comunidade microbiana do solo o que, conseqüentemente, influenciará nas emissões (



**Figura.27.** Valores médios de emissões de CO<sub>2</sub> (mg C-CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>) em relação as fases da lavoura da soja ( AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey para o nível de significância de 5%.

#### 14.4 – Custos econômicos (R\$.ha<sup>-1</sup>)

Este parâmetro foi incluído por constituir o principal critério na tomada de decisão no processo produtivo no campo agrícolas e, Avim et al., (2004), reforça esse fato ao afirmar que os custos econômicos são indicadores fundamentais quando se visa dimensionar a eficiência da atividade produtiva.

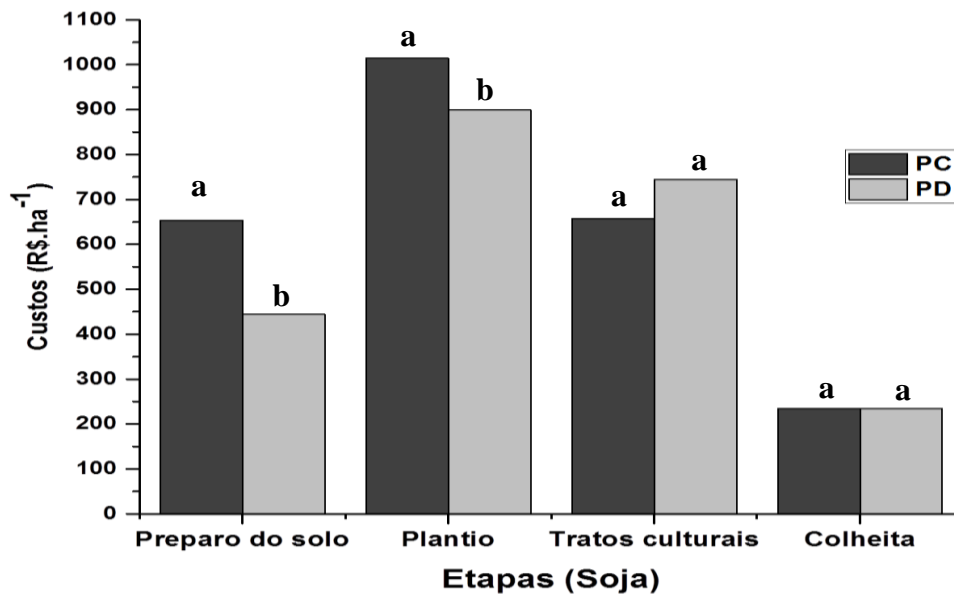
Embora sejam os custos monetários na atividade agrícola um dos principais indicadores na eficiência da produção, torna-se fundamental avaliar essa variável em conexão com as outras variáveis como a eficiência energética e as emissões de GEE.

Em relação aos custos econômicos durante o ciclo de cultivo da soja as etapas de preparo do solo e plantio mostraram-se mais onerosa sob preparo convencional e plantio direto.

Os valores observados em relação ao custo econômico evidenciou diferença significativa sob os dois tipos de sistemas de cultivo. No que tange o preparo do solo o custo foi estimado em R\$ 654,00 valor significativamente superior ao plantio direto referente a mesma etapa do processo produtivo que foi de R\$ 444,00 (Tabela 20)

Houve, também, analisando os dados (Tabela 20) diferença estatística significativa na fase do plantio entre os dois sistemas de cultivo. Sendo o valor obtido de R\$ 1014,00 no

preparo convencional e R\$ 900,00. Nessa etapa do processo de cultivo o adubo foi o insumo mais oneroso o que explica a importante diferença entre os dois sistemas. Oliveira et al., 2013, ao analisar os custos e rentabilidade da soja em diversas propriedades agrícolas nos municípios de Santarém e Belterra, verificou que o adubo foi o insumo que apresentou maior custo por hectare sendo R\$ 625,2 corroborando com o valor observado nesse trabalho.



**Figura.28.** Dados dos custos (R\$.ha<sup>-1</sup>) em relação as fases da lavoura da soja ( AS 3820 IPRO), Santarém e Belterra, Oeste do Pará – Safra 14/15.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey para o nível de significância de 5%

No que se refere a colheita dos dois sistemas de cultivo (PC e PD), verificou-se similaridade nos custos, sendo R\$ 269,00 nos dois sistemas de cultivo. Esse fato pode ser respaldado pela semelhança nas operações agrícolas que refletiram, certamente, nos custos econômicos em relação aos dois sistemas de cultivo.

## 15 – CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e discutidos é possível afirmar que:

- A abordagem conjunta entre as duas técnicas (ACV e câmara de concentração) mostrou-se eficiente em identificar as etapas mais críticas da fase agrícola da soja sob preparo convencional e plantio direto com base nos parâmetros ( Uso de energia, emissões de CO<sub>2</sub>e e CO<sub>2</sub> do solo, custos econômicos );
- O maior consumo de energia na produção de grão de soja ocorreu no sistema de cultivo convencional. A etapa do plantio foi o ponto mais crítico e responsável por este aumento no consumo decorrente do uso mais intenso de fertilizante, diesel (maquinário) e aplicação de herbicidas.
- Com base no desempenho energético, a sistema de produção da soja na fase agrícola mais sustentável é o plantio direto com uma razão (output/input) de 2,25;
- O uso de fertilizante, o diesel e calcário são os parâmetros que mais contribuem na fase agrícola em relação ao consumo de energia ao longo do desempenho energético.
- A umidade do solo e a temperatura constituem fatores controladores nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo;
- As etapas do preparo do solo e plantio contribuíram significativamente para o aumento nos custos econômicos do preparo do solo;
- O efeitos da prática dos sistemas de cultivo (PD e PC) foram mais significativos nas etapas iniciais (preparo do solo e plantio) do ciclo da lavoura da soja;
- O uso do solo revela-se uma categoria de impacto fundamental, tendo como parâmetro as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo, porém analisado de modo integrado com outras variáveis, o que foi possível na abordagem utilizando as duas técnicas (ACV e o método da câmara de concentração).

## 16 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma abordagem integradora torna-se cada vez mais urgente na atualidade. Foi à proposta deste trabalho, considerar determinados indicadores para que se tenha uma visão mais abrangente dos efeitos do manejo do solo nos parâmetros analisados.

Com o intuito de se fornecer subsídios para que o agricultor, após identificar os pontos críticos do ciclo produtivo, possa atuar de modo a aprimorar e fazer ajustes durante os procedimentos relacionados à sua atividade, sobretudo, no uso dos insumos agrícolas, das operações com maquinário, aplicação de defensivos agrícolas, ou seja, utilizar o recursos durante o ciclo produtivo de forma mais racional, para que, obtenção do produto final ocorra gerando o menor impacto ambiental possível.

A eficiência de uma atividade produtiva deixou de estar associada, meramente, a rentabilidade quando se considera o impacto no meio ambiente. Quanto o maior número de parâmetro analisados melhores as condições para se entender a eficiência e o quanto sustentável é uma dada atividade produtiva.

Foi este o caminho que buscou o presente estudo.

## 17 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, FERNANDO – Os desafios da Sustentabilidade, uma ruptura urgente. RJ, Ed. Campo/Elsevier, 2007.

AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; FABRIZZI, K.; NICOLOSO, R. S. O solo agrícola e o Mercado Internacional de Carbono. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemastropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 625-636.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 189-197, 2001.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. Journal of Environmental Quality, Madison, v. 35, p. 1599-1607, 2006.

BARLOW, J. ET AL. 2010 Using learning networks to understand complex systems: a case study of biological, geophysical and social research in the Amazon. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* **86**, 457-474 (doi:10.1111/j.1469-185X.2010.00155.x)

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v.124, p. 3-22, 2005.

BERTALANFFY, Lvon. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis, Editora Vozes, 1977.

CALDEIRA-PIRES, A.; RABELO, R.R; XAVIER, J.H.V. Uso potencial da análise do ciclo de vida (ACV) associada aos conceitos da produção orgânica aplicados à agricultura familiar. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília; v.19, n.2, p.149-178, 2002.

CAMPOS, B. C. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CARBONELL-BOJOLLO, R.M.; TORRES, M. A. R. R.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. 2012. Influence of soil and climate conditions on CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Water Air and Soil Pollut*, New York, v.223, n.1, p.3425-3435.

CASTRO, W. M. Análise espacial das mudanças na cobertura e uso da terra em Santarém e Belterra, Pará, Brasil. 2008.116f. Dissertação ( Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém. 2008.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 set. 2016.

COSTA, S. M. G. Grãos na floresta: estratégia expansionista do agronegócio na Amazônia. 2012. 312 f. Tese (Doutorado em planejamento do desenvolvimento. Universidade Federal do Pará, Belém. 2012.

CURRAN, Mary Ann. Environmental Life-Cycle Assessment. New York: Mc Graw-Hill, 1996.

CHEHEBE, J. R. Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14 000 –Rio de Janeiro: QualyMark Ed., CNI, 1997.

CORRÊA, M. N., FILGUEIRAS, G. C.; SANTANA, Antônio C. de. Mercado e dinâmica espacial da cadeia produtiva do arroz na Região Norte. *Novos Estudos Setoriais*, 3. Belém - PA: Banco da Amazônia, 2007.

COWELL, S.J. 1998. A avaliação ambiental do ciclo de vida dos sistemas agrícolas: Integração na tomada de decisões. Tese de Doutorado. Centro de Estratégia Ambiental da Universidade de Surrey, Guildford, Inglaterra.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.323-332, 2008a.

DA SILVA, D. J. O Paradigma Transdisciplinar: uma Perspectiva Metodológica para a Pesquisa Ambiental. In: PHILIPPI Jr., A. *Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais*, São Paulo, Editora Signus, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Caracterização dos solos da área do planalto de Se/terra, município de Santarém, Estado do Pará / Tarcísio Ewerton Rodrigues et al. - Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, 55p.; 22cm. - (Embrapa Amazônia Oriental Documentos, 115) <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>.

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de produção de soja – Paraná – 2007. Londrina, 2007. 217p.

EMBRAPA SOJA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. História e dados econômicos. Disponível em < [www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br) >. Acesso em: 23 setembro de 2015.

FAO. 2011. *The State of Forests in the Amazon Basin , Congo Basin and Southeast Asia* The State of Forests in the Amazon Basin , Congo Basin and. Rome: Food and Agriculture Administration, UN.



FAVA, R. DENISON, B. JONES, MA CURRAN, B. VIGON, S. (1991). Um quadro técnico para avaliações do ciclo de vida SETAC, Washington.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. **Carbon sequestration in soils**. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v.54, n.1, p.382-389, 1999.

FOLEY J, A.ET AL. 2011 Solutions for a cultivated planet. Nature. 478, 337 –342. (doi:10.1038/nature10452).

FEARNSIDE P. M., 2002: “Avança Brasil: environmental and social consequences of Brazil’s planned infrastructure in Amazonia”, in Environmental Management, vol.30, nº6, pp.735-747.

FLESSA, R, H. RUSER, P. DÖRSCH, T. KAMP, M.A. JIMENEZ, J.C. MUNCH, F. Beese Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany Agriculture, Ecosystems and Environment, 91 (2002), pp. 175–189.

GARDNER T, FERREIRA J, BARLOW J, LEES A, PARRY L, VIEIRA ICG, BERENGUER E, ABRAMOVAY R, ALEIXO A, ANDRETTI C, ARAGÃO LEOC, ÁVILA IAWS, BARDGETT RD, BATISTELLA M, BEGOTTI RA, BELDINI T, BLAS DE, BRAGA RF, BRAGA DL, BRITO JG, CAMARGO PB, CAMPOS F, CAMPOS VO, CARDOSO A, CARDOSO TM, CARVALHO DR, CASTELANI SA, CHAUL JCM, CERRI CE, COSTA FA, COSTA CDF, COUDEL E, COUTINHO AC, CUNHA D, D’ANTONA A, DEZINCOURT J, DIAS K, DURIGAN M, ESQUERDO JC DM, FERES J, FERRAZ SFB, FERREIRA AEM, FIORINI AC, FLORES LV, FRAZÃO FS, GARRETT R, GOMES AL, GONÇALVES KS, GUERRERO JB, HAMADA N, HUGHES RM, IGLIORI DC, JESUS E, JUEN L, JUNIOR M, JOSÉ L, JUNIOR MBO, JUNIOR RCO, JUNIOR CS, KAUFMANN P, KORASAKI V, LEAL CG, LEITÃO R, LIMA N, LOPES F, LOURIVAL R, LOUZADA JCL, NALLY RM, MARCHAND S, MAUÉS MM, MOREIRA F, MORSELLO C, NESSIMIAN NMJ, NUNES S, OLIVEIRA VHF, PARDINI R, PEREIRA HC, POMPEU OS, RIBAS CR, ROSSETTI F, SCHMIDT FA, SILVA R, SILVA RCVM, FONSECA T, SILVA MR, SILVEIRA J, SIQUEIRA JV, SOARES T, SOLAR RRC, TANCREDI NSH, THOMSON JRTORRES PC, MELLO FZV, VEIGA SCR, VENTURIERI AVIANA C, WEINHOLD D, ZANETTI R AND ZUANON J ( 2013). A social and ecological assessment of tropical land-uses at multiple scales: the Sustainable Amazon Network. Phil Trans R Soc B 20120166.

HANSEN, M.C., STEHMAN, S.V., POTAPOV, P.V., LOVELAND, T.R., TOWNSHEND, J.R.G., DEFRIES, R.S., PITTMAN, K.W., ARUNARWATI, B., STOLLE, F., STEININGER, M.K., CARROLL, M., DIMICELI, C., 2008. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105, 9439-9444.

KONAGESKI, T.F. 2015. ENSAIO DE COMPETIÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA (*Glycine Max*) NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA, SAFRA 2014/2015, EM QUERÊNCIA – MT. RURAL TÉCNICA EXPERIMENTOS AGRONÔMICOS LTDA. 29 p. IBGE. Mapa de Geomorfologia do Estado do Pará. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/geomorfologia/unidades\\_federacao/pa\\_geomorfologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/unidades_federacao/pa_geomorfologia.pdf)>. Acesso em: mar. 2015.

IPCC - 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, World Meteorological Organization, May.

IPCC - 2006. Volume 4 agriculture, forestry and other land use. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normas Climatológicas. 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2015. IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2001: the scientific basis. United Kingdom, 2001. Disponível em: <[http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/climate/ipcc\\_tar/wg1/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/)>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ISO 14041 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis. 1997.

ISO 14042 - Environmental Management - Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment . 1997.

ISO 14043 - Environmental Management - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation . 1997.

JANTALIA, C. P.; TARRÉ, R. M.; MACEDO, R. O.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de *Brachiaria*. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. O. (Org.). Manejo de sistemas agrícolas: Impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Genesis, 2006a. p. 157-170.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO<sub>2</sub> efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 38, p. 425-448, 2006.

LAMBIN, E. F. & MEYFROIDT, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. **108**, 3465–72. (doi:10.1073/pnas.1100480108).

LAHSEN, M. & NOBRE, C. A. 2007 Challenges of connecting international science and local level sustainability efforts: the case of the Large-Scale Biosphere–Atmosphere

Experiment in Amazonia. *Environmental Science & Policy* **10**, 62–74. (doi:10.1016/j.envsci.2006.10.005).

LEFROY E RYDBERG. Energy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecol. Model.*, 161 (2003), pp. 195-211.

LISBOA, C. C.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; CONANT, R. T.; FEIGL, B. E. Emissão de CO<sub>2</sub> de solos submetidos a um aumento de temperatura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Anais., 2006. 1 CD-ROM.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

LAL, R., KIMBLE, J. M., FOLLETT, R. F.; COLE, C. V. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Sleeping Bear Press*, 1998. p. 1-128.

MACHADO, J. A da C. *A Sustentabilidade de Sistemas Complexos: Conceitos Básicos para uma ciência do desenvolvimento sustentável: aspectos teóricos e práticos.* Belém, NUMA/UFGA, 2009.

MATTSSON, N., UNGER, T. EKVALL. (2004). Efeitos de perturbações em um sistema de dinâmica caso da produção de energia *Nordic J. Ind. Ecol.*

MMA, 2004. *Diagnóstico da Implantação do Proambiente.* Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente.

MI/MMA, 2003. *PLANO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL – PAS. Diagnóstico e estratégia.* Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente.

MOHAMMADSHIRAZI, A, A. AKRAM, S. RAFIEE. S,H .MOUSAVI. AVVAL, E. BAGHERI KALHOR. An analysis of energy use and relationship between inputs and energy production in the production of tangerine. *Renew sustain Rev energy*.16 (7) (2012), pp. 4.515-4.521.

MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D. L.; STUEUDLER, P. A. Soil carbon stocks of de Brazilian Amazon basin. *Soil Science Society of America Journal, Madson*, v. 59, n. 1, p. 244-247, 1995.

NKONYA E, KARSENTY A, MSANGI S, SOUZA CM, SHAH M, VOM BRAUN J, GALFORD G, PARK S. 2012. *Sustainable land use for the 21st century.* New York, NY: United Nations Department of Economic and Social Affairs. Department for Sustainable Development.

NERES, A. T. & PEREIRA, I. C.N. Análise da dinâmica da paisagem em Belterra (PA) no contexto da agricultura mecanizada: mudanças e processos. In: X ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA. Inovação e Sustentabilidade sob a Ótica da Economia Ecológica. Vitória, ES, Brasil. 2013.

NEPSTAD, D. et al. 2009 Environment. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science (New York, N.Y.)* **326**, 1350–1. (doi:10.1126/science.1182108).

NEPSTAD, D. C., MCGRATH, D. G. & SOARES-FILHO, B. 2011 Systemic conservation, REDD, and the future of the Amazon Basin. *Conservation Biology* **25**, 1113–6. (doi:10.1111/j.1523-1739.2011.01784.x)

OLIVEIRA, C. M; SANTANA, A.C; HOMMA, A.K.O. 2013. Os custos de produção e a rentabilidade da soja nos municípios de Santarém e Belterra, estado do Pará. *Acta Amazônica*. Vol. 43(1) 2013: 23 – 32.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, v. 48, p. 147-163, 2000.

PEARCE, DW, BARBIER, E. E MARKANDYA, A. (1988) Desenvolvimento Sustentável e Análise custo-benefício. *Papel 88/03*, Environmental Economics Centre, IIED / UCL de Londres .

PIMENTEL, D. Energy inputs in the World Energy production agriculture. 13-29 *Agric.*, 6 (1992), pp.

PIMENTEL, D., PIMENTEL, M. 2008. Food, energy and society. University Press of Colorado.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, v. 48, p. 147-163, 2000.

READ, D.; BEERLING, D.; CANNELL, M.; COX, P.; CURRAN, P.; GRACE, J.; INESON, P.; JARVIS, P.; MALHI, Y.; POWLSON, D.; SHEPHERD, J.; WOODWARD, I. The role of land carbon sinks in mitigating global climate change. London: Royal Society, 2001. 27 p.

RECOUS, S. Réponse des matières organiques des sols aux changements atmosphériques globaux. II. Effet de la température sur la minéralisation d'un résidu végétal (maïs) et de la matière organique des sols. *Ecosystèmes et Changements Globaux: Lês Dossiers de l'Environnement de l'INRA*, 8, p. 81–85, 1995 .

ROCHA, J. F. G. Solos da Região Sudeste do Município de Santarém Estado do Pará: Mapeamento e Classificação. 2014. 63f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia). Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém. 2014.

ROCHA, J. F. G. Solos da região sudeste do município de Santarém Estado do Pará: mapeamento e classificação.

SANTOS, F. C. Trocas gasosas de CH<sub>4</sub> E N<sub>2</sub>O ENTRE SOLO E ATMOSFERA EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA NOS MUNICÍPIOS DE BELTERRA E SANTARÉM, PARÁ. 2012. 60f. Dissertação ( Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia) Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém. 2012.

SANTANA, A.C. 2003. Análise da competitividade sistêmica da indústria de madeira no Estado do Pará. *Revista de Economia e Agronegócio*,1: 205-230.

SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.5, p.301-310, 1994. SISTER, GABRIEL – Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto, 2007.

SCHLESINGER, W. H. Carbon and Agriculture – Carbon sequestration in soils. *Science*, 284: 2095, 1999.

SCHLESINGER, W H (1997): *Biogeochemistry – An Analysis of Global Change* . 2nd. ed. Academic Press.

SMITH, K.A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 54, p. 779–791, 2003.

SMITH, K. A.; CONEN, F. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management*, v. 20, p. 255-263, 2004.

THERY H., 2005: “Situações da Amazônia no Brasil e no continente”, in: *Estudos avançados*, vol.19, no.53, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo.

WEIDEMA, B.P., 2003. Market Information in life cycle assessment. Report. Danish environmental protection agency.

WRI BRASIL. Metodologia do GHG Protocol da agricultura. Greenhouse Gas protocol. Unicamp. 54 p.

VIEIRA, A.L. 2006. RECICLAGEM E SOCIEDADE: uma abordagem social da análise do ciclo de vida das latas de alumínio. Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 294 p.

## 18 – ANEXO

### 18.1 – Imagens do sistema de cultivo de grãos – Soja (Plantio direto)



### 19.2 – Imagens do sistema de cultivo de grãos – Soja (Preparo convencional)



**19 – ANEXO**

19.1 – Publicação científica – Artigo

**African Journal of Agricultural  
Research**

**Assessing the impact of different tillage systems and  
land uses on CO<sub>2</sub>-C emissions in Eastern Amazonia**

Miércio Jorge Alves Ferreira Junior<sup>1\*</sup>, Raimundo Cosme de Oliveira Junior<sup>2</sup>, Rodrigo da Silva<sup>3</sup>, José Mauro de Sousa de Moura<sup>3</sup>, Alírio Furtado Neto<sup>1</sup>, Marcos Ximenes Ponte<sup>4</sup> and Troy Patrick Beldini<sup>3</sup>





				TRABALHO/SEM		

## 4) DADOS DE INSTALAÇÕES DE USO NA PRODUÇÃO

Instalação	Descrição: área, cobertura, piso...	Percentual de uso/produto	Estado de conservação (ótimo, bom ou regular)

## 5) DADOS SOBRE VEÍCULOS, MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA UP

Tipo	Descrição	Tempo de uso	Estado de conserv.	Horas uso/sistema/dia	Horas de prestação de serviço	Valor (R\$)

## 6) LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

## 6.1) Produção vegetal

## 6.1.1 Soja

Produção	Área	Produção Kg/TV por ha

## 6.1.1.1 Produção de soja por hectare = entrada energia-economia = Plantio direto

Mão-de-obra	Unidades	Custos (R\$)	Preparo do solo	Fertilizantes	Semeadura	Tratos culturais	Colheita
Maquinário							
Diesel							
Gasolina							
Nitrogênio							
Fósforo							
Potássio							

10) Ainda adota rotação de cultura (soja e milho)?

11) Qual é a produtividade média alcançada (ton soja/ha)?

	Produtividade média (Ton ou kg soja/ha)
Plantio direto	
Plantio convencional	

12) Qual é a produtividade média alcançada (ton ou kg arroz/ha)?

13) Qual é a produtividade média alcançada (ton ou kg milho/ha)?

14) Soja:

14.1 – Tamanho da área destinada para plantio (hectare):

14.2 – Plantio convencional:

14.3 – Plantio direto:

15) Arroz:

15.1 – Tamanho da área destinada para plantio (hectare):

16) Milho safrinha:

16.1 – Tamanho da área destinada para plantio (hectare):

16.1 – No caso da aplicação de fertilizantes, qual é a distância (km) entre a UP e a área de aplicação na lavoura?

17) Quais são as quantidades de calcário e gesso normalmente utilizadas em nas etapas produtivas? (preencha o quadro a seguir)

Corretivo	Quantidade (ton ou kg/ha)
Calcário	
Gesso	

O calcário normalmente utilizado é do tipo dolomítico ou calcítico?

Qual o tipo de maquinário utilizado no processo produtivo dos grãos?

Qual é a distância média de transporte entre os fornecedores de insumos (calcário, fertilizantes e defensivos agrícolas) e o galpão de estocagem desses insumos na lavoura? Assim mesmo, qual é a distância média entre o galpão de insumos e a área de aplicação dos mesmos? (preencher o quadro).

Insumo	Distancia (km ou m) entre o galpão de estocagem e a área de aplicação
Gesso	
Calcário	
Fertilizantes	
Defensivos agrícolas	

## 21 – ANEXO

21.1 – Relações de insumos agrícolas aplicados por hectare e os custos ao longo das operações agrícolas (Etapas da lavoura do grão de soja).

**Tabela 22.** Relação de produtos utilizados na produção de soja por hectare e seus respectivos custos no Oeste do Pará.

RELAÇÃO DE PRODUTOS E FASES DE APLICAÇÃO NA CULTURA DA SOJA						
PRODUTOS				CUSTO PRODUTO		PERIODO DE APLICAÇÃO
1ª DESSECAÇÃO	INGREDIENTE ATIVO	Controle/ finalidade	DOSE			30 DIAS ANTES DO PLANTIO
POLIFLEX	Adjuvante	ANTE DERIVA	30 ml/ha	78	2,34	
RONDUP	Glifosato	Dessecante	2,2, L/ha	18	39,60	
DMA 2,4 D	2,4 D	Herbicida	400 ml/ha	16	6,40	
				<b>TOTAL</b>	<b>48,34</b>	
2ª DESSECAÇÃO	INGREDIENTE ATIVO	Controle/ finalidade	DOSE			NO DIA DO PLANTIO
RONDUP	Glifosato	Dessecante	2,2, L/ha	18	39,60	
FLUMIZYN	Flumioxazyn	Herbicida	50 g/ha	400	20,00	
PERITO	ACEFATO	INSETICIDA	700 g/ha	55	38,50	
No termino usar o limpa tanque			1 LIT/2000 LIT	<b>TOTAL</b>	<b>98,10</b>	
TRATAMENTO DE SEMENTE	INGREDIENTE ATIVO	Controle/ finalidade	DOSE			NO DIA DO PLANTIO
CERTEZA OU ATENTO	Carbendazin+thiran	Fungicida	2 ml/kg	240	24,00	
CROPSTAR	IMIDA	PAQUINHA OU GRILO	5 ml/kg	280	56,00	
PREMIO	Thiodicarb+Imidacloprid	Inseticida	2 ml/kg	800	32,00	
NODULOS GOLD	Cobalto e Molibdênio	Micro Nutriente + Enraizador	100 ml/ha	120	12,00	
BIOMAX MILHO	AZOSPIRIOLO	Coinoculação	1	12	12,00	
BIAGRO NG LIQUIDO	Bradyrhizobium	Inoculante	2 DS/HÁ	7	7,00	
				<b>TOTAL</b>	<b>143,00</b>	
PÓS EMERGENTE	INGREDIENTE ATIVO	Controle/ finalidade	DOSE			TERCEIRO TRIFÓLIO
SILCON	ADJUVANTE	ante espumante e deriva	50 L/ha	78	2,34	
EXPRESS MANGANES			1 L/ha	12	12,00	
GLIZ MAX (SE PRECISAR)	Glifosato	Dessecante	2,2 L/ha	18	39,60	
				<b>TOTAL</b>	<b>53,94</b>	
SEGUNDA APLICAÇÃO V4/V5	INGREDIENTE ATIVO	Controle/ finalidade	DOSE			QUARTO/ QUINTO TRIFÓLIO
SILCON	ADJUVANTE	ante espumante e deriva	50 ml/ha	78	2,34	
CERTEIRO	TRIFLUMUROM	Inseticida	200 ml/ha	190	38,00	
PERITO	ACEFATO		700 g/ha	55	33,00	
CERCOBIN	Tiofanato metilico	MANCHAS	600 ml/ha	26	15,60	
SPHERE MAX	Trifloxytrobin+Ciproconazol	Fungicida	200 ml/ha	280	56,00	
BIO AMINO EXTRA	Hormonio e aminoácido	Fertilizante	500 ml/ha	40	20,00	
AUREO	ADJUVANTE	melhorar ação fungicida	250 ml/ha	15	3,75	
				<b>TOTAL</b>	<b>168,69</b>	
TERCEIRA APLICAÇÃO R1 início florada	INGREDIENTE ATIVO	Controle/ finalidade	DOSE			INICIO DA FLORAÇÃO
SILCON	ADJUVANTE	ante espumante e deriva	50 ml	78	2,34	

FITOPRESS COBRE	FOSFITO		250 ml/ha	50	12,50	
INCRIVEL	ACETAMIPRID + ALFACIPER	PERCEVEJO MOSCA	300 ml/ha	35	12,25	
FOX	Trifloxytrobin+protioconazol	Fungicida	400 ml/ha	200	80,00	
CERCOBIN	Tiofanato metilico	MANCHAS	600 ml/ha	26	15,60	
BELT	FLUBENDIAMIDA	inseticida para elcoverpa	70 ml/ha	600	42,00	
CERTEIRO	TRIFLUMUROM	Inseticida	200 ml/ha	190	38,00	
VERITAS	CARREADOR DE CALCIO	segurar flor e vagens	1 L/ha	60	60,00	
AUREO	Óleo Mineral	ADJUVANTE	250 ml/ha	15	3,75	
				<b>TOTAL</b>	<b>266,44</b>	
<b>QUARTA APLICAÇÃO R3</b>	<b>INGREDIENTE ATIVO</b>	<b>Controle/ finalidade</b>	<b>DOSE</b>			<b>20 DIAS APÓS A TERCEIRA APLICAÇÃO</b>
SILCON	ADJUVANTE	ante espumante e deriva	50 ml/ha	78	2,34	
FOX	Trifloxytrobin+protioconazol	Fungicida	400 ml/ha	200	80,00	
INTREPID			200 ml/ha	170	34,00	
LORSBAN	CLORIPIRIFOS	BIOLOGICO	1 L/ha	32	32,00	
CONNECT	imida + betaciflutrina	Mosca branca e percevejo	1 L/ha	46	46,00	
FITOPRESS COBRE	FOSFITO		250 ml/ha	50	12,50	
AUREO	Óleo Mineral		500 ml/ha	15	3,75	
				<b>TOTAL</b>	<b>210,59</b>	
<b>QUINTA APLICAÇÃO SOJA LOURANDO</b>	<b>INGREDIENTE ATIVO</b>	<b>Controle/ finalidade</b>	<b>DOSE</b>			<b>SOJA LOURANDO</b>
GRAMOXONE OU TOCHA	PARAQUAT	HERBICID	1 L/ha	22	22,00	
SILCON	Adjuvante	Espalhante	50 ml/há	78	2,34	
<b>Total</b>					<b>24,34</b>	
<b>Total geral</b>					<b>1013,44</b>	

Fonte:Entrevista com produtores agrícolas e técnicos agrícolas – AGROSSANTA; AGROTÉCNICA, 2016. Embrapa, 2016.