



**Universidade Federal do Tocantins  
Campus Universitário de Gurupi  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

**PAULO ABDALA BITTAR**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO DO  
CICLO DE VIDA DO ETANOL PRODUZIDO A PARTIR DA BATATA-  
DOCE CULTIVADA NO ESTADO DO TOCANTINS.**

**GURUPI - TO  
2016**



**Universidade Federal do Tocantins  
Campus Universitário de Gurupi  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

**PAULO ABDALA BITTAR**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO DO  
CICLO DE VIDA DO ETANOL PRODUZIDO A PARTIR DA BATATA-  
DOCE CULTIVADA NO ESTADO DO TOCANTINS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo A. L. Erasmo

**GURUPI - TO  
2016**

DEVE SER IMPRESSA NA FOLHA  
DA CONTRA CAPA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca da Universidade Federal do Tocantins**  
**Campus Universitário de Gurupi**

---

**Cutter**

Bittar, Paulo Abdala

Título: Avaliação do Desempenho Ambiental e Energético do Ciclo de Vida do Etanol produzido a partir da Batata-Doce cultivada no estado do Tocantins. / Paulo Abdala Bittar. - Gurupi, 2016.  
75f.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2016.  
Linha de pesquisa: Conservação e Gestão de Recursos Naturais  
Orientador: Prof. Dr. Eduardo A. L. Erasmo

1.Gestão Ambiental; 2.Biocombustível; 3.Degradação Ambiental. I. Erasmo, Eduardo A. L. II. Universidade Federal do Tocantins. III. (Avaliação do Desempenho Ambiental e Energético do Ciclo de Vida do Etanol produzido a partir da Batata-Doce cultivada no estado do Tocantins).

**CDD xxxx**

---

**Bibliotecária: Emanuele Santos**  
**CRB-2 / 1309**

**TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.**

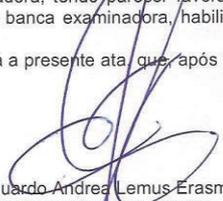


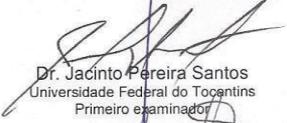
**Defesa nº 028/2016**

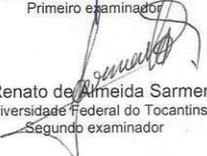
**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de PAULO ABDALA BITTAR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.**

Aos 23 dias do mês de agosto do ano de 2016, às 14:00 horas, na sala 15, do edifício BALA II, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. EDUARDO ANDREA LEMUS ERASMO da Universidade Federal do Tocantins, Prof Dr JACINTO PEREIRA SANTOS da Universidade Federal do Tocantins e Prof Dr RENATO DE ALMEIDA SARMENTO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de PAULO ABDALA BITTAR, intitulada "**Avaliação do desempenho ambiental e energético do ciclo de vida do etanol produzido a partir da batata-doce cultivada no estado do Tocantins**". Após a exposição, o(a) discente foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-o(a) ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

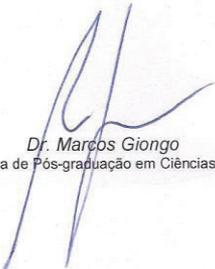
Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo  
Universidade Federal do Tocantins  
Orientador e presidente da banca examinadora

  
Dr. Jacinto Pereira Santos  
Universidade Federal do Tocantins  
Primeiro examinador

  
Dr. Renato de Almeida Sarmento  
Universidade Federal do Tocantins  
Segundo examinador

Gurupi, 23 de agosto de 2016.

  
Dr. Marcos Giongo  
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

## DEDICATÓRIA

*Ao meu pai (in memoriam) que  
continua presente através de valores  
e integridade.*

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria de agradecer em especial ao meu professor orientador, professor Dr. Eduardo A. L. Erasmo, por me aceitar como aluno orientado, pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos e por me disponibilizar os materiais necessários para que a elaboração desta dissertação fosse possível.

Agradeço também ao pesquisador do Centro Tecnológico Agroindustrial e Ambiental - CTAA, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, do campus de Palmas – TO, Wesley Rosa de Santana, pela receptividade e informações técnicas cedidas.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a minha esposa Claudia Auler, por me incentivar a seguir em frente nos momentos difíceis durante a realização do curso.

## RESUMO

Atualmente as organizações industriais notaram a importância de se preservar o meio ambiente e está demonstrando um crescente interesse em atuar de forma sustentável na utilização de matérias-primas para geração de produtos. Diante disso, métodos e ferramentas que permitam a identificação das relações existentes entre produtos e processos e o ambiente faz-se necessário. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho ambiental e energético do ciclo de vida da produção de etanol de batata-doce cultivada no Tocantins, e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi a ferramenta que permitiu analisar os potenciais impactos ambientais causados pela produção do etanol, desde a extração da matéria-prima a sua produção na usina, avaliando as fases agrícola e industrial do seu ciclo de vida. Com base nos resultados da ACV foi possível identificar que as categorias de impacto ambiental Mudança Climática, Eutrofização e Acidificação Terrestre tiveram as maiores contribuições relacionados à fase agrícola, cujas emissões de gases acidificantes, emissões de GEE e “usos de recursos energéticos não-renováveis” estiveram relacionadas ao uso de fertilizantes sintéticos e ao uso de combustíveis fósseis principalmente no processo de plantio e manejo no cultivo da batata-doce, o que indica a necessidade de uma utilização mais eficiente desses recursos. Na avaliação energética constatou-se o que a produção do etanol de batata-doce é viável em relação à energia líquida gerando o total de 1,36 MJ para cada unidade de energia consumida, e 1,76 MJ produzido para cada unidade de energia fóssil despendida para sua fabricação.

Palavras-chave: Gestão Ambiental; Biocombustível; Degradação Ambiental.

## **ABSTRACT**

Currently industrial organizations noted the importance of preserving the environment and is demonstrating a growing interest in acting in a sustainable way in the use of raw materials for generation of products. Therefore, methods and tools that enable the identification of the relationship between products and processes and the environment is necessary. This study aimed to evaluate the energy and environmental performance of the life cycle of sweet potato ethanol production grown in Tocantins, and the Life Cycle Assessment (LCA) was the tool that allowed us to analyze the potential environmental impacts for ethanol production, from extraction of raw materials to production at the plant, evaluating the agricultural and industrial phases of their life cycle. Based on LCA results was possible to identify the categories of environmental impact climate change, eutrophication and acidification Land had higher contributions related to the agricultural phase, whose emissions of acidifying gases, greenhouse gas emissions and "non-renewable energy resources use were" related to the use of synthetic fertilizers and the use of fossil fuels especially in the planting and management of sweet potato process, which indicates the need for a more efficient use of those resources. In the energy assessment it was found that the production of sweet potato ethanol is feasible in relation to net energy generating total of 1.36 MJ for each unit of energy consumed, and 1.76 MJ produced for each unit of fossil energy expended to manufacture.

Keywords: Environmental management; Biofuel; Environmental Degradation.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
3.1	BIOCOMBUSTÍVEIS.....	12
3.2	ETANOL.....	13
3.3	ALTERNATIVAS DE ESPÉCIES VEGETAIS PRODUTORAS DE ETANOL.....	15
3.4	CULTIVO DA BATATA-DOCE E DO ETANOL NO MUNDO .....	17
3.7	A BATATA-DOCE COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL .....	18
3.8	CULTIVO DA BATATA-DOCE NO MUNICÍPIO DE PALMAS - TO.....	20
3.9	FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE.....	23
3.9.1	<i>Pré-viveiro e Viveiro (pré-plantio)</i> .....	23
3.9.2	<i>Preparo da Área e Plantio</i> .....	23
3.9.3	<i>Tratos Culturais</i> .....	24
3.9.4	<i>Colheita e Armazenamento</i> .....	25
3.9.5	<i>Recepção da matéria prima e moagem</i> .....	26
3.9.6	<i>Processos para produção de Etanol</i> .....	26
3.9.7	<i>Fermentação</i> .....	27
3.9.8	<i>Sistema De Destilação</i> .....	27
3.9.9	<i>Geração de Co-produtos</i> .....	28
3.10	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA - ACV.....	28
3.11	DEFINIÇÃO DO ESCOPO: OBJETIVOS, UNIDADE FUNCIONAL E LIMITES DO SISTEMA .....	34
3.12	ANÁLISE DO INVENTÁRIO .....	35
3.13	ANÁLISE GLOBAL DO IMPACTO.....	35
3.14	ANÁLISE DAS MELHORIAS .....	36
3.15	PRINCIPAIS LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA .....	37
3.16	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	37
3.17	CATEGORIAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....	39
3.18	BALANÇO ENERGÉTICO .....	41
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
4.1	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	44
4.1.1	<i>Definição de objetivo e escopo</i> .....	44
4.1.2	<i>Sistema de produto</i> .....	44
4.1.3	<i>Função</i> .....	44
4.1.4	<i>Unidade Funcional</i> .....	44
4.1.5	<i>Limites do sistema</i> .....	45
4.2	GRÁFICOS E TABELAS .....	49
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>50</b>
5.1	AVALIAÇÃO DE IMPACTO .....	50
5.2	BALANÇO ENERGÉTICO – CED .....	58
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>63</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PRINCIPAIS PRODUTORES DE ETANOL NO MUNDO EM 2013 .....	15
TABELA 2: PRODUTIVIDADE DE BATATA-DOCE NO TOCANTINS E DA CANA-DE- AÇÚCAR NA REGIÃO SUDESTE POR ÁREA E PARA PRODUÇÃO DE ETANOL .....	16
TABELA 3: ESTRUTURA DAS NORMAS ISO 14000.....	32
TABELA 4: MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO NO SOFTWARE SIMAPRO 8.1©. ....	39
TABELA 5: CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO RECIPE.....	40
TABELA 6: INVENTÁRIO DAS FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE.....	47
TABELA 7: AVALIAÇÃO DE IMPACTO - CONTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS NAS CATEGORIAS DE IMPACTO. ....	51
TABELA 8: AVALIAÇÃO DE IMPACTO POR CONTRIBUIÇÃO DAS FASES DA PRODUÇÃO DO ETANOL. ....	56
TABELA 9: AVALIAÇÃO DE IMPACTO POR CENÁRIOS. ....	56
TABELA 10: ENTRADAS E SAÍDAS DE ENERGIA NO SISTEMA.....	60

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL DO CTAA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL DA BATATA-DOCE. ....	21
FIGURA 2: APLICAÇÃO DE INSUMOS AGRÍCOLAS NO CULTIVO DE BATATA-DOCE NA ÁREA EXPERIMENTAL DO CTAA. (FONTE: CTAA, 2016) .....	22
FIGURA 3: CULTIVO DE BATATA-DOCE NA ÁREA EXPERIMENTAL DO CTAA. (FONTE: CTAA, 2016) .....	22
FIGURA 4: BATATAS-DOCES COLHIDAS NA ÁREA DE PLANTIO EXPERIMENTAL DO CTAA. (FONTE: CTAA, 2016) .....	22
FIGURA 5: BATATAS-DOCES PARA PROCESSAMENTO NA MICRODESTILARIA DE ETANOL DO CTAA. (FONTE: CTAA, 2016) .....	22
FIGURA 6: CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO. (FONTE: ACV, 2010).....	29
FIGURA 7: FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DAS ETAPAS EMPREGADAS NA CONDUÇÃO DA ACV. (FONTE:ISO 14040, 2006). ....	33
FIGURA 8:FLUXOGRAMA REFERENTE À ENTRADA E SAÍDAS DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE. ....	46
FIGURA 9: ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DO ETANOL DE BATATA-DOCE POR PROCESSOS.....	51
FIGURA 10: ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DO ETANOL DA BATATA-DOCE DURANTE AS FASES AGRÍCOLA E INDUSTRIAL. (FONTE:SIMAPRO 8.1©, 2016) .....	55
FIGURA 11: COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DO ETANOL BATATA-DOCE TOCANTINS X ETANOL BATATA-DOCE (ECOINVENT) X ETANOL CANA-DE-AÇÚCAR BRASIL (ECOINVENT). (FONTE: SIMAPRO 8.1© 8.1, 2016.....	58
FIGURA 12: DEMANDA ACUMULADA DE ENERGIA - CED .....	59