

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Diego Ignacio Nieto Mogollón

Avaliação comparativa do ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma a partir de dois genótipos, *Elaeis Guineensis Jacq.* vs *Híbrido Interespecífico*, estudo de caso na Colômbia: impactos ambientais e balanço energético

Itajubá, Dezembro de 2020
MG - Brasil

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Avaliação comparativa do ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma a partir de dois genótipos, *Elaeis Guineensis* Jacq. vs *Híbrido Interespecífico* estudo de caso na Colômbia: impactos ambientais e balanço energético

Diego Ignacio Nieto Mogollón

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Electo Silva Lora

Co-Orientador: Prof. Osvaldo José Venturini.

Itajubá, Dezembro de 2020
MG - Brasil

DEDICATÓRIA

A DEUS.

À minha avó que deixou esta terra há cinco meses, mas ela deixou todo o seu grande amor comigo.

À minha mãe, Gloria Nayibe Mogollón Flórez, uma mulher valente, lutadora, guerreira incansável e que é uma educadora exemplar.

Ao meu Pai, José Ignacio Nieto Cervera, que com sua brilhante inteligência, liderança, humildade e dom de gente sempre será um grande exemplo.

Aos meus irmãos Sandra Nayibe e José Daniel a quem adoro.

AGRADECIMENTOS

A DEUS

A meu orientador Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora, pelo apoio, confiança e ajuda em cada uma das fases do mestrado. Obrigado pelas boas ideias, dicas e motivação permanente.

A meu Co-orientador Prof. Dr. Oswaldo José Venturini pelo apoio no projeto com a petrobras e pelos aportes técnicos no trabalho final.

A meu querido amigo Aldemar Martinez Gonzalez, pelo apoio no processo do mestrado, pela amizade e pelos conhecimentos.

A Erick Ocampo, pelo conhecimento e cada um dos aportes para meu trabalho.

Ao Dr. Jesús Alberto García Nuñez e ao David Munar de Cenipalma pelo apoio para o levantamento dos inventários na Colombia.

À PETROBRAS, e a CAPES pelo apoio financeiro que permitiu o meu avanço em mais um nível profissional

Ao NEST pela infraestrutura para poder desenvolver as pesquisas, e aos integrantes e amigos, York, Martha, Lilian, Reyes, Fernando, Lidiani, quem fizeram acompanhamento em tudo o processo de formação.

RESUMO

O óleo de palma bruto (OCP) é o maior óleo vegetal produzido no mundo. Em 2019, a produção de OCP foi de 72,3 milhões de toneladas por ano (35,45% da massa total do óleo vegetal produzido no mundo), seguida da soja com 56,8 milhões de toneladas por ano e do óleo de colza com 27,5 milhões de toneladas por ano. Contudo, nos últimos anos, devido à presença de doenças, as plantações do *híbrido interespecífico* *OxG*, um cruzamento entre a palma americana e a palma africana, aumentaram substancialmente na América Latina por causa de sua tolerância à doença de Amarelamento Fatal causada pela *Phytophthora palmivora*. Em razão disso, o objetivo chave desta pesquisa foi avaliar e comparar o balanço energético e a cadeia de produção de biodiesel a partir dos genótipos de palma *E. guineensis* Jacq. e *Híbrido Interespecífico(OxG)*, para a situação agroindustrial atual na Colômbia. Para tais fins, foi realizada uma análise energética e indicadores de desempenho de 1ª lei da termodinâmica foram calculados para determinar o modo em que a energia é aproveitada em cada processo, assim como o potencial de aproveitamento da energia da palma por hectare. Logo, foi realizada uma análise comparativa do tipo “*cradle-to-gate*” para verificar o desempenho ambiental dos genótipos em questão. A unidade funcional foi definida como 1.0 MJ de energia produzida, e os impactos foram modelados usando o pacote de software *SimaPro v.8.0.3* (Pré Consultants) e quantificados usando o método *Impact 2002 +*. Os resultados obtidos da análise termodinâmica expõem uma redução de 6.2% na eficiência global do sistema, se comparado com o biodiesel oriundo do *E. guineensis* Jacq., no entanto, o potencial de melhora que possui a produção de biocombustíveis a partir do genótipo *Híbrido Interespecífico(OxG)*, especificamente na etapa de extração do óleo, pela atual ineficiência existente nos subsistemas mecânicos (esterilização, separação, prensado, trituração, etc.) é de mais do que 4% na produtividade energética por hectare. As emissões de CO_{2eq} do ciclo de vida do biodiesel com base na fruta tradicional foi de 12,5 g MJ_{BD}⁻¹, sem contar o sequestro de carbono. Em comparação, as emissões de CO_{2eq} de biodiesel produzido pela fruta híbrida foi de 13,8 g MJ_{BD}⁻¹. Por tais fatos os indicadores de eficiência do ciclo de vida do biodiesel produzido pela fruta híbrida apresentaram valores menores ao do biodiesel convencional, reduções de 26.9% e 19.7% no NER_{Total} e FER, respectivamente. Porém, se comparado com a produção de biodiesel de outras pesquisas de palma observa-se um melhor aproveitamento energético de até 1.2 unidades energéticas, assim como uma maior renovabilidade de até 3 unidades energéticas. Por conseguinte, este artigo conclui que o genótipo *Híbrido Interespecífico(OxG)* possui um potencial latente à produção de energia, combustíveis e alimentos, com baixos impactos ambientais.

Palavras-chave: Óleo de palma, Híbrido interespecífico OxG, Balanço energético, Avaliação do ciclo de vida, Biodiesel.

ABSTRACT

Crude Palm Oil (OCP) is the largest vegetable oil produced in the world. In 2019, OCP production was 72.3 million tons per year (35.45% of the mass of total vegetable oil produced in the world), followed by soybeans with 56.8 million tons per year, and rapeseed oil with 27.5 million tons per year. However, in recent years, due to the presence of diseases, plantations of the *Híbrido Interespecífico O×G*, a cross between the American palm and the African palm, increased substantially in Latin America because of its tolerance to the bud rot disease caused by *Phytophthora palmivora*. As a result, the key objective of this research was to evaluate and compare the energy balance and the biodiesel production chain from the *E. guineensis Jacq* palm genotypes and *Híbrido Interespecífico(OxG)*, or the current agro-industrial situation in Colombia. For such purposes, an energy analysis was carried out and performance indicators of the 1st law of thermodynamics were calculated to determine the way in which energy is used in each process, as well as the potential for using palm energy per hectare. Therefore, a comparative “*cradle-to-gate*” analysis was carried out to verify the environmental performance of the genotypes in question. The functional unit was defined as 1.0 MJ of energy produced, and the impacts were modeled using the software package *SimaPro v.8.0.3* (Pre Consultants) and quantified using the *Impact 2002 +* method. The results obtained from the thermodynamic analysis show a 6.2% reduction in the overall efficiency of the system, when compared with the biodiesel from *E. guineensis Jacq.*, Nonetheless, the potential for improvement that biofuels production has from the *Híbrido Interespecífico(OxG) genotype*, specifically in the oil extraction stage, due to the current inefficiency existing in the mechanical subsystems (sterilization, separation, pressing, crushing, etc.) it is more than 4% in energy productivity per hectare. CO_{2eq} emissions from the biodiesel life cycle based on traditional fruit was 12.5 g MJ_{BD}⁻¹, not counting carbon sequestration. In comparison, the CO_{2eq} emissions of biodiesel produced by the hybrid fruit was 13.8 g MJ_{BD}⁻¹. For these facts, the efficiency indicators of the life cycle of biodiesel produced by hybrid fruit showed lower values than those of conventional biodiesel, reductions of 26.9% and 19.7% in NER_{Total} and FER, respectively. Nevertheless, when compared with the biodiesel production of other palm researches, a better energy use of up to 1.2 energy units is observed, as well as a greater renewability of up to 3 energy units. Thus, this article concludes that the *Híbrido Interespecífico(OxG)* genotype has a latent potential for the production of energy, fuels and food, with low environmental impact.

Keywords: Palm Oil, *Híbrido InterespecíficoOxG*, Energetic balance, Life Cycle Assessment, Biodiesel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cultivo de palma africana. Fonte: Autor	30
Figura 2 - Fruto da palma africana. Fonte: Revista Palmas 2006.....	31
Figura 3- Mapa do plantio da palma de dendê na Colômbia.....	32
Fonte: (FEDEPALMA, 2019)	32
Figura 4 - Distribuição dos hectares do dendê Híbrido Interespecífico (<i>Elaeis Oleífera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i>). (AYALA; ROMERO, 2019)	33
Figura 5 - Estágios de produção e produtos da cadeia produtiva do óleo de palma. Tomado de (YÁÑEZ ANGARITA, 2008)	35
Figura 6 - Cacho de fruta fresca e frutos <i>Elaeis Guineensis</i> Jacq. Fonte: Autor	37
Figura 7- Produtividade em campo ton. CFF/ha.ano para <i>Elaeis Guineensis</i> por regiões na Colômbia Tomado de (MOSQUERA <i>et al.</i> , 2018)	38
Figura 8. Palma híbrida interespecífica <i>Elaeis Guineensis</i> x <i>Elaeis Oleífera</i>	40
Figura 9. Esquema do cruzamento genético do Híbrido Interespecífico <i>Elaeis Oleífera</i> X <i>Elaeis Guineensis</i> OxG. (AYALA; ROMERO, 2019).....	41
Figura 10. Diferentes características entre a palma do Híbrido interespecífico OxG e a palma <i>Elaeis Guineensis</i> . Fonte: Elaborado pelo autor.	42
Figura 11. Progresso de maturidade dos frutos e classificação dos frutos de acordo a sua posição. a) Híbrido interespecífico OxG. b) Frutos <i>Elaeis Guineensis</i> Jacq. (FONTE: P.HORMAZA 2010)	44
Figura 12. A estrutura do cacho de fruta fresca <i>Elaeis Guineensis</i> Fonte: Autor.....	45
Figura 13. A estrutura do cacho de fruta fresca híbrido Interespecífico <i>Elaeis Oleífera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i> (Polinização Convencional) Fonte: Autor	45
Figura 14. A estrutura do cacho de fruta fresca híbrido Interespecífico <i>Elaeis Oleífera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i> (Polinização Artificial com ácido naftalenacético ANA) Fonte: Autor	46
Figura 15. Diferenças no estípite da palma do híbrido interespecífico (à esquerda) e <i>Elaeis Guineensis</i> (à direita), para uma mesma idade de cultivo. .(FONTE: P.HORMAZA 2010)	47

Figura 16 - Foto comparativa da a) Palma africana e cachos de fruta fresca (<i>Elaeis Guineensis</i>) e b) Palma Híbrida Interespecífica e cachos de fruta fresca (<i>Elaeis Oleifera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i>).(FONTE: P.HORMAZA 2010).....	47
Figura 17. Esquema de arquitetura das raízes na palma de dendê de 8 anos de semeadura, imagem pegada de (FORERO HERNÁNDEZ et al., 2012)	48
Figura 18.- Comparativo Cacho de Fruta Fresca Maduro CFF <i>Guineensis</i> (à esquerda) e CFF Híbrido Interespecífico (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012).....	49
Figura 19- Língulas <i>Elaeis Guineensis</i> (à esquerda) e Híbrido Interespecífico (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012).....	50
Figura 20 - Tipos de Frutos contidos nos cachos, <i>Guineensis</i> (à esquerda) e Híbrido (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012).....	50
Figura 21 - Frutos de palma de azeite de <i>Elaeis Guineensis</i> Ténera (A) e Híbrido interespecífico (B). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012)	50
Figura 22 - Foto transversal de fruto partenocárpico dos CFF <i>Elaeis Guineensis</i> (à esquerda) vs Híbrido Interespecífico OxG (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012).....	51
Figura 23. Produtividade em campo ton. CFF/ha.ano para Híbrido Interespecífico por regiões na Colômbia Tomado de (MOSQUERA <i>et al.</i> , 2018)	52
Figura 24. Comparação da produtividade em campo nas diferentes regiões da Colômbia em toneladas de cachos de fruta fresca por hectare ano(MOSQUERA <i>et al.</i> , 2018).....	53
Figura 25 - Perda de peso (% Umidade) para 15 dias de avaliação depois da colheita dos CFF (NIETO, Diego Ignacio, 2013).....	55
Figura 26. Ciclos de esterilização de CFF <i>Elaeis Guineensis</i> vs Híbrido interespecífico OxG (NIETO, Diego Ignacio, 2013).....	55
Figura 27. Distribuição atual na Colômbia das usinas produtoras de biodiesel. (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019)	62
Figura 28. Diagrama de transesterificação de óleo de palma refinado (OCAMPO BATLLE, 2019)	63
Figura 29-Reação de Transesterificação(OCAMPO BATLLE et al., 2020).....	63

Figura 30. Diagrama típico do uso de vapor na geração de eletricidade e depois nos processos	64
Figura 31. Fotografia de uma turbina utilizada nas usinas de extração de óleo. (Fonte: GUAICARAMO 2019)	65
Figura 32. Motor de Combustão interna de Biogas. (Fonte: GUAICARAMO 2019)	74
Figura 33. Etapas do Ciclo de vida. (Fonte: RUBIN, 2001)	74
Figura 34. Estrutura da Norma ISSO. (Fonte: FINKBEINER& INABA et al., 2006)	76
Figura 35. Fases de um ACV. (Fonte: CHEHEBE, 1998)	77
Figura 36. Categorias de impactos intermediários (<i>midpoint</i>) e danos (<i>endpoint</i>) para o método IMPACT 2002+ (adaptado de Jolliet et al. (2003)).....	83
Figura 37. Fluxos de quantidade de faixa e variação com base em 11 estudos de referencia de ACV.*	85
Figura 38 - Fluxograma da metodologia para análise termodinâmica e ambiental dos diferentes genótipos considerados. Fonte: Autor	94
Figura 39: Híbrido Interespecífico(OxG).	95
Figura 40. Diagrama com os valores de entrada para a balanço de inventário. Fonte: Autor .	97
Figura 41. Sistema de Cogeração . Fonte: Autor.....	98
Figura 42. Limites do sistema dos produtos analisados.	103
Figura 44. Principais entradas e saídas do estágio de cultivo ou plantio. Fonte:Autor	105
Figura 45. Principais entradas e saídas da planta de beneficiamento, da usina de refino e da usina de produção de \biodiesel. Fonte:Autor	106
Figura 46. Diagrama da refinação de óleo de palma refinado.....	108
Figura 47. Diagrama da transesterificação de óleo de palma refinado.....	109
Figura 48- Vista Aérea do Plantio e vista do estado no mapa da Colombia. (Fonte Google Earth 2019)	118
Figura 49 Distribuição das variedades genéticas semeadas da Elaeis Guineensis. Fonte Autor 2020	120

Figura 50. Distribuição das variedades genéticas semeadas do Híbrido (Elaeis Oleifera x Elaeis Guineensis). Autor 2020.....	121
Figura 51. Distribuição do número de palmas por hectare e metros a que as palmas são semeadas para o Guineenses. Fonte:Autor 2020	122
Figura 52. Distribuição do número de palmas por hectare e metros a que as palmas são semeadas para o Híbrido.....	123
Figura 53. Comportamento da produtividade versus a idade da palma por material Guineensis e material Híbrido com e sem Irrigação.	124
Figura 54 Distribuição da aplicação de agroquímicos nos plantios do dendê. Fonte: Pesquisa de campo.	125
Figura 55 - Consumo de fertilizantes. (FONTE: Pesquisa de campo, 2018)	128
Figura 56. Fotografia palmas do dendê semeadas ano 2001, 11 anos de idade, à esquerda híbrido interespecífico OxG, à direita Elaeis Guineensis Jaq. (Fonte: Autor).....	133
Figura 57. Fotografia palmas do dendê semeadas ano 2005, 15 anos de idade, à esquerda híbrido interespecífico OxG, à direita Elaeis Guineensis Jaq. (Fonte: Autor).....	133
Figura 58. Fotografia palmas do dendê semeadas ano 1998, 22 anos de idade, à esquerda híbrido interespecífico OxG, à direita Elaeis Guineensis Jaq. (Fonte: Autor).....	134
Figura 59. Descrição da metodologia para determinação de medidas vegetativas no Elaeis Guineensis e no Híbrido Interespecífico (CENIPALMA, 2006)	135
Figura 60. Representação das medidas vegetativas e determinação de teor de carbono nas palmas de 15 anos de idade. Semeadura 2005	137
Figura 61. Representação das medidas vegetativas e determinação de teor de carbono nas palmas de 22 anos de idade. Semeadura 1998	137
Figura 62. Teor de estoque de carbono na palma Elaeis Guineensis Jaq e no Híbrido Interespecífico	140
Figura 63 – Resumo do balanço do inventario no campo e usina de extração para a produção de 1 tonelada de azeite de palma Elaeis Guineensis.....	143

Figura 64 - Resumo do balanço do inventário no campo e usina de extração para a produção de 1 tonelada de azeite de palma do <i>Híbrido Interespecífico E.O. x E.G.</i>	144
Figura 65. Cachos de Fruta Fresca, processados na Usina de Extração para o ano 2018	146
Figura 66. Comportamento da Taxa de extração de óleo (%TEO) de palma na usina, para o E. Guineensis e o Híbrido Interespecífico E.O.xE.G. para o ano 2018.	146
Figura 67. Comportamento da extração de óleo de palmiste e da amêndoa na usina para o ano 2018.	147
Figura 68. Comportamento da distribuição da extração de óleo de palmiste e torta de palmiste para o ano 2018.	147
Figura 69. Indicadores de consumo de combustíveis em galões e sua relação ao processamento de CFF para o ano 2018.....	148
Figura 70. Consumo de água em m ³ da usina de extração de óleo de palma para o ano 2018.	149
Figura 71. Comportamento da geração de energia elétrica na usina de extração para o ano 2018.	150
Figura 72. Distribuição de Geração da energia da Usina de extração do óleo para o ano 2018.	151
Figura 73. Comportamento da geração da energia elétrica total na usina versus o indicador de consumo de kWh/t CFF.	151
Figura 74. Balanço de massa e de energia da produção de 1 tonelada do Biosiesel a partir do genótipo <i>Elaeis Guineensis</i>	160
Figura 75. Balanço de massa e de energia da produção de 1 tonelada do Biodiesel a partir do genótipo Híbrido interespecífico (E.O. x E.G.).....	161
Figura 76. Indicadores da 1ª lei da termodinâmica da produção total de BD de E. guineenses e híbrido interespecífico (OxG).....	163
Figura 77. GEE do sistema: a) Estratificação das emissões (kg CO ₂ eq tBD-1). b) Pegada de carbono (g CO ₂ eq tBD-1).	165

Figura 78. Comparação das emissões de CO ₂ eq produzidas nesta pesquisa com outros trabalhos da literatura (kgCO ₂ eq MJ ⁻¹).....	166
Figura 79. Comparação das categorias de impacto de híbrido interespecífico e E. Guineensis	168
Figura 80. Parcela de impacto da categoria de danos para cenários de produção de BD.....	169
Figura 81. Comparação do NER obtido com outros relatados na literatura e diesel convencional.	170
Figura 82. Comparação do FER obtido com outros relatados na literatura e diesel convencional.	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caraterísticas da palma <i>Elaeis Guineensis</i> e a palma híbrido interespecífico <i>Elaeis Oleífera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i> OxG. (MADR; FEDEPALMA, 2014).....	43
Tabela 2. Comparação das medidas vegetativas das palmas dos híbridos interespecíficos OxG e os <i>Elaeis Guineensis</i> . (TORRES V. et al., 2004).....	46
Tabela 3. Resultado de análise de laboratório do óleo numa usina de extração do óleo <i>Elaeis Guineensis</i> e Híbrido Interespecífico <i>Elaeis Oleífera</i> X <i>Elaeis Guineensis</i> (ZAMBRANO, 2004)	54
Tabela 4. Diferenças na capacidade de esterilização do material <i>Guineensis</i> vs Híbrido OxG. (NIETO, Diego Ignacio, 2013).....	56
Tabela 5. Diferenças na capacidade de prensagem do Material <i>Guineensis</i> vs material Híbrido OxG. (NIETO, Diego Ignacio, 2013).....	57
Tabela 6. Prova estatística “t” Student comparativa das médias dos resultados na usina: <i>Elaeis Guineensis</i> vs Híbrido Interespecífico OxG.....	57
Tabela 7. Dados de produção de Biodiesel na Colômbia. (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019)	61
Tabela 8. Usinas produtoras do Biodiesel em funcionamento na Colômbia (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019).....	61
Tabela 9 – Estudos de Cogeração referentes	70
Tabela 10. Valores típicos de emissões não controladas em sistemas de cogeração. (YÁÑEZ ANGARITA, 2008).....	72
Tabela 11 – Estudos Precedentes.....	90
Tabela 12. Teores energéticos de biomassa combustíveis para a caldeira	98
Tabela 13. Parâmetros operacionais das unidades de cogeração de palma	100
Tabela 14. Teor energético dos principais produtos das usinas em MJ kg ⁻¹	102
Tabela 15. Parâmetros operacionais do processo de extração de óleo de palma.....	107

Tabela 16. Parâmetros operacionais da refinação de óleo de palma cru	108
Tabela 17. Parâmetros operacionais da transesterificação de óleo de palma refinado	110
Tabela 18. Resumo da colheita de dados de fertilização e outros dados de campo. Fonte:Autor 119	
Tabela 19 - Agroquímicos para o Guineenses e para o Híbrido.....	126
Tabela 20. Consumo de combustível em campo para híbridos e guineensis	127
Tabela 21 - Produção no campo e aplicação de fertilizantes em quilogramas de fonte	127
Tabela 22. Mudanças do uso do solo na empresa da pesquisa de campo para o ano 2018 (GUAICARAMO 2018).....	129
Tabela 23. Mudança do uso do solo e estoque de carbono para os genótipos estudados.....	130
Tabela 24. Balanço do carbono Stock Inicial e final para os genótipos Elaeis Guineensis e Híbrido interespecífico OxG.	131
Tabela 25 Lotes do dendê escolhidos para amostragem.....	131
Tabela 26. Medidas vegetativas do estípite nas palmas Elais uineenses Jaq vs Híbrido interespecífico OxG.....	136
Tabela 27. Peso seco folhas nas palmas Elaeis Guineensis Jaq vs Híbrido interespecífico OxG. 136	
Tabela 28. Teor de Biomassa em pé acima da terra das palmas Elaeis Guineensis e Híbrido interespecífico OxG.....	136
Tabela 29. Resultados de estoque de carbono na palma em pé na variedade Elaeis Guineensis vs Híbrido interespecífico OxG.....	138
Tabela 30. Emissões para a atmosfera pela aplicação de fertilizantes (CUE, 2012).....	140
Tabela 31. Geração de energia a partir do biogás, fluxos mensais e indicadores.	152
Tabela 32. LCI do estágio de cultivo (por ha · ano).	153
Tabela 33. LCI da etapa de extração de óleo (por t de óleo bruto).	154
Tabela 34. LCI do sistema de cogeração (por 1 kWh produzido).....	155

Tabela 35. LCI do estágio de refino de óleo (por t de óleo refinado)	156
Tabela 36. LCI do estágio de transesterificação de óleo (por t de biodiesel).....	156
Tabela 37. Categorias de impacto para produção de biodiesel (1,0 MJ) de híbrido Interspecific (OxG) e E.Guineensis.....	167

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
ACPM	Combustível de óleo
BD	Biodiesel
CFF	Cacho de Fruta Fresco
CV	Cacho de Fruta Vazio
CPKO	Óleo de palmiste
EUF	Factor de Utilização de energia
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	Potencial de Aquecimento Global
HCL	Ácido clorídrico
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
MCI	Motor de combustão interna
MP	Matérias Primas
MWele	Megawatt Elétrico
MWter	Megawatt Térmico
MUS	Mudanças do uso do solo
NaOH	Hidróxido de Sódio
OCD	Óleo cru de palma de dendê
PCI	Poder Calorífico Inferior
PFAD	Destilados de óxidos graxos de palma
PKC	Torta de palmiste
POM	Usina de extração de Óleo
POME	Efluentes líquidos de usina
RBD	Óleo de palma de dendê Refinado e branqueado

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Entalpia [MW]
h	Entalpia Específica [MJ/kg]
ha	hectare
η	Eficiência [%]
η_{glo}	Eficiência global do ciclo de vida de produção de Biodiesel
$\dot{m}$	Fluxo mássico
p	Pressão [bar, Pa]
P	Potência [MW]
Q	Calor [MW]
Q_u	Calor Útil
R	Coeficiente de estequiometria
T	Temperatura [°C, K]
WL	Potencial elétrica líquida
σ_{MP}	Produtividade energética por hectare
σ_{palm}	Produtividade energética do ciclo de vida de produção de Biodiesel
Ψ	Produtividade dos CFF

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	20
1. INTRODUÇÃO	20
1.1. Considerações iniciais	24
1.2. Objetivos.....	25
1.2.1. Objetivo Geral	25
1.2.2. Objetivos Específicos.....	25
1.3. Contribuição e Hipótese da Pesquisa.....	25
1.4. Estrutura da dissertação	26
CAPÍTULO 2	27
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1. Óleo de Palma.....	29
2.1.1. Estatísticas dos hectares de palma e produção de óleo	31
2.1.2. Processos e produtos do óleo de palma.....	34
2.2. Características físicas e/ou químicas do cultivo, fruto e processamento para os dois genótipos avaliados.....	35
2.2.1. Palma de óleo africana (<i>Elaeis Guineensis</i> Jaq.).....	35
2.2.2. Palma de óleo Híbrido Interespecífico OxG (<i>Elaeis Oleífera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i>)	39
2.3. Produção de Biodiesel	58
2.3.1. Estatística	60
2.3.2. Processos e produtos	62
2.4. Energia na Usina de extração de Óleo.....	64
2.4.1. Descrição da turbina.....	65
2.4.2. Co-geração nas usinas de extração de óleo de dendê.....	66
2.4.3. O Biogás.....	73

2.5.	Análise do Ciclo de Vida (ACV).....	74
2.5.1.	Metodologia da Análise do Ciclo de Vida	76
2.5.2.	Estudos Precedentes	84
CAPÍTULO 3		93
3.	METODOLOGIA	93
3.1.	Características físicas-áreas do cultivo, fruto e processamento para o híbrido interespecífico genótipo OxG	94
3.2.	Descrição de Estudos de Caso	96
3.2.1.	Sistema proposto	97
3.3.	Análise balance de energia	101
3.4.	Análise Ambiental	102
3.4.1.	Inventário do ciclo de vida do biodiesel.....	103
3.4.2.	Impacto do Ciclo de Vida.....	113
3.4.3.	Eficiência do ciclo de vida	114
3.5.	Ferramentas computacionais	115
3.5.1.	Software Simapro	115
3.5.2.	Software GateCycle.....	116
CAPÍTULO 4		117
4.	INVENTÁRIO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL	117
4.1.	Cultivo e transporte de cachos de fruta fresca CFF	117
4.1.1.	Coleta da informação sobre fertilização.....	118
4.1.2.	Densidade de plantio	122
4.1.3.	Efeito da irrigação na produtividade	123
4.1.4.	Agroquímicos	124
4.1.5.	Uso de combustíveis fósseis do plantio.....	126

4.1.6.	Fertilizantes	127
4.1.7.	Mudança do uso do solo (MUS)	128
4.1.1.	Emissões de poluentes gasosos	140
4.1.1.	Transporte.....	141
4.2.	Produção de azeite de palma variedade Guineensis	141
4.3.	Produção de azeite de palma variedade Híbrido	141
4.4.	Extração de azeite de palma	145
4.4.1.	Usina de Extração do Óleo.....	145
4.5.	Produção de Biodiesel	152
4.6.	Inventario consolidado	153
CAPÍTULO 5		158
5.	RESULTADOS.....	158
5.1.	Balanço de massa e energia da produção de biodiesel	158
5.1.1.	Balanço de massa e energia da produção de biodiesel a partir de cachos de fruta fresca da variedade Guineensis	158
5.1.2.	Balanço de massa e energia da produção de biodiesel a partir de cachos de fruta fresca da variedade Híbrido.....	160
5.1.3.	Análise comparativa dos balanços de eficiência global do sistema e a produtividade energética por hectare.	162
5.2.	Aquecimento global.....	163
5.3.	Avaliação da categoria de impacto	167
5.4.	Avaliação de categorias de danos e indicadores de ciclo de vida	169
CAPÍTULO 6		173
6.	CONCLUSIONES	173
CAPITULO 7		176
7.	RECOMENDAÇÕES	176

7.1. Trabalhos Futuros	177
REFERÊNCIAS	178
APÊNDICE A.....	187

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A palma do dendê vem se desenvolvendo há muitos anos, um pouco antes e depois da segunda guerra mundial, sendo originária da África, mas tem se adiantado rapidamente em regiões tropicais da Ásia, da África e da América, sendo o cultivo com maior produtividade na produção de óleo vegetal, representando 37% da produção mundial para o ano de 2012. As regiões mais produtivas estão na Malásia e Indonésia, que são as fornecedoras da maior quantidade de óleo no mundo (CORLEY; TINKER, 2016). A palma do dendê (*Elaeis guineenses Jacq.*) é um dos cultivos oleaginosos mais importantes do mundo, devido às altas produtividades por hectare, e pelo conteúdo nutricional (MOZZON et al., 2013).

A Colômbia é considerada o maior país produtor nas Américas e o quinto do mundo, com 517 mil hectares semeados, uma produtividade de 3,6 toneladas de óleo por hectare por ano e com uma produção anual de 1.672.552 toneladas de óleo para o ano de 2017 (FEDEPALMA, 2018). A agroindústria do dendê encontra-se em risco como resultado de uma doença chamada “Pudrición de cogollo” ou PC (pelas suas siglas no espanhol), ou por seu nome no português do Amarelecimento fatal (AF). Esta doença é letal e tem impactado negativamente a agroindústria produtora desta oleaginosa nesse país Colômbia (KUSHAIRI, A., RAJANAIDU, N., 2002). Há 40 anos a *phytophthora palmivora* tem causado essa doença no dendê, nos países vizinhos da Colômbia e na Colômbia (MARTÍNEZ et al., 2014). Segundo Madr; Fedepalma, (2014), a AF tem sido letal em aproximadamente 75.100 hectares de palma, das quais morreram na Região Oeste (35.200 hectares), na Região Central do país (37.900 hectares) e na Região Norte (2000 hectares), levando infelizmente prejuízos as famílias, empresas, gerando um impacto social, ambiental e econômico nessas regiões. Somado ao anterior, tem-se estimativas das áreas afetadas pela AF, não mortes, mas de palmas improdutivas, como na Região Norte (5.500 hectares), na Região Oeste (60.000 hectares), que somados aos 75.100 hectares mortos tem sido causa de perdas para a

Agroindústria da palma do dendê, na ordem dos US\$ 2.476 milhões na última década (AYALA; ROMERO, 2019). Essa situação tem incentivado ainda mais a aplicação de uma variedade de fruto que seja tolerante à doença da AF, e como resultado se aproveita um cultivo que vem se desenvolvendo na Região Este desse país, o qual consiste num dendê produto de um cruzamento genético entre o genótipo *Elaeis Guineensis Jac* de origem africana num cruzamento com o *Eleais Oleifera* de origem americana, o qual deu como resultado *Híbrido Interespecífico E.O.xE.G.* (*Elaeis Guineensis Jac x Elaeis Oleifera*). Assim, o híbrido interespecífico tem se convertido numa estratégia para mitigar o impacto da AF na região, desenvolvendo as primeiras plantações a nível comercial no ano 2000 em grande escala (MARTÍNEZ et al., 2010). O híbrido interespecífico *Elaeis oleifera x Elaeis guineensis* (OxG) representa uma alternativa para resolver este problema e aumentar a competitividade e a sustentabilidade da agroindústria latino-americana de dendê, devido à sua tolerância parcial a doenças específicas e também pela alta qualidade de seu óleo (MORENO-CHACÓN et al., 2013).

Dos 517 mil hectares plantados na Colômbia, estima-se que perto dos 18% é material OxG Híbrido e 82% é material *Elaeis Guineensis Jac*, com uma alta tendência do cultivo do híbrido ao crescimento. Várias das atividades envolvidas na agroindústria do dendê, como o cultivo, o transporte, a extração, o transporte de óleo, a refinação e o biodiesel geram quantidades de emissões consideráveis, cujos impactos podem ser analisados utilizando a metodologia da Análise de Ciclo de Vida (YÁÑEZ ANGARITA et al., 2009).

Há uma preocupação regional pela incidência da AF, mas o híbrido apresenta essa oportunidade para que a agroindústria do dendê na Colômbia tenha continuidade nas regiões onde essa doença é letal, onde representa uma ameaça, como o desemprego e afetações sociais, ambientais e financeiras, como aconteceu em Tumaco, morrendo 35.000 has. A forma de reduzir essa incidência da AF é fazendo boas práticas agrícolas, com a implementação de protocolos desenvolvidos pelo centro de pesquisa do óleo do dendê. Porém, ainda há muita pesquisa por desenvolver no campo, na colheita, na polinização, nas usinas, assim como na produção e comercialização do produto principal do óleo do dendê a partir do dendezeiro híbrido OxG. Na produção de biocombustíveis na Colômbia, estão se desenvolvendo diversos estudos para analisar os balanços de massa e de energia no ciclo da produção de biodiesel, nesses estudos tem se encontrado que não existem balanços ambientais negativos de emissões de gases de efeito estufa, justificado porque as

mudanças de usos do solo na Colômbia, são principalmente solos que antes da palma de azeite tinham sido utilizados para gado, arroz, entre outros, o que não tem muitas implicações com relação ao efeito estufa, ocasionadas pelas ações dessas mudanças de uso do solo, ficando só com os impactos na utilização de fertilizantes nitrogenados, nas emissões das lagoas e no uso de combustíveis fósseis (RAMIREZ CONTRERAS et al., 2020).

Estudos realizados na Malásia e Indonésia apresentam resultados dos balanços de massa e energia para estudos comparativos de inventários de Análises de Ciclo de Vida para a cultura guineenses, chegando a um resumo analítico baseado em cada um dos dados de entradas, saídas, produtos de cada sistema para a produção de 1000 kg de biodiesel (ARCHER; MURPHY; STEINBERGER-WILCKENS, 2018), mas não se considera o tipo de genótipo dos plantios para os quais foram desenvolvidos cada um dos 11 estudos analisados.

Atualmente na Colômbia se produz 460.000 toneladas de biodiesel a partir de óleo do dendê por ano, o qual para o consumo nacional se destinam 286.000 toneladas, que correspondem à assinatura de 10% da mescla do diesel, e as outras 174.000 toneladas são para exportação (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2020).

As usinas de extração de óleo de palma e produtos derivados são certificadas pela *The Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO). Esta certificação, tem como objetivo desenvolver e implementar padrões globais para a produção de óleo de palma com critérios de sustentabilidade. Entre os princípios e critérios desenvolvidos pela RSPO, há um relacionado a: "Desenvolvimento, implementação e monitoramento de planos para reduzir a poluição e as emissões, incluindo gases de efeito estufa". O balanço de gases de efeito estufa (GEE) é desenvolvido com uma metodologia focada na Análise do Ciclo de Vida (ACV) (RSPO, 2018). A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental cujo objetivo é analisar objetiva, metódica, sistemática e cientificamente o impacto ambiental gerado por um processo ou produto durante um ciclo de vida (do berço ao túmulo, do berço à porta). A análise leva em consideração as etapas de extração, processamento de matérias-primas, produção, transporte, distribuição, uso, reutilização, manutenção, reciclagem e destinação final (CURRAN, 2012)

A metodologia de Análise do Ciclo de Vida é uma técnica que abrange possíveis aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto/processo: a) compilando um inventário de entradas e saídas relevantes do sistema do produto; b) a avaliação dos possíveis

impactos ambientais associados às entradas e saídas identificadas durante o inventário; e c) a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e avaliação de impacto, de acordo com os objetivos do estudo. A ACV possui quatro estágios definidos sob a norma ISO 14040.

Etapa 1: Definição do objetivo e escopo. Os objetivos estabelecem as razões pelas quais o estudo é realizado, a aplicação pretendida e a quem é direcionado (amplitude, profundidade e detalhe).

Etapa 2: Análise do inventário do ciclo de vida. Essa fase inclui a identificação e quantificação dos insumos (consumo de recursos) e produtos (emissões e geração de resíduos) do sistema do produto.

Etapa 3: Avaliação dos impactos do ciclo de vida. Usando os resultados da análise de inventário, é avaliada a importância dos possíveis impactos ambientais gerados pelas entradas e saídas do sistema do produto.

Etapa 4: Interpretação. Inclui a combinação dos resultados das duas etapas anteriores. O objetivo é extrair, de acordo com os objetivos e o escopo do estudo, conclusões e recomendações que permitam a tomada de decisão.

A produção do biodiesel tem a maior eficiência do uso da terra para produção de energia, em comparação com outros cultivos como a cana de açúcar por exemplo. Em países como a Tailândia, a produção de biodiesel, a aplicação de fertilizantes nitrogenados, bem como as emissões ao ar das lagoas são os principais fatores de maior impacto nos estudos ambientais nas Análises de Ciclo de Vida, de acordo com estudo feito nesse país para a produção de uma tonelada de biodiesel. Porém, com o biodiesel se consegue uma redução de 43 até 73% nos gases de efeito estufa, apresentando uma ganância nos indicadores energéticos líquidos e na energia renovável do biodiesel frente às energias fósseis (SILALERTRUKSA; GHEEWALA, 2012). Um estudo de ACV de um biodiesel de dendê comparado com a produção de diesel convencional nesse mesmo país, levando em consideração a mudança no uso direto ou indireto do solo, mostra como esse último tem um impacto muito alto no balanço da ACV, e a utilização de coprodutos cobra uma alta relevância de melhoria, para produzir energia e alimento para animais (PRAPASPONGSA; MUSIKAVONG; GHEEWALA, 2017).

A integração energética entre cultivos, como a palma de dendê e a cana de açúcar, são uma opção viável quando se quer melhorar o rendimento energético do sistema da produção do biodiesel no Brasil (QUEIROZ; FRANÇA; PONTE, 2012; OCAMPO BATLLE, 2019)

Sendo assim, a análise comparativa energética e ambiental de duas linhas de produção de biodiesel de origens diferentes (*Elaeis Guineensis Jac* versus *Híbrido Elaeis Guineensis Jac x Elaeis Oleoifera*) pode contribuir à tomada de decisões e posteriores estudos orientados para melhorar a viabilidade técnico-ambiental da agroindústria oleaginosa do dendê na Colômbia e na região das Américas. O presente trabalho busca determinar os impactos do aquecimento global através da ACV dos seguintes cenários: o primeiro cenário de produção de óleo de palma de azeite africano, e o segundo cenário da produção de óleo de palma de azeite híbrido, ressaltando as considerações feitas em cada estudo como, por exemplo, a unidade funcional utilizada, os limites do sistema, e finalmente sob que critério foram avaliados e comparados.

1.1. Considerações iniciais

A avaliação comparativa da sustentabilidade de diferentes variedades de palma de azeite deve passar por diferentes etapas, como a agrícola, transporte de cachos de fruta fresca à usina, a cogeração de energia, a geração de energia com uso do biogás que sai das lagoas para os afluentes da usina, o transporte de óleo do dendê à refinaria, e a produção de biodiesel. Aspectos como a intensidade de mão-de-obra no cultivo, e da fertilização com compostos nitrogenados nos cultivos, são fatores críticos para se comparar os cultivos. No transporte, as densidades dos cachos de fruta fresca mostram diferenças, o que afeta o consumo específico do diesel fóssil. Já no biodiesel, leva-se em consideração o uso do metanol e o uso de combustíveis para as caldeiras. Diante do crescimento das possibilidades de semear o híbrido, a continuação se apresenta como tópicos principais, ao comparar o híbrido (OxG) como cultivo convencional *Elaeis Guineensis Jac*.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa dos impactos ambientais e energético da produção do biodiesel, a partir dos genótipos de palma de azeite *Elaeis Guineensis* Jacq. vs *Híbrido Interespecífico OxG* (*Elaeis Oleifera* x *Elaeis Guineensis*), estudo de caso na Colômbia.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os requerimentos do processo para os dois genótipos, fazendo balanço de massa e energia para o ciclo de vida da produção de biodiesel, a partir do dendê de *Híbrido Interespecífico E.O.xE.G.* e do dendê do *Elaeis Guineensis*.
- Definir as diferenças ambientais dos genótipos por meio da determinação dos indicadores de impactos ambientais da produção de biodiesel, a partir do dendê de *Híbrido Interespecífico E.O.xE.G.* e do dendê do *Elaeis Guineensis*.
- Determinar os requerimentos energéticos por meio da estimação dos indicadores do balanço energético da produção de biodiesel, a partir do dendê de *Híbrido Interespecífico E.O.xE.G.* e do dendê do *Elaeis Guineensis*.

1.3. Contribuição e Hipótese da Pesquisa

As culturas do *Híbrido Interespecífico* e de *Guineensis* tem diferenças no plantio, transporte e usina de extração, e Biodiesel assim como na composição do produto principal, o óleo do dendê, mas não validou sua diferença nas emissões dos Gases de Efeito Estufa e seu impacto ambiental e energético, por meio da metodologia da Análise de Ciclo de Vida. Coletar os dados primários do híbrido interespecífico OxG na Colômbia e na região implica um grande esforço, já que não tem muitas publicações sobre esse genótipo, porém no presente trabalho conseguiu-se apresentar os inventários para essa variedade de cachos de fruta fresca.

A hipótese desse trabalho é que a produção de óleo de dendê e biodiesel a partir de cultivos híbridos, por ter maiores usos de fertilização e também consumo de energias, e diferenças de Biomassa, o eficiência energética para esse genótipo seja menor que para o genótipo guineenses; desde o ponto de vista ambientais nas emissões de gases de efeito estufa, e outros impactos ambientais, espera-se que o híbrido interespecífico apresente maiores impactos, atribuídos a que a produtividade em campo para esse genótipo é maior, porem os consumos de insumos, agua, energia fóssil, energia elétrica, entre outros fica por acima do guineensis.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação está composta por seis capítulos, sendo que o capítulo 1 contém as considerações iniciais, o alcance da pesquisa e os objetivos a serem desenvolvidos na dissertação. Seguidamente, se apresenta no capítulo 2 a fundamentação teórica. São abordados temas como: Agroindústria de óleo de palma, na Colômbia e no mundo, estatísticas, usinas de extração, refino e Biodiesel, para dos genótipos de variedade de palma, o primeiro o *Elaeis Guineensis* e se faz uma comparação com o genótipo Híbrido interespecífico E.O. x E.G. (*Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*). O capítulo 3 se refere à descrição da configuração do processo metodológico que inclui as condições de operação, balanços de massa e energia, capacidades estimadas para os equipamentos e reações químicas envolvidas no processo. No capítulo 4 são mostrados os resultados da pesquisa de campo feita numa viagem de trabalho a Colômbia em novembro do ano 2019, que permitiu determinar os indicadores do inventário para os balanços de massa e energia. No capítulo 5 os resultados dos balanços do massa e energia, assim como o análise das categorias do impacto do ACV. Finalmente, o capítulo 6 apresenta as principais conclusões desta pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O óleo de palma é uma das culturas mais importantes do mundo devido a sua versatilidade, alta produtividade (cerca de 3.4 toneladas de óleo de palma bruto por hectare) e seu menor custo de produção, se comparada com outros óleos vegetais (Ramirez-Contreras et al., 2020). Segundo dados da *United State Department of Agriculture - Foreing Agricultural Service (USDA-FAS)*, existem mais de 23 milhões de hectares plantados com palma no mundo, com uma produção de mais de 72 milhões de toneladas, o que deverá aumentar substancialmente devido ao crescimento da demanda por alimentos e produtos de base biológica, os quais pressionam uma maior produção agrícola, assim como o aumento do uso de biodiesel na Europa e alguns países sul-americanos, tornando o setor de óleo de palma em um ator essencial para ajudar a atender algumas dessas demandas. Por isto, é imperativo realizar análises energéticos da cadeia completa como um primeiro passo para tratar o ganho ou perda de energia da produção de energia renovável, para assim avaliar sua sustentabilidade.

No entanto, a sustentabilidade é um aspecto complexo de analisar, pois no conceito confluem tanto variáveis ambientais quanto econômicas e sociais. Na atualidade, para avaliar de forma quantitativa a sustentabilidade são calculados indicadores econômicos, sociais e ambientais de forma independente. Assim, entre os principais indicadores utilizados tem-se: (i) Eficiência energética e exergética, (ii) Net Energy Ratio – NER (Razão de entrada e saída líquida de energia), (iii) Combustível fóssil substituído por hectare, (iv) Emissões de carbono: (Redução de emissões de CO₂ equivalente), (v) Impactos ambientais (Indicadores por categorias de impactos) e (vi) Emissões de carbono devido a troca no uso do solo, entre outros (Venturini et al., 2020). Através desses indicadores é possível realizar a comparação de diferentes esquemas de produção, fornecendo ferramentas de decisão para a implementação de um projeto ou não.

Na avaliação de impactos ambientais, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia chave que permite a quantificação de potenciais impactos ambientais e sociais de produtos,

processos ou atividades, proporcionando desse modo indicadores que permitem a avaliação da sustentabilidade.

Os trabalhos relacionados à ACV dos biocombustíveis a partir de óleo de palma encontram-se o desenvolvido por (Ramirez-Contreras et al., 2020), um estudo que avalia o potencial econômico e ambiental, o ciclo de produção de biodiesel a partir *E. guineensis Jacq.* na Colômbia, concluindo que a energia fóssil consumida no ciclo é menor que a energia renovável produzida e o desempenho econômico, mostra que em uma cadeia produtiva otimizada, o gasto de capital e o custo operacional diminuiria em aproximadamente 20%. Enquanto que o trabalho realizado por (Rivera-Méndez et al., 2017), foi determinar a pegada de carbono na etapa da colheita, ou seja, a produção de cachos de frutos frescos em um campo experimental na Colômbia do cultivo de *E. guineensis Jacq.*, concluindo que a captura de CO₂ pela safra foi superior às emissões de gases de efeito estufa associadas ao ciclo produtivo do óleo de palma.

Por outra parte, os estudos (Yáñez Angarita et al., 2009) (Ali et al., 2015) (Garcia-Nunez et al., 2016b) (Ocampo Batlle et al., 2020) propõem o conceito de biorrefinaria para a produção de OCP y CPKO, que utilizam ao mesmo tempo os resíduos sólidos da biomassa gerada nos processos de extração da cultura *E. guineensis Jacq.* Consideraram diversos sistemas de caldeira/turbina no qual uma fração da fibra é usada como combustível para gerar vapor que será usado na mesma POM. Para o tratamento do POME, em alguns dos trabalhos, foram contemplados digestores anaeróbicos para permitir sua degradação, bem como obter um biogás que pode ser convertido em eletricidade. O excesso de biomassa (EFB e fibra), vapor, calor e energia obtidos na biorrefinaria pode ser usado para a produção de uma variedade de bioprodutos desejados, como bioetanol, biobutanol, biohidrogênio, bioplásticos, biodiesel, biocompósito, bioadsorvente, biocomposto e biocarvão. Enquanto os trabalhos elaborados por (Pleanjai and Gheewala, 2009) (De Souza et al., 2010) (Mata et al., 2011), os quais foram focados na avaliação do balanço energético e impactos ambientais do biocombustível de óleo de palma, demonstram os benefícios ambientais do biodiesel de óleo de palma (cultura *E. guineensis Jacq.*) perante os outros óleos vegetais.

A partir da discussão anterior, percebe-se que a maioria das plantações comerciais e pesquisas do biocombustível gerados a partir do óleo de palma no mundo vêm da espécie de palmeira africana (*E. guineensis Jacq.*), nativa do Golfo da Guiné na África Ocidental (Corley and Tinker, 2003). Há outra espécie de palma, a palmeira americana *Elaeis oleifera*, (Kunth) Cortés, originária

de várias regiões da América Central e do Sul e que é pouco explorada comercialmente (Lima et al., 2020). Nos últimos anos, devido à presença de doenças, as plantações do *Interspecific hybrid* (OxG), um cruzamento entre a palma americana e a palma africana, aumentaram substancialmente na América Latina por causa de sua tolerância à doença de Amarelamento fatal (AF) causada pela *Phytophthora palmivora* (Mozzon et. Al. 2015;Johnson, 2017). No entanto, suas características energéticas e possíveis impactos ambientais são desconhecidas, apesar do alto potencial do *híbrido* (OxG) no mercado.

2.1. Óleo de Palma

O dendezeiro da África (*Elaeis Guineenses*) tem 50 anos na Colômbia, enquanto o novo plantio de palma de azeite Híbrido, procurando uma boa genética de ter sido introduzido para melhorar tanto a produção quanto a resistência a doenças nativas, não tem mais de 20 anos de semeadura (OCHOA, 2013). A criação de híbridos OxG envolve o uso de duas fontes de germoplasma: a população de óleo materno e a população de *E. Guineenses* como fonte de pólen. Há diferentes espécies híbridas, algumas que reúnem uma extensa coleção de *E. oleífera*, incluindo introduções de todos os países da América Central e do Sul, onde esta espécie tem o seu centro de origem. Desde 1970, várias combinações de híbridos de OxG foram avaliadas na Costa Rica e uma delas se destacou devido ao seu alto potencial de produção (> 300 kg/dendê/ano), taxa reduzida de aumento da altura do tronco e folhas curtas semelhantes para as palmas *E. guineenses*. Essa última característica torna possível a semeadura na densidade padrão de 143 palmas/ha (ALVARADO, A. ESCOBAR, R. HENRY, 2013). A variação na produção de palma é tangível ao mudar as aplicações de fertilizantes para diferentes materiais genéticos. A variação afeta o número de cachos, assim como seus pesos e o conteúdo de fibras, óleos e componentes em geral (KUSHAIRI, A., RAJANAIDU, N., 2002).

O dendezeiro híbrido representa uma oportunidade para a continuidade do plantio de óleo de palma de azeite na Colômbia, sendo uma alternativa para que este plantio seja desenvolvido em algumas áreas do país. Isso ocorre porque o dendezeiro híbrido é mais tolerante a uma doença mortal da qual o guineense sofre, que tem um efeito negativo na sustentabilidade do negócio nos âmbitos social, ambiental, e econômico (MEUNIER, 1991). Uma palma pode produzir entre 24 a

30 meses após a semeadura em viveiro. O cacho de fruto de palma tem um peso aproximado de 20 a 30 kg e é composto por 2000 a 2500 frutos.



Figura 1 - Cultivo de palma africana. Fonte: Autor

Dois tipos de óleo podem ser obtidos a partir do dendê: o óleo de palma (extraído da polpa) e o óleo de palmiste (extraído da amêndoa). O rendimento do óleo quando é extraído da polpa é de 22% do peso dos cachos e de 3% para o de palmiste, extraído da amêndoa. Sendo que a principal diferença entre eles está no teor de ácido láurico, componente predominante do óleo de palmiste e praticamente ausente no óleo de palma, e os teores de ácido palmítico e ácido oleico que estão presentes em maior quantidade no óleo de palma. Um fruto de palma pode ter, aproximadamente, 5 gramas, e é composto pelo pericarpo, o mesocarpo (o qual contém o óleo de palma) e endocarpo, que é composto pela casca e a amêndoa, este último contendo o óleo de palmiste, que tem características diferentes do óleo de palma, como mostra a Figura 2. (CORLEY; TINKER, 2016).



Figura 2 - Fruto da palma africana. Fonte: Revista Palmas 2006

O óleo da palma se obtém da polpa (mesocarpo) do fruto da palma do dendê, principalmente da *Elaies Guineensis* Jaq. O óleo da palma é uma substância que, como qualquer óleo ou graxa, é constituído principalmente por materiais gliceridos, com uma proporção menor de materiais não gliceridos. O conteúdo do óleo na polpa varia de 30 a 70 por 100. O ácido palmítico é o principal ácido saturado que é absorvido nesse óleo, com uma porcentagem reduzida de 40 por 100 para os óleos da costa de Marfim e Gana; e 35 por 100 para os países da Libéria e Serra Leoa. (CORLEY; TINKER, 2016).

2.1.1. Estatísticas dos hectares de palma e produção de óleo

Para o ano 2018 contava-se com 484.66 hectares em produção de cachos de fruta fresca, além de 76.021 hectares em desenvolvimento. A Figura 3 apresenta um mapa da Colômbia com a distribuição do plantio do dendezeiro, onde se pode notar que a região norte conta com 128.874 hectares, a região central conta com 169.876 hectares, a região este com 220.663 hectares e a região sudeste com 21.275 hectares. Nesses valores são indicados o plantio de cachos de Guineenses frescos e a semeadura de frutos interespecíficos híbridos. Em resumo, verifica-se que atualmente na Colômbia há aproximadamente 13% de semeaduras híbridas, dos 540.960 has que são semeados nacionalmente.

- Hectares plantadas de palma de azeite: 540,887 has
- Hectares plantadas de palma de azeite Guineensis: 472.968 has (87%)
- Hectares plantadas de palma de azeite Híbrido: 67.919 has (13%)

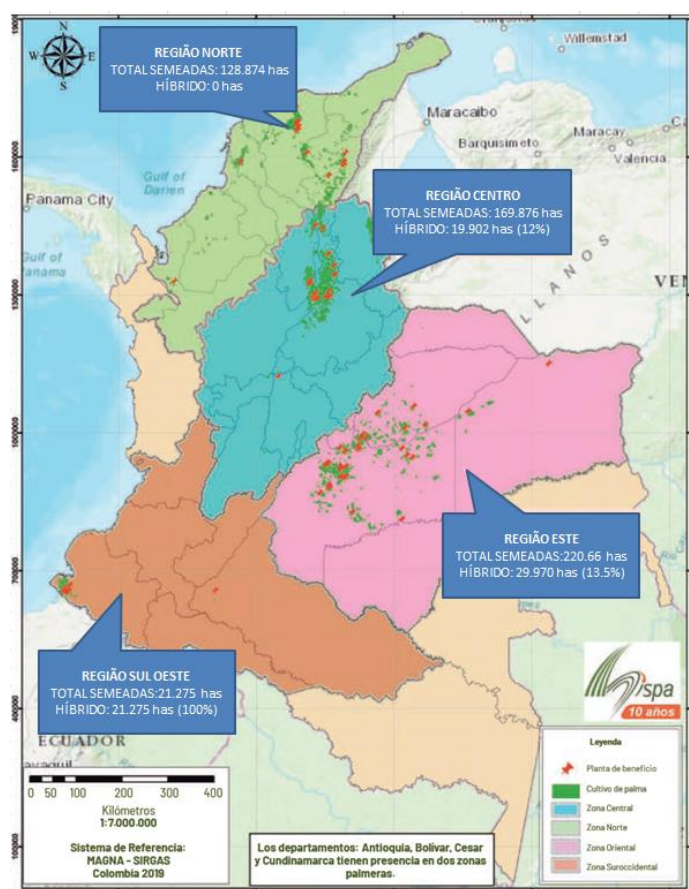


Figura 3- Mapa do plantio da palma de dendê na Colômbia

Fonte: (FEDEPALMA, 2019)

Na Figura 3 pode-se observar que a maior participação das palmas semeadas na Colômbia é na Região Este, e a menor é na Região Sul Oeste, com 21.275 has do dendê. O híbrido encontra-se presente em três das quatro regiões do país, já que nessas 3 regiões a AF pode ter ocasionado mortes, e se fez necessário desenvolver o material interespecífico híbrido OxG. A Figura 4 apresenta a distribuição dos 67.919 hectares semeados do dendê interespecífico híbrido (FEDEPALMA, 2019).

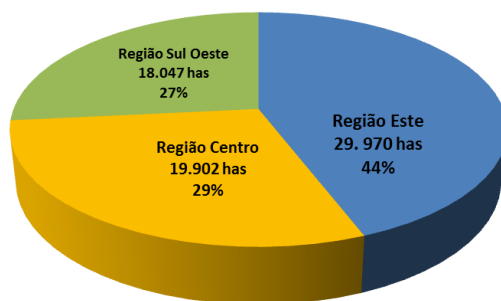


Figura 4 - Distribuição dos hectares do dendê Híbrido Interespecífico (*Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*). (AYALA; ROMERO, 2019)

Na Figura 4, pode-se observar que a região que possui maior quantidade de dendê híbrido interespecífico é a Região Este, com 29.970 has, o qual representa 44% do híbrido semeado na Colômbia, seguido da Região Centro, com 18.047 has, que corresponde a 29%, e por último a Região Sul Oeste (18.047 has) com 27%. Pode-se ressaltar que a Região Sul Oeste não possui dendê Guineensis, o que quer dizer que 100% são de híbrido interespecífico, como se apresentou na Figura 3, porém é a região que tem menor número de palmas de dendê híbrido no seu solo. (AYALA; ROMERO, 2019)

Em 2018, a área plantada em palma de dendê foi de 516.960 hectares, dos quais 40,1% correspondem à Zona Leste, 32% à Central, 24% ao Norte e 4% ao Sudoeste. Por sua vez, do total plantado em dendezeiros na Colômbia, 86.077 hectares estavam em desenvolvimento e 430.884 estavam em produção, o que mostra uma composição de 17% em idade improdutiva e 83% em fase de produção (FEDEPALMA, 2019; ZAMBRANO; AMBLARD, 2007).

2.1.1.1. Produtividade de Cachos de Fruta Fresca (ton CFF/há.ano)

A produção média nacional de frutos de palma na Colômbia no ano de 2018 foi igual a 16,2 t/há.ano, mostrando uma redução de 7,4% em relação às 17,5 t/há.ano obtidas em 2017. Esse resultado foi inferior ao rendimento médio teórico esperado da fruta de palma, ajustado pela idade, que para 2018 foi estimado em 18,2 t/há.ano. A produtividade do país seria em torno de 89% do rendimento potencial. Mais uma vez, as regiões Leste e Norte atingiram produtividade superior à média nacional (16,7 t/há.ano e 17,12 t/há.ano, respectivamente). (FEDEPALMA, 2019)

2.1.1.1. Rendimentos de azeite de palma na Colômbia (ton. Óleo/há.ano)

A produção nacional média de óleo de palma bruto foi de 3,5 t/há.ano em 2018, apresentando uma variação negativa de 7% em relação a 2017 (3,77 t/há.ano). Na dinâmica regional, evidencia-se uma contração dos rendimentos de todas as regiões, tendo a Sul Oeste um incremento de 12,8%, subindo de 0,24 t/há.ano a 2,21. As outras regiões apresentaram decréscimos, uma mudança de -13,5%, a Norte de -3,5% e a Central de -1,9%. Da mesma forma, as diferenças na produtividade do plantio colombiano, com respeito aos principais produtores, continuam a ser importantes, razão pela qual grandes esforços devem ser feitos para revisar

as estratégias que permitem a exploração do potencial produtivo do cultivo de dendê nesse país (FEDEPALMA, 2019).

2.1.2. Processos e produtos do óleo de palma

O processo de produção do óleo de palma inclui várias etapas, desde a agrícola até a elaboração de produtos comerciais com alto valor agregado. Podem ser definidas três fases principais, que são:

- Fase Agrícola;
- Fase Industrial; e
- Fase Oleoquímica.

A fase Agrícola considera o cultivo, onde é produzido o fruto de palma e a usina extratora do óleo, onde é obtido o óleo cru. Já o processamento industrial do óleo considera, em uma primeira etapa, a elaboração de mercadorias de consumo básico e insumos para outras indústrias. Finalmente, a indústria oleoquímica é responsável pela elaboração de produtos e matérias-primas para outros setores industriais, onde se encontra a produção do biodiesel. Esses processos e produtos são apresentados na Figura 5. (YÁÑEZ ANGARITA, 2008)

Fase Agrícola	Fase Processamento Industrial			Fase Oleoquímica
Cultura	Extração	Matérias Primas e produtos Intermediários	Matérias-Primas	Matérias-Primas
Cachos de Fruto de Palma	Óleo de Palma Amendoim Óleo de Palmiste	Óleo de Palma (RBD) Oleína de Palma (RBD) Estearina de Palma (RBD) Ácidos Graxos Óleo de Palmiste (RBD) Oleína de Palmiste (RBD) Estearina de Palmiste (RBD)	Azeites líquidos comestíveis Margarina Manteiga Gorduras para frituras Gorduras para padaria Gorduras para sorvetes Gorduras para confeitos Sabonetes Ração animal	Matéria-prima: Álcool graxo Emulsificantes Metil ester Glicerol Produtos: Combustíveis Lubrificantes Pinturas surfactantes

Figura 5 - Estágios de produção e produtos da cadeia produtiva do óleo de palma. Tomado de (YÁÑEZ ANGARITA, 2008)

2.2. Características físicas e/ou químicas do cultivo, fruto e processamento para os dois genótipos avaliados

2.2.1. Palma de óleo africana (*Elaeis Guineensis* Jaq.)

A *Elaeis Guineensis* é uma palma grande com folhas pinadas, que tem um tronco colunar com entrenudos curtos. As folhas separadas dos folíolos superiores e inferiores apresentam a palma de uma forma desordenada característica. Normalmente, a palma é monoica, com inflorescência masculina e feminina, mas às vezes pode ser mista, desenvolvendo-se nas axilas das folhas. Os frutos são produzidos em cachos maiores e compactos. A polpa da fruta que fornece o óleo rodeia a casca que a sua vez encerra a amêndoa da palma.(CORLEY; TINKER, 2016).

A folha

Inicialmente, o desenvolvimento da folha é muito lento. Há por volta de 40 a 60 folhas na yema apical, cada uma ficando fechada por dois anos, depois se desenvolve rápido para formar uma flecha central e finalmente se abre. A longitude dos pecíolos muda consideravelmente e pode chegar até 1,2 m. O pecíolo da folha, ou o raquis, é duro e fibroso e pode alcançar 8 m de largura. O número de folhas produzidas anualmente por uma palma de plantação aumenta entre 30 e 40 nos 2 e 4 anos de idade. Mais adiante a produção diminui gradualmente num nível de 20 a 25 por ano, aproximadamente desde os 8 anos. (DE SOUZA *et al.*, 2010)

O Caule

O estipe desenvolve-se a partir do bulbo radicular, sendo que nos três primeiros anos o crescimento se dá no sentido transversal (diâmetro) e só posteriormente ocorre o crescimento vertical (altura) (Corley e Tinker, 2003).

Este crescimento é resultante do desenvolvimento vegetativo e bastante variável (30 a 100 cm por ano), dependendo da origem genética e das condições ambientais. Existem dendezeiros que têm crescimento duas vezes menor que outras linhagens, tendo equivalente produtividade em óleo por hectare. Sabe-se que uma forte assimilação (provocada por uma poda severa, por exemplo) poderá provocar um alongamento mais rápido do estipe, acompanhado de uma redução no diâmetro durante o mesmo período (FEDEPALMA, 2016)

O Cacho de fruta fresca e o fruto

A inflorescência feminina na está na axila das folhas número 17 e número 20, a partir da flecha central. O desenvolvimento até a maturidade leva entre 4,5 e 6 meses, e quando o cacho fica maduro vai até as folhas número 30 a número 32. O fruto se desenvolve constantemente no peso e tamanho até 100 dias ou mais depois do momento que a flor feminina esta ativada para iniciar produzir a conformação do cacho. A amêndoa ao início é líquida, logo gelatinosa, e fica sólida, aproximadamente, 100 dias depois da antesis. O embrião madura em 70 a até 80 dias e a casca se converte dura e lignificado perto dos 120 dias. A formação do óleo na amêndoa inicia-se, aproximadamente, aos 70 dias e é provável que termine aos 120 dias. A síntese do óleo no mesocarpo inicia-se, aproximadamente, aos 120 dias e continua até que o fruto se desprenda de

maneira espontânea. O peso do CFF aumenta com a idade da palma, com meias de menos de 5 kg em palmas de 3 anos de idade e mais de 25 kg aos 15 anos. O número de CFF produzidos por palma por ano diminui com a idade, de maneira que depois de conseguir um máximo entre 6 a 10 anos, o rendimento fica mais ou menos constante por muitos anos, apesar do peso médio do cacho de fruta fresca. Os CFF que na tiveram boa formação, levam de 500 ate 4000 frutos, dependendo do tamanho do CFF; a média está entre 1500 até 2000 frutos nas palmas de 10 a 15 anos de idade. (CORLEY; TINKER, 2016)



Figura 6 - Cacho de fruta fresca e frutos *Elaeis Guineensis* Jacq. Fonte: Autor

2.2.1.1. Cultivo da oleaginosa e colheita dos cachos de fruta fresca

O rendimento por ano da produção de cachos de fruta fresca é um indicador que é calculado em relação ao número de toneladas produzidas em um ano pelo número de hectares em produção. É o indicador que varia dependendo de fatores como: determinantes (germoplasma e condições climáticas), limitantes (gestão da água, fertilização e aplicação de biomassa) e redutores (adequação do solo, manejo de pré-viveiro e viveiro, controle de pragas, manejo fitossanitário, estabelecimento de coberturas, colheita e transporte). A produtividade para o fruto guineensis para o ano de 2018 se apresenta na Figura 7, onde é possível ver que, para a Região Norte do país, a palma adulta obteve valores de 24,8 ton/ha.ano, para a Região Central apresenta-se valores de até 27,3 ton/ha.ano, resposta de alguns solos ideais para o cultivo, e por último se obteve um valor de 24 ton CFF/ha.ano. Todos os valores apresentados são valores para palma adulta, o que quer dizer

que a palma *Elaeis guineensis*, para o ano de 2018, teve uma produtividade numa faixa de 24 a 27,3 ton CFF/ha.ano (MOSQUERA *et al.*, 2018)

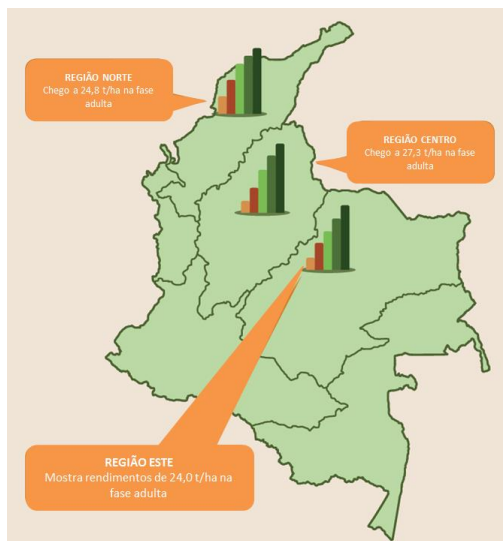


Figura 7- Produtividade em campo ton. CFF/ha.ano para *Elaeis Guineensis* por regiões na Colômbia Tomado de (MOSQUERA *et al.*, 2018)

2.2.1.2. Usina de extração de óleo

Os óleos de palma crus se extraem da polpa (mesocarpo) do fruto. Sua taxa de extração se calcula pela relação da quantidade de azeite produzido por toneladas de cacho de fruta fresca processado.

O rendimento anual de produtividade de óleo de palma cru por hectare tem tido um crescimento nos últimos anos, passando de 3,1 a 3,4 ton óleo/ha.ano, rendimentos que ainda podem ser melhorados na Colômbia para chegarem a ser competitivos no mundo, entre os quais Guatemala destaca se como o melhor com 5,2 toneladas de óleo/há.ano.

Os melhores rendimentos da produção de ton CFF/ha.ano são para a Região Norte; porém, os melhores comportamentos das taxas de extração de azeite de palma cru são para a região Central e Este, por valores de 21%(NIETO, Diego, 2007).

Recepção de CFF: Os CFFs são cortados no campo e levados para a usina de extração, onde são pesados na balança e, posteriormente, se faz um controle de qualidade. Após disso são enviados às tolvas, para depois fornecer por meio de trolleyrs e serem levados à fase de esterilização.

Esterilização: essa operação se realiza nos esterilizadores, onde se entram os trolleyrs carregados de CFF. O processo inclui em dois ou três picos de pressão, que vão entre 2 e 3 Kgf/cm², na qual primeiramente se faz uma desaeração da autoclave e saídas do vapor condensado entre subida e subida.

Os fatores que se levam em conta nessa etapa são o tempo de cocção e a pressão do vapor, os quais dependem do tamanho do CFF e do estado de maturidade da fruta.

Desfrutação: os trolleyrs com os cachos esterilizados se descarregam num tambor, e logo chegam a um transportador para serem levados ao desfrutador.

Digestão e prensagem: o fruto separado no debulhador é fornecido aos digestores. Esses são tanques cilíndricos onde o fruto é amassado, com a finalidade de quebrar os vasos lipógenos e liberar o óleo. Esse processo é factível de 85 a 90°C por 20 minutos. O fruto amassado passa pelo processo de prensagem, com a finalidade de expulsar o óleo contido no mesocarpo. Deve-se aplicar a máxima pressão possível com o mínimo de efeitos de rotura no caroço, e assim evitar a perda da amêndoa.

Clarificação do óleo: a clarificação é o processo de separação de fases, na qual se purifica a mescla líquida extraída na etapa anterior de prensagem. Esse processo se faz em duas etapas, a primeira uma etapa estática, e a segunda uma etapa dinâmica, que se faz a 95 °C.

2.2.2. Palma de óleo Híbrido Interespecífico OxG (*Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*)

O híbrido interespecífico OxG (*Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*) é uma variedade de palma desenvolvida na América como produto de um cruzamento genético entre duas variedades de palmas nativas, um genótipo nativo da África que leva por nome *Elaeis Guineensis*, e um genótipo nativo da América chamado *Elaeis Oleífera* (ver Figura 8 e Figura 9). Esse cruzamento genético é procurado pelos pesquisadores em biologia e agronomia, já que a palma africana tem a maior

produtividade de todas as palmas, mas a palma americana tem vantagem na tolerância à doenças e menor crescimento, daí a importância do híbrido interespecífico e ressaltado pela tolerância à amarelamento fatal AF e sua taxa de crescimento baixo; procura-se incorporar as características mais interessantes da espécie americana na espécie africana (AHMAD; BUANG; BHAT, 2016; ZAMBRANO, 2004), e, segundo Torres (2016), outras das qualidades importantes são que o óleo do híbrido é mais líquido, pelo teor de oleína, apresentando menor grau de oxidação, por seu alto índice de iodo. Já do ponto de vista fisiológico, o Híbrido Interespecífico tem a particularidade de ter as folhas mais longas que seus progenitores, mantendo as disposições dos folíolos das *Elaeis Oleíferas*, assim como a altura, forma e cor dos frutos.



Figura 8. Palma híbrida interespecífica *Elaeis Guineensis* x *Elaeis Oleífera*

Segundo Ayala & Romero (2019), na Colômbia no ano 2006, menos de 0,5% da área semeada estava semeada com Híbrido Interespecífico OxG, e em 13 anos, para o ano 2019, teve-se um crescimento até chegar a representar 14% da área, sendo igual a 67.919 hectares, o que permite dizer que o crescimento em 13 anos tem sido muito representativo e importante para a agroindústria de palma do dendê, e que promete um crescimento acelerado para os próximos anos.

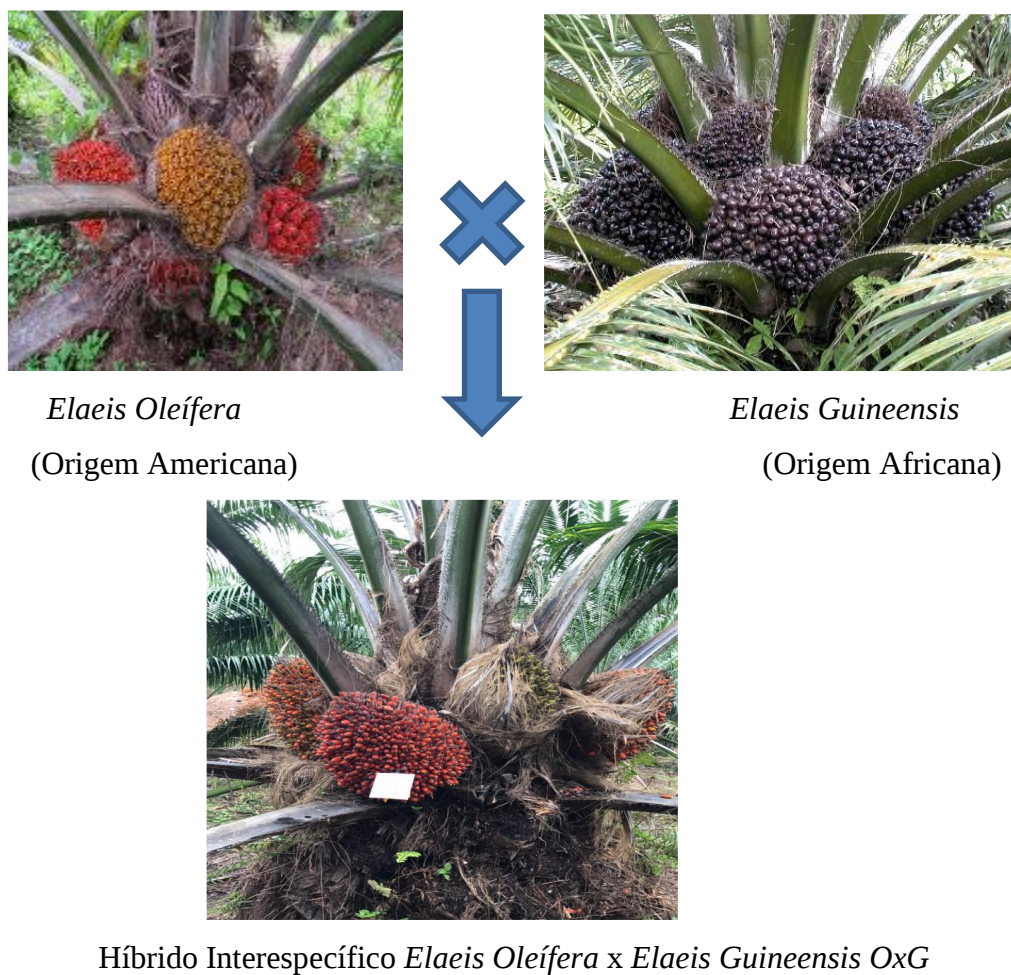


Figura 9. Esquema do cruzamento genético do Híbrido Interespecífico *Elaeis Oleífera* X *Elaeis Guineensis* OxG. (AYALA; ROMERO, 2019)

Dentro das principais diferenças gerais no cultivo do dendê, entre a *Elaeis Guineensis* e o híbrido interespecífico encontram-se as seguintes:

- A cor do cacho da fruta fresca no híbrido pode ser virente ou cor laranja;
- A palma de dendê *Elaeis guineensis* é maior que a palma do híbrido interespecífico;

- A densidade de semeadura da palma de dendê *Guineensis* (número de palmas por hectare) é maior no *Elaeis Guineensis* que no Híbrido Interespecífico;
- O diâmetro da palma do híbrido é maior que para a palma de dendê *Guineensis*

Para uma melhor ilustração, ver a Figura 10.

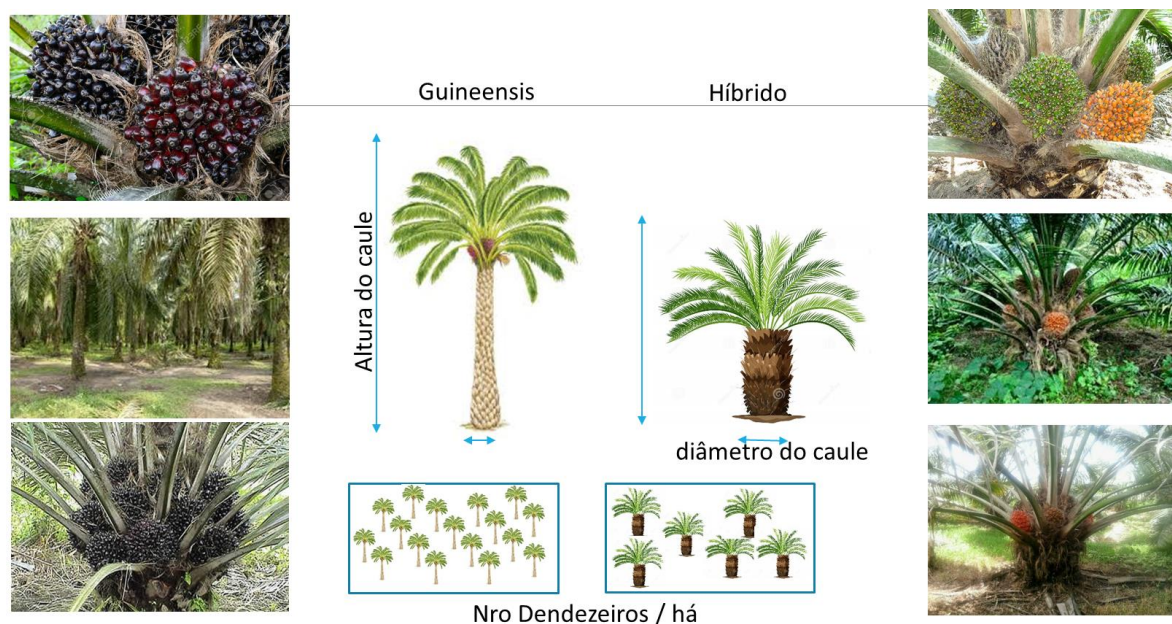


Figura 10. Diferentes caraterísticas entre a palma do Híbrido interespecífico OxG e a palma *Elaeis Guineensis*.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Adicional ao anterior, na Tabela 1, apresentam-se diferenças mais específicas em aspectos como o crescimento do coleto, o ciclo de produtividade do cultivo, a semeadura do dendê, o tipo de polinização realizada, o ciclo de colheita, a porcentagem de extração de óleo na usina, assim como a produtividade de cada cultivo, encontrando grandes diferenças para cada uma das variáveis, as quais serão analisadas mais adiante.

Tabela 1. Características da palma *Elaeis Guineensis* e a palma híbrido interespecífico *Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis* O_xG. (MADR; FEDEPALMA, 2014)

Palma <i>Elaeis Guineensis</i>	PARÂMETRO	Palma Híbrido Interespecífico O _x G
46 cm/ano	Crescimento	22 cm/ano
25 anos	Ciclo do Cultivo	30 anos
143 palmas/ha	Densidade de semeadura	110 - 128 palmas/ha
Natural	Polinização	Assistida
24 - 36 meses	Início de colheita	26 - 33 meses
8 - 12 dias	Ciclo de Colheita	21 - 26 dias
20 - 24%	Porcentagem de Extração	19 - 20%
24 - 28 t/ha.ano	Produtividade	28 - 32 t/ha.ano
36 - 44%	Conteúdo fase Oleica	49 - 58%

Uma classificação dos frutos é dada pelos parâmetros de formação do fruto e sua posição na raquila. De acordo com sua formação, os frutos se classificam em:

- **Frutos normais ou férteis:** que apresentam casca e amêndoa desenvolvida;
- **Frutos partenocárpicos:** que são produtos do desenvolvimento das paredes do ovário, mas sem mediar a fecundação, são de menor tamanho que os frutos férteis e o conteúdo de óleo é menor, além de não conter semente, ou seja, não tem casca nem amêndoa;
- **Abortos:** são flores não fecundadas e que não se desenvolvem como frutos partenocárpicos;
- **Frutos Externos:** encontram-se localizados na parte apical da raquila, são largos e compridos. Na espécie *E. guineensis*, sua coloração é vinho tinto ou vermelho forte quando entram na fase de maturidade, sua forma é mais absoluta, e são maiores que os frutos internos. Nos híbridos interespecíficos, são alargados no ápice se as raquillas se encontram na parte superior ou central dos cachos, ou aplanada, se elas se encontram na parte inferior do CFF. Na *E. Guineensis*, os frutos externos são os primeiros a amadurecer; já no híbrido interespecífico, são os últimos a ficar maduros.

Os frutos internos são menores e de cor mais clara no *Elaeis Guineensis*, estão localizados na parte basal da lígula e são os últimos a ficarem maduros.



Figura 11. Progresso de maturidade dos frutos e classificação dos frutos de acordo a sua posição. a) Híbrido interespecífico OxG. b) Frutos *Elaeis Guineensis* Jacq.(FONTE: P.HORMAZA 2010)

Para uma melhor ilustração, faz-se uma comparação dos diferentes materiais a serem avaliados nesse trabalho com as composições encontradas na literatura. Os caracteres internos do fruto híbrido dependem da sua forma (Dura, Ténera ou Pisífera) do progenitor *Elaeis Guineensis*. Embora não parecer que tem variação na forma do fruto da *Elaeis Oleífera*, o grosso da casca é diferente para o híbrido. Os cruzamentos entre *Elaeis Oleífera* e *Pisífera* tem cascas delgadas, mas falta o anel de fibras formado nas *Elaeis guineensis* Téneras. Nos frutos normais dos cruzamentos com Dura, a porcentagem do mesocarpo em fruto varia numa faixa de 40 – 50%, mas o fruto dos cruzamentos com Ténera e Pisífera tem dado resultados de porcentagem em mesocarpo, numa faixa de 58 a 74% (CORLEY; TINKER, 2016). Também são apresentados os componentes dos cachos de fruta fresca para as duas variedades. Na Figura 12, apresenta-se a composição do fruto da variedade *Elaeis Guineensis*, na qual se observa que o fruto divide-se em 89,6% de mesocarpo e 10,4% de noz, que por sua vez tem um conteúdo de 54,7% de óleo em mesocarpo (CADENA et al., 2013). Na Figura 13 se apresenta a estrutura do CFF do híbrido interespecífico OxG, na qual as proporções, pelos motivos já expostos anteriormente, mudam a composição dos frutos, com uma composição de 67,3% do mesocarpo e 32,7% de noz, nos frutos normais, mas nos CFF híbridos, os frutos partenocárpicos, a diferença para os *E. Guineensis* é que nos híbridos esse tipo de fruto contém até 24,9% de óleo no mesocarpo, e no *Guineensis* é 0% (PRADA; ROMERO, 2012). Na Figura 12 se apresenta o híbrido com polinização assistida convencional, mas atualmente na Colômbia vem se desenvolvendo a aplicação da polinização assistida com ácido nartalenacético

(ANA), para formação de frutos partenocárpicos no híbrido interespecífico OxG (DAZA, 2019), como pode ser visto na Figura 14. Deve-se levar em conta que a polinização ajuda para a formação de frutos partenocárpicos vermelhos que produzem óleo, faz pensar na outra metodologia para a usina de extração de óleo, já que com o sistema de prensado de parafusos é muito difícil extrair o óleo nesses frutos, e sua conformação de frutos normais pode ser menor que 1%, o que quer dizer que todos os frutos, em 99%, são partenocárpicos, os quais não contem noz, ou seja, não contem nem amêndoa, nem casca.

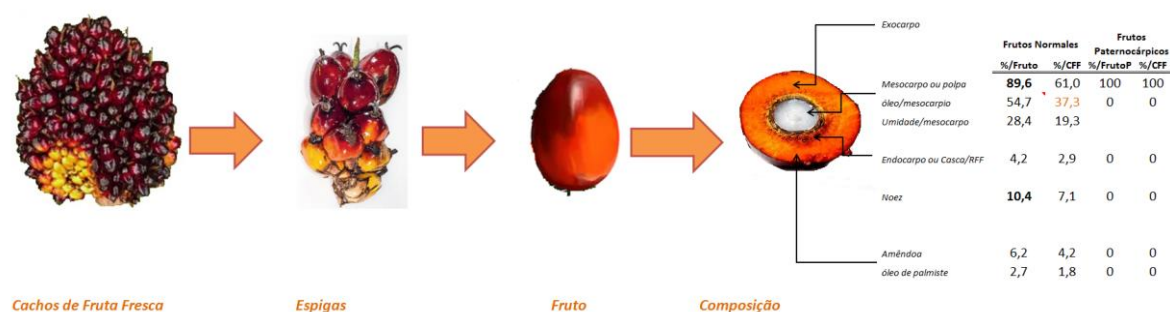


Figura 12. A estrutura do cacho de fruta fresca *Elaeis Guineensis* Fonte: Autor

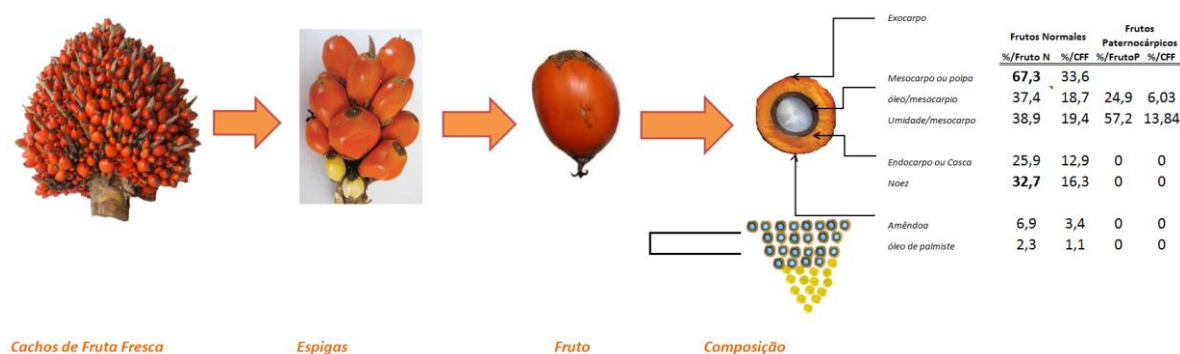


Figura 13. A estrutura do cacho de fruta fresca híbrido Interespecífico *Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis* (Polinização Convencional) Fonte: Autor

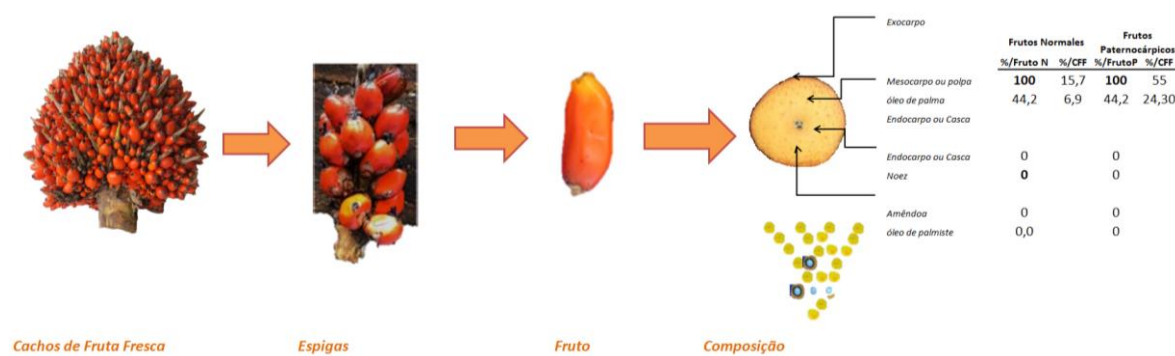


Figura 14. A estrutura do cacho de fruta fresca híbrido Interespecífico Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis (Polinização Artificial com ácido naftalenacético ANA) Fonte: Autor

2.2.2.1. Cultivo da oleaginosa, colheita e coleta de cachos

A folha

O híbrido tem as folhas que são consideravelmente maiores do que as de qualquer um de seus pais, mas conserva a disposição dos folíolos da Elaeis Oleífera. Num trabalho sobre avaliação do comportamento dos híbridos interespecíficos Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis no cultivo da empresa Guaicaramo S.A. na Colômbia (TORRES V. et al., 2004), foi apontado que os híbridos tem diferenças morfológicas falando quando se comparam com o Guineensis: as folhas são mais compridas e os troncos mais robustos, bem como seu crescimento é menor. As folhas do híbrido apresentaram comprimentos de 5,1 a 5,6 metros, e para o Guineensis 4,2 metros, para as diferentes avaliações que fizeram nessa pesquisa; adicional ao anterior, o híbrido apresenta diferenças no número de folíolos, entre 248 e 291, e para o Guineensis 309 folíolos, sendo os folíolos do híbrido mais largos. Na Tabela 2 encontram-se algumas medidas vegetativas das folhas da palma.

Tabela 2. Comparação das medidas vegetativas das palmas dos híbridos interespecíficos OxG e os Elaeis Guineensis. (TORRES V. et al., 2004)

Palmas	Longitude folha nro. 17 (metros)	Largura folíolos (cm)	Peso Folha 17 (kg)	Meia nro. Folíolos/folha
Elaeis Guineensis	4.06	1.4	2.33	256
Híbrido Interespecífico OxG	4.8	1.93	4.76	244

O Estúpide

Não obstante, na mesma pesquisa de Torres V. et al. (2004, encontrou-se que os híbridos crescem 22 cm em média por ano, e o *Guineensis* cresce 50 cm por ano, o que quer dizer que o híbrido cresce a uma taxa de 56% menor que o *Elaeis Guineensis*. Outras pesquisas apresentam que o híbrido interespecífico cresce a uma taxa de 16 cm por ano, e o *Guineensis* a uma velocidade de 45 cm por ano, apresentando uma diferença maior que o pesquisado por Torres, dando como resultado uma taxa de 64% menos que o *Elaeis Guineensis* (ZAMBRANO, 2004), como mostra a Figura 15.



Figura 15. Diferenças no estúpide da palma do híbrido interespecífico (à esquerda) e *Elaeis Guineensis* (à direita), para uma mesma idade de cultivo. (FONTE: P.HORMAZA 2010)



Figura 16 - Foto comparativa da a) Palma africana e cachos de fruta fresca (*Elaeis Guineensis*) e b) Palma Híbrida Interespecífica e cachos de fruta fresca (*Elaeis Oleifera* x *Elaeis Guineensis*). (FONTE: P.HORMAZA 2010)

Sistema Radicular

Segundo artigo publicado por Haniff; Zuraidah& Roslan (2014), num estudo da raiz do dendê *Elaeis Guineensis* em uma região norte da península da Malásia, afirma-se que a dinâmica do crescimento de raízes é muito variável, dependendo dos diferentes solos e ambientes de desenvolvimento do dendê, mas se tem estimativas de 11,5 t/hectare/ano. Outros autores estimam que, no replantio, aos 25 anos, a estimativa é de 16 t/hectare.

Não se desenvolveram muitos estudos na Colômbia neste aspecto, nem para o *Elaeis Guineensis*, nem para o Híbrido interespecífico *Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*, já que para o híbrido as pesquisas atuais tem focado no desenvolvimento da produção a nível comercial, já que o híbrido interespecífico nasce como uma alternativa à doença da AF, e se desenvolve a nível comercial no ano de 2008, depois das mortes de 35.000 has na região de Tumaco na Colômbia no ano de 2006. Pesquisadores têm dado mais prioridade ao desenvolvimento dos cachos, bem como o conteúdo de óleo no mesocarpo, e recentemente na formação da casca interna.

Forero Hernández et al. (2012) expõem que as raízes do *Elaeis Guineensis* são maiores do que as raízes da *Elaeis Oleífera*, já que palmas de 7 anos se encontram nos primeiros 20 – 25 cm de profundidade até 3 metros, como mostra Figura 17.

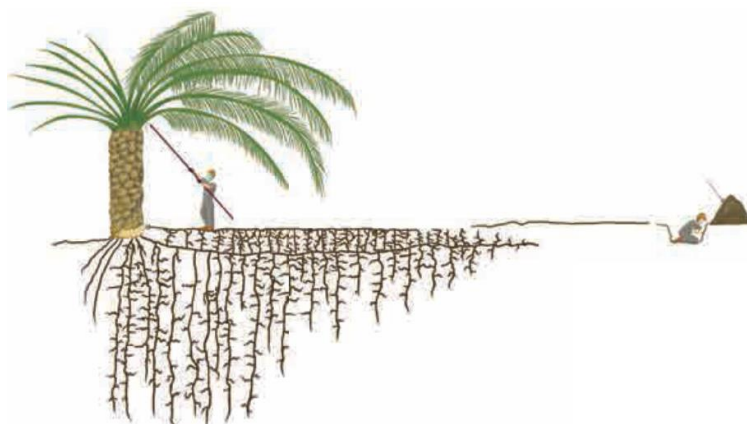


Figura 17. Esquema de arquitetura das raízes na palma de dendê de 8 anos de semeada, imagem pegada de (FORERO HERNÁNDEZ et al., 2012)

O cacho de fruta fresca e o fruto

A conformação do CFF vai depender muito do grão de polinização, e é ali onde está a diferença muito marcada do híbrido interespecífico OxG, quando se compara com o *Elaeis Guineensis*, pois

no híbrido se faz necessária a polinização assistida, e no *Elaeis Guineensis* o processo de polinização acontece de um jeito natural. Baseado nisso, pesquisas sobre os híbridos apresentam altas variabilidades nas proporções de seus frutos normais, frutos paternocárpicos, e até o óleo contido no mesocarpo, o que dá valores altamente diferentes ao comparar com o *Guineensis* quando se fala de produtividade (ton CFF/ha.ano), ou quando se fala de produção de azeite em ton Oleo/ha.ano. Destaca-se que, para um híbrido de 4 anos, obtem-se produções de 12,3 ton CFF/ha.ano, com uma média em peso do CFF de 6,3 e com 13 racimos por ano; tem se conseguido em palmas de onze anos, tem se encontrado produções em campo de até 30 ton RFF/ha.ano, com CFF de 22 quilogramas e 9,5, um número de CFF de 9,5 por palma por ano (ZAMBRANO, 2004).

A continuação nas Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, se apresentam diferenças físicas visuais das características dos CFF e seus frutos entre o Híbrido Interespecífico e o *Elaeis Guineensis*.



Figura 18.- Comparativo Cacho de Fruta Fresca Maduro CFF *Guineensis* (à esquerda) e CFF Híbrido Interespecífico (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012)



Figura 19- Lígulas *Elaeis Guineensis* (à esquerda) e Híbrido Interespecífico (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012)



Figura 20 - Tipos de Frutos contidos nos cachos, *Guineensis* (à esquerda) e Híbrido (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012)



Figura 21 - Frutos de palma de azeite de *Elaeis Guineensis* Ténere (A) e Híbrido interespecífico (B). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012)



Figura 22 - Foto transversal de fruto partenocárpico dos CFF *Elaeis Guineensis* (à esquerda) vs Híbrido Interespecífico OxG (à direita). Adaptada de (PRADA; ROMERO, 2012)

Fertilização

Segundo Santacruz (2011), num estudo feito em Guaicaramo, empresa colombiana, sob a diferença nos conteúdos e reservas foliares da palma *Elaeis Guineensis* e o Híbrido Interespecífico, nesta mesma empresa foi feita a pesquisa do campo para essa dissertação, no estudo de Santacruz (20011) desenvolveu-se a observação da fertilização no cultivo, desde o ano 2000 terminando no ano 2006, na qual nas duas parcelas se aplicaram as mesmas doses de fertilizante, encontrando-se que a maior demanda de nutrientes do híbrido é requerida para suprir a maior biomassa aérea e produção de uma maior quantidade de cachos de fruta fresca.

Produção

Dentro dos fatores determinantes, encontra-se a seleção de materiais genéticos, condições agroclimáticas (solos, temperatura, radiação solar diária, umidade relativa, precipitação, vento); nos fatores limitantes, encontra-se o manejo da água (irrigação, drenagem), fertilização; e nos fatores redutores, encontra-se a adequação de solos, desenho de plantação, semeadura em lugar definitivo, pré-viveiro e viveiro, doenças, coberturas. Do anterior se ressalta a importância do material genético, que é o que está se analisando no presente trabalho, já que da seleção do material *Elaeis Guineensis* ou Híbrido, pode-se encontrar diferenças nas suas produtividades, o qual vai diretamente aplicar no potencial ao qual pode chegar a produção desses cultivos (FEDEPALMA, 2016).

Segundo Mosquera et al. (2018), as produtividades para o híbrido interespecífico OxG estão na faixa de 19,2 a 35 toneladas de CFF por hectare por ano, o qual está dado que nos valores mais baixos, como na região Sul Oeste, esta produtividade está nesse valor pois foi na região que a doença da AF matou 35.000 has no ano de 2006. Já na região Este se conta com produtividades de 26,3 ton ha/ano, nessa região a doença da AF afeta o quarto ano de produção, mas a palma não morre e se recupera. As maiores produtividades para esta variedade encontram-se na a região do uraba antioqueno, especificamente da Região Norte, com produtividades de mais de 35 ton CFF/ha/ano, dado por bons solos, boas práticas agroindustriais, e uma ótima polinização assistida. Para entender melhor, segue a Figura 23, onde se apresenta a localização e produtividades por regiões na Colômbia para o híbrido interespecífico *Elaeis Oleifera* x *Elaeis Guineensis* na Figura 24.

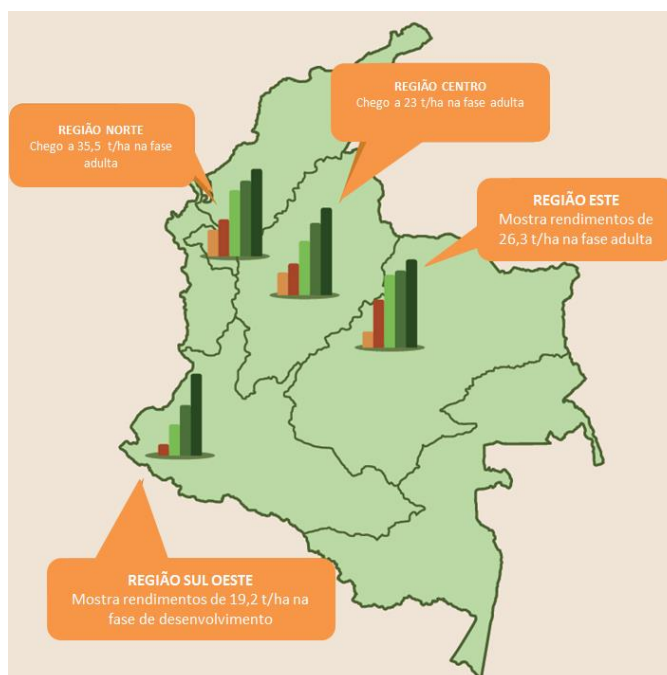


Figura 23. Produtividade em campo ton. CFF/ha.ano para Híbrido Interespecífico por regiões na Colômbia Tomado de (MOSQUERA *et al.*, 2018)

Complementando o dito no parágrafo anterior, apresenta-se por parte do autor o comportamento das duas variedades *Elaeis Guineensis* e o Híbrido Interespecífico *Elaeis Oleifera*

x *Elaeis Guineensis*, para as produtividades nos diferentes anos do cultivo de maneira comparativo, na qual pode-se observar o seguinte (MOSQUERA *et al.*, 2018) (Figura 23):

- A região Sul Oeste não tem plantio de *E. Guineensis*, pois nessa região morreram todas as palmas dessa doença, nesse momento só tem se desenvolvido o cultivo híbrido interespecífico a nível comercial desde o ano 2008;
- Na região Norte há somentecultivos da variedade *E. Guineensis*, pois a doença da AF ainda não chegou nessa região;
- As produtividades mais altas dos híbridos encontra-se para a fase adulta, com valores de até 35.5 ton CFF/ha/ ano.

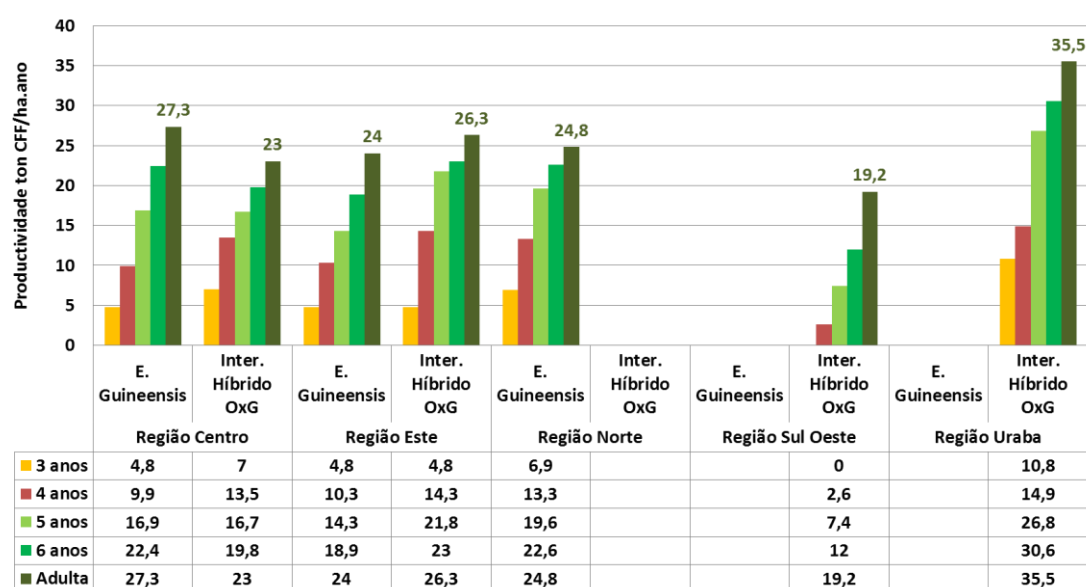


Figura 24. Comparação da produtividade em campo nas diferentes regiões da Colômbia em toneladas de cachos de fruta fresca por hectare ano (MOSQUERA *et al.*, 2018)

2.2.2.2. Usina de extração de óleo

O cultivo do dendezeiro híbrido é uma palma mais robusta que a guineensis, e por isso requer maior fertilização. Estudos de pesquisas na Colômbia descobriram que as diferenças na capacidade da usina, ao processar os dois materiais, são diferentes, já que com o híbrido a usina diminui de 8 a 10% sua capacidade de processo, então a capacidade de produzir unidades de óleo por hora

diminui. O balanço de massa na planta para material híbrido é diferente da massa de material guineense, pois o óleo de palma híbrido produz o óleo de palmiste, e a torta de palmiste diminui também ao processar o híbrido (NIETO; YAÑEZ; GARCÍA, 2011).

Tabela 3. Resultado de análise de laboratório do óleo numa usina de extração do óleo *Elaeis Guineensis* e Híbrido Interespecífico *Elaeis Oleífera* X *Elaeis Guineensis* (ZAMBRANO, 2004)

Análise	<i>Elaeis Guineensis</i>	<i>Elaeis Oleífera</i> x <i>Elaeis Guineensis</i>
Acidez	2.678	1.367
Umidade	0.135	0.150
Impurezas	0.084	0.082
Índice de iodo	55.08	71.85
Ponto de fusão	36	28

Atualmente não existe tecnologia independente para o processamento dos CFF que vem do híbrido interespecífico OxG, isso quer dizer que na Colômbia se utilizam as mesmas usinas, com os mesmos recursos para fazer a extração do óleo de dendê, e a amêndoa nas usinas. Cenipalma, nos anos 2009-2010, desenvolveu uma pesquisa para identificar as experiências no processamento desse tipo de CFF. Foram feitos testes de balanços de masa comparativos para o *Guineensis* e para o Híbrido Interespecífico, encontrando diferenças estatisticamente significativas entre variáveis como porcentagem de acidez, pressão na prensagem, conteúdos de cascas e amêndoa, óleo depalma/CFF, volume do licor da prensagem e sua composição, entre outras, as quais fazem com que as condições de processamento para os CFF do híbrido se avaliem com maior detalhe. Encontrou-se uma clara diminuição na produção de óleo de palma, amêndoa e óleo de palmiste quando se deixa de processar *Elaeis guineensis* (Irho 1001) para processar híbrido interespecífico alto oleico (Códigos 1036 e 1001) para CFF de 13 anos de idade, ou seja, na fase adulta das palmas, o qual impacta os resultados industriais. A seguir se apresentam os resultados encontrados nessa pesquisa comparativamente. (NIETO, Diego Ignacio, 2013)

- Colheita: o híbrido, à diferença da guineenses, não apresenta um forte crescimento dos ácidos graxos livres do azeite nos CFF, o que faz com que as épocas na alta produção se da prioridade ao processamento na usina para os CFF guineensis do que as CFF do

híbrido. Com base no anterior, encontrou-se maior perda de umidade do fruto, e com esses resultados, calculou-se a diferença na extração, a qual apresenta benefícios para a taxa de extração do óleo do híbrido. A Figura 25 apresenta as curvas de umidade. (NIETO, Diego Ignacio, 2013)

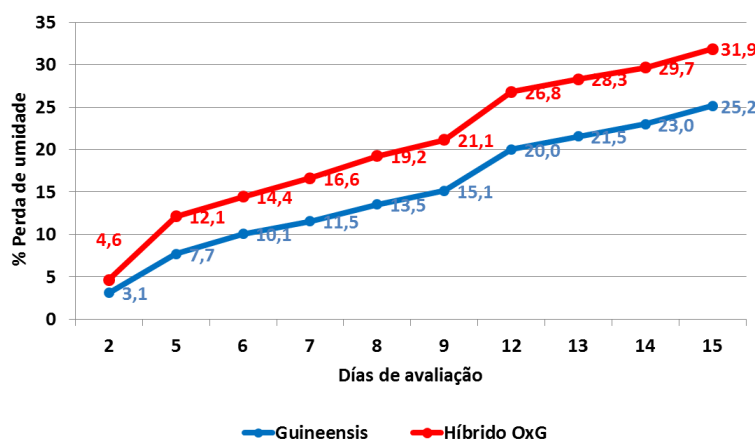


Figura 25 - Perda de peso (% Umidade) para 15 dias de avaliação depois da coleta dos CFF (NIETO, Diego Ignacio, 2013)

- Esterilização: nessa pesquisa, encontrou-se que o ciclo do vapor aplicado para os CFF do híbrido, tem uma duração de 10 minutos a mais, já que isso melhora a fase posterior de clarificação, diminuindo os lodos levianos; indentificou-se nas usinas da Colômbia, que de não realizar o acréscimo do tempo de esterilização as perdas de óleo em todo o processo vão ser maiores, afetando a produtividade da usina. Na Figura 26 se apresentam os dois ciclos de esterilização aplicados.

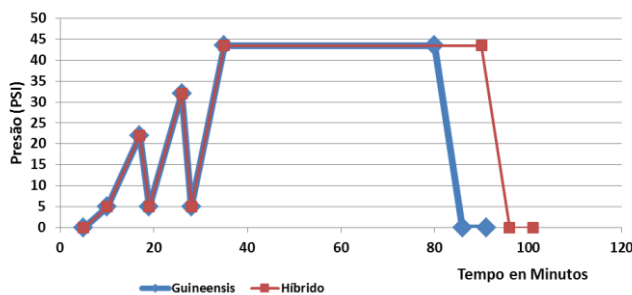


Figura 26. Ciclos de esterilização de CFF Elaeis Guineensis vs Híbrido interespecífico OxG (NIETO, Diego Ignacio, 2013)

O dois ciclos de esterilização apresentados na Figura 26 trouxeram benefícios nas etapas de clarificação mais adiante, porém trouxeram uma diminuição na capacidade da usina, dando como resultado um decréscimo em 5,9 ton CFF/hora nessa etapa, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Diferenças na capacidade de esterilização do material Guineensis vs Híbrido OxG. (NIETO, Diego Ignacio, 2013)

	Unidades	Híbrido OxG	Guineensis
Capacidade de vagonetas	kg	1.890	2.100
Tempo de esterilização	min	95	86
Capacidade dos esterilizadores	ton CFF/hora	23.8	29.7
Fator de esterilização		1.1	1.4
Geração de condensados de vapor	m3/ton CFF	0.26	0.16

Na Tabela 4 se apresenta que, numa usina, ao deixar de processar o fruto Guineensis para o Híbrido, tem-se que:

- Menor capacidade de armazenamento nas vagonetas;
- Redução de 5,9 ton CFF/hora na capacidade de esterilização para uma usina de 24 ton CFF/hora;
- Maior geração de condensados para o Híbrido OxG em 01.1 m3/ton CFF processado.

Prensagem: na fase de digestão e prensagem, avaliou-se por meio de balanços de massa, a capacidade de prensagem, encontrando-se que quando se deixa de processar material Guineensis para se processar material Híbrido interespecífico OxG, obtém-se uma redução de 4 a 8% da capacidade de processamento , como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Diferenças na capacidade de prensagem do Material Guineensis vs material Híbrido OxG. (NIETO, Diego Ignacio, 2013)

Variedade	Prensa N°.	Capacidade (kg/hora)	% Redução
Guineensis	1	14339	
Guineensis	3	6562	
Híbrido	1	13184	8%
Híbrido	3	6306	4%

Essa diminuição de capacidade apresentada na Tabela 5 se atribui à composição dos CFF o qual foi descrito anteriormente na Figura 12 e Figura 13 sob o teor de mesocarpo e de noez do fruto, considerando que a composição das nozes, da fibra, e amêndoa variam entre guineensis e híbrido OxG. Isso pode se ver representado num componente muito importante, que é o mesocarpo, a qual indentificou se no balanço de massa da fibra para o híbrido é entre 14 e 15% de fibra/CFF, e para o guineenses é entre 13 e 14% fibra/CFF.

Tabela 6. Prova estatística “t” Student comparativa das médias dos resultados na usina: Elaeis Guineensis vs Híbrido Interespecífico OxG.

Variavel	Híbrido Interespecífico OxG			Elaeis Guineensis			Diferença	Comparação de meias Pr> t *
	x	SD	CV	x	SD	CV		
%AGL	1,39	0,24	17,04	2,02	0,42	20,65	0,63	0,0097
%TEA	15,52	3,77	24,03	20,49	2,4	11,71	4,97	0,0037
%óleo/LPSD	37,6	7,1	18,9	53	4,2	7,9	15,40	0,001
Presão (psi)	1085,7	24,4	2,2	1012,5	25	2,5	-73,20	0,0492
Amp Prensagem	36,8	16,5	44,7	39,3	11,6	29,7	2,50	0,8095
Amp Digestão	37,2	7	19	40,3	2,4	5,9	3,10	0,4396
%Amendoa/Noez	30,7	1,1	3,6	47,6	1,7	3,5	16,90	<,0001
%Casca/Noez	69,3	1,1	1,6	52,4	1,7	3,2	-16,90	<,0001
%Umidade amendoa	21,5	1,1	5,1	16	1	6,5	-5,50	<,0001
%Oleo/amendõa	40,3	2,6	6,4	52	3,8	7,2	11,70	0,0002
%Cachos Vazios/CFF	20,9	1,3	6,4	18,8	1	5,2	-2,10	0,0237
%CFF MID	0	0	0	1,6	1,3	81,6	1,60	
%Fibra/CFF	14,8	0,6	4,2	13,6	0,6	4,5	-1,20	0,0369
%Noez/CFF	8,1	1,2	14,2	8,2	0,5	6,4	0,10	0,9291
m3/ton CFF	0,4	0	3,7	0,4	0	4,4	0,00	0,0014
%Amendõa/CFF	2,5	0,4	17,6	3,9	0,2	4,1	1,40	0,0002
%Oleo de Palmiste/CFF	1	0,2	21,9	2	0,2	9,3	1,00	<,0001
%óleo/SSNA Cachos Vazios	6	0,9	15,4	5,7	0,2	4,2	-0,30	0,5028
%Oleo/SSNA Fibras	6,2	0,5	8,5	6,4	0,2	3,5	0,20	0,4962

Tabela 6 apresenta o resumo do balanço de massa na usina feito na pesquisa pelo autor Nieto, (2013) no ano de 2010, e apresenta as seguintes observações:

- Os resultados obtidos para o híbrido interespecífico OxG apresentaram maior variação que os resultados obtidos pela *Guineensis*, evidenciando que para o híbrido OxG apresenta-se maiores níveis nos coeficientes de variação, como porcentagem de óleo, porcentagem de noz, etc. O anterior se sustenta em que a formação do CFF no híbrido esta baseado na polinização assistida, que ainda depende da assistência das pessoas e é muito mais variable que o processo biológico que acontece no *E. Guineensis*.
- Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas quando se processa híbrido, com referência no *Guineensis*, nas variáveis amperagem de prensagem, amperagem no digestor, porcentagem de Noz/CFF, porcentagem de óleo em cachos vazios e porcentagem de óleo em fibras.
- A qualidade de óleo de palma no híbrido é melhor que na *Guineensis*, mostrando uma diferença de 0,6 pontos percentuais na média de ácidos graxos livres, assim como 0% do fruto aderido, e 0% cachos vazios mal desfrutados. Esses pontos são a favor do híbrido.
- Não se apresentam diferenças estatisticamente significativas quanto às perdas de óleo guiando-se os processos na usina dos dois materiais.

2.3. Produção de Biodiesel

O biodiesel é um biocombustível líquido marrom-escuro ou dourado (dependendo do tipo de matéria-prima), que consiste em ésteres mono-alquílicos de cadeia longa (dependendo do tipo de álcool usado para sua síntese), de ácidos graxos produzidos a partir de óleo ou animal à base de biomassa de gorduras que podem ser misturadas com com outros produtos ou usadas sozinhas. O biodiesel não é produzido apenas a partir da reação química de lipídios com álcoois na presença de catalisadores, mas também como um produto de muitos outros processos termoquímicos, como a pirólise. Ao contrário do óleo vegetal bruto, o biodiesel pode ser usado em motores a diesel de combustível na forma pura (ou seja, 100% de biodiesel, B100) ou quando misturado com diesel

em motores a diesel levemente modificados. As misturas de biodiesel atualmente usadas em todo o mundo incluem B5 (5% de biodiesel, 95% de PD), B10 (10% de biodiesel, 90% de Diesel), B20 (20% de biodiesel, 80% de Diesel), B80 (80% de biodiesel, 20% de Diesel) (LEE; OFORI-BOATENG, 2013).

Yáñez Angarita et al. (2009) encontraram indicadores que concordam com o que o biodiesel a partir do óleo de dendê, atualmente, é uma das alternativas renováveis de energia mais importantes no mundo, contribuindo para a diminuição dos gases de efeito estufa, apresentando valores da eficiência energética do ciclo de biodiesel é de 0,8055 (1,2414 MJ de energia total/1 MJ de combustível) e a relação de energia fóssil é de 3,21 (0,3110 MJ de energia fóssil/1 MJ de combustível). Portanto o biodiesel pode ser considerado um combustível renovável, ressaltando a importância de ter presente o fator de sequestro do carbono da matéria-prima no crescimento na Malásia (HENSON, 2004), bem como a mudança do uso do solo em estudos feitos para a Colômbia (HENSON; RUIZ ROMERO; ROMERO, 2012a) (HENSON; RUIZ ROMERO; ROMERO, 2012b), aspectos que vêm cada dia tendo maior relevância na avaliação dos ciclos de vida do biodiesel, e que não são considerados em muitos estudos encontrados na literatura. Recentemente, estimou-se o do balanço de carbono entre o sequestro e as emissões de gases de efeito estufa para o cultivo de azeite de palma *Elais Guineenses*, dando como resultado que se repararam 606 kg de CO₂ (RIVERA MENDEZ; RODRÍGUEZ; ROMERO, 2017).

Na Colômbia, conseguiu-se fazer uma análise da produção atual do óleo de dendê com uma representatividade de 70% dos dados da produção nacional, analisando-se dois cenários. O primeiro com a produção do biodiesel, biogás, cogeração e compôs, e o segundo com produção de biodiesel, biogás, cogeração e pellets, encontrando uma diminuição em 55% nas emissões de gases de efeito estufa na meia, bem como demonstrando que os índices de energia líquida (NER) apresentam na Análise de Ciclo de Vida que a energia fóssil consumida é menor que a energia renovável gerada (RAMIREZ CONTRERAS et al., 2020).

Converter uma usina de extração de azeite de palma numa biorrefinaria na Colômbia dadas as altas proporções de biomassa é o maior potencial dessa agroindústria, já que hoje em dia se aproveita o óleo de dendê, o óleo de palmiste para uso de alimentos e biodiesel, mas também tem-se produtos residuais da usina, como a casca (4%), a fibra (7%) e cachos (7%) para a geração de energia, que poderiam ser utilizados em diversas aplicações (GARCIA-NUNEZ et al., 2016a).

Posteriormente, conseguiu-se avaliar diferentes cenários e encontrou-se que a usina pode obter benefícios econômicos em indicadores de taxa interna de retorno para alternativas como a produção de energia a partir de biogás, combustão de biomassa para vapor e biogás combinado, entre outros, conseguindo encontrar que, com a biomassa que se tem nas usinas, seria possível gerar até 125 kWh de energia elétrica, 207 kg de compost, 125 kg de pellet, 44 quilogramas de biochar por tonelada métrica de cachos de fruta fresca (GARCIA-NUNEZ et al., 2016b). Avaliações foram feitas com indicadores de energia e sustentabilidade ambiental para converter uma usina de extração de azeite de palma numa biorrefinaria, com a inclusão de produtos como pirólise rápida, biochar e biodiesel, encontrando-se que o índice de eletricidade para o melhor caso foi de 110,23 Kw por toneladas de cachos de fruta fresca excedente, com uma eficiência geral de 82,69%, assim como também se conseguiu uma ganância no fluxo da energia total de até 17,77 (OCAMPO BATLLE et al., 2020). Países como a Indonésia tem um potencial de melhora energético líquido na produção de biodiesel, onde, com o objetivo de equilibrar os indicadores energéticos, identificou-se que as matérias-primas como o metanol, a energia para a produção do biodiesel e a ureia são 85% do aporte total da energia, e destacou-se as implicações que tem o transporte dos biocombustíveis internacionalmente. O uso da biomassa para gerar energia, bem como o mesmo uso para restaurar os nutrientes do solo, são importantes para conseguir esse equilíbrio e a produção sustentável do biodiesel (KAMAHARA et al., 2010).

2.3.1. Estatística

A Colômbia tem, atualmente, 12 usinas de produção de biodiesel a nível nacional, as quais têm uma capacidade de produção de aproximadamente 844.000 mil toneladas de biodiesel/ano (ver Tabela 8), das quais as maiores estão localizadas na região de Facatativa, Cundinamarca, empresa com o nome de *BioD*, com uma capacidade de 200.000 toneladas de produção de biodiesel por ano, seguidas pelas empresas *Biocombustiveis Sostenibles del caribe* com 152000 t/ano, e *Aceites Manuelita* com 120.000 t/ano. Dessas 844.000 toneladas de biodiesel, a Colômbia tem a capacidade de destinar para o consumo interno 560.000 toneladas/ano, as 284.000 toneladas de biodiesel/ano de diferença são exportadas. Porém, apesar de ter uma capacidade de 844.000 toneladas de biodiesel/ano, a Colômbia só produz 462.962 toneladas de biodiesel/ano (ver Tabela 7), o que deixa

ver que as usinas de biodiesel na Colômbia estão operando com 54% de sua capacidade de processamento, isso pelo comportamento de oferta e demanda do óleo cru de palma, que pode ser destinado para a indústria alimentícia. Na Tabela 7, pode-se ver que dos anos 2014 a 2016, perto de 40-47% da produção do óleo da Colômbia se transformava em biodiesel, mas na atualidade esse valor caiu a valores de 28%, o qual é um desafio para o país, voltar a conseguir uma maior participação do mercado. Para uma melhor ilustração da distribuição de usinas na Colômbia, apresenta-se na Figura 27 a localização geográfica das 12 usinas a nível país. (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019)

Tabela 7. Dados de produção de Biodiesel na Colômbia. (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019)

Indicador	2014	2015	2016	2017	2018
Produção de Biodiesel (t)	518.093	513.354	458.800	460.121	462.962
Produção de óleo de palma cru (t)	1.109.707	1.275.222	1.146.203	1.627.572	1.630.413
Produção de Biodiesel/Produção de óleo (%)	47%	40%	40%	28%	28%

Tabela 8. Usinas produtoras do Biodiesel em funcionamento na Colômbia (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019)

Região	Empresa	Capacidade (t/ano)
Santa Marta, Magdalena	Biocombustibles Sostenibles del caribe	152.000
Codazzi, Cesar	Oleoflores	70.000
Barranquilla, Atlantico	Romil de la Costa	0
Gálapa, Atlantico	Biodiesel de la Costa	0
Santa Marta, Magdalena	Odin Energy	35.000
Facatativá, Cundinamarca	BioD	200.000
Barrancabermeja, Santander	Ecodiesel Colombia	115.000
San Carlos de Guaroa, Meta	Aceites Manuelita	120.000
San Carlos de Guaroa, Meta	Inversión la paz	70.000
Barrancabermeja, Santander	ALPO	12.000
Santa Marta, Magdalena	Biocosta Green Energy	70.000
TOTAL		844.000

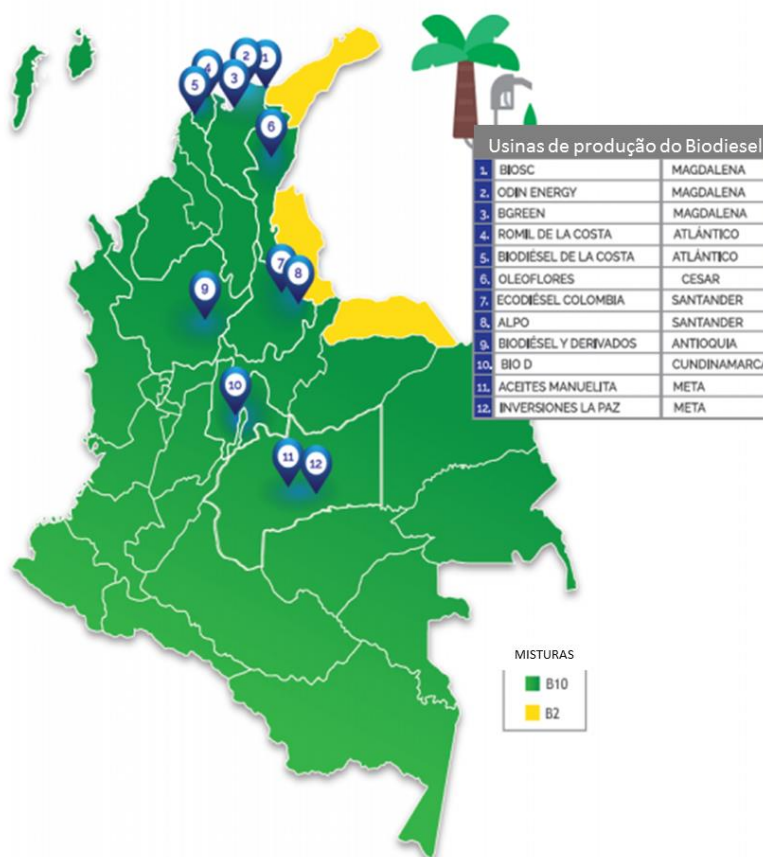


Figura 27. Distribuição atual na Colômbia das usinas produtoras de biodiesel. (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2019)

2.3.2. Processos e produtos

Existem três tecnologias de concessão de óleos vegetais e gorduras em biodiesel: (i) transesterificação do óleo por catálise base, (ii) transesterificação do óleo por catálise ácida direta ou (iii) conversão do óleo em seu ácido graxo e posteriormente em biodiesel (OCAMPO BATLLE, 2019). Os produtores de biodiesel optam pela primeira opção devido à baixa temperatura e pressão no processo. Esse método também tem alta taxa de conversão de quase 98% com efeitos colaterais mínimos e menor tempo de reação. Esse método é vantajoso, uma vez que não é necessário qualquer composto intermediário e o óleo pode ser convertido diretamente em biodiesel. O processo de produção de biodiesel é apresentado na Figura 28.

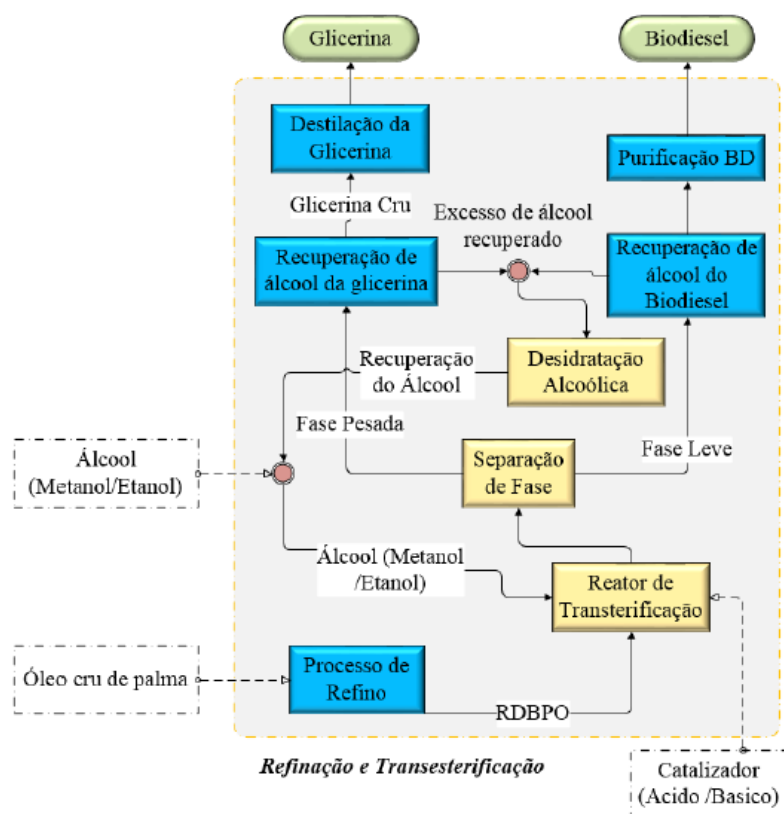


Figura 28. Diagrama de transesterificação de óleo de palma refinado (OCAMPO BATLLE, 2019)

A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Consiste na reação química (Figura 29) dos óleos vegetais ou gorduras animais com álcoois de cadeia curta em presença de um catalisador, da qual também se obtém a glicerina, produto com aplicações diversas na indústria química.

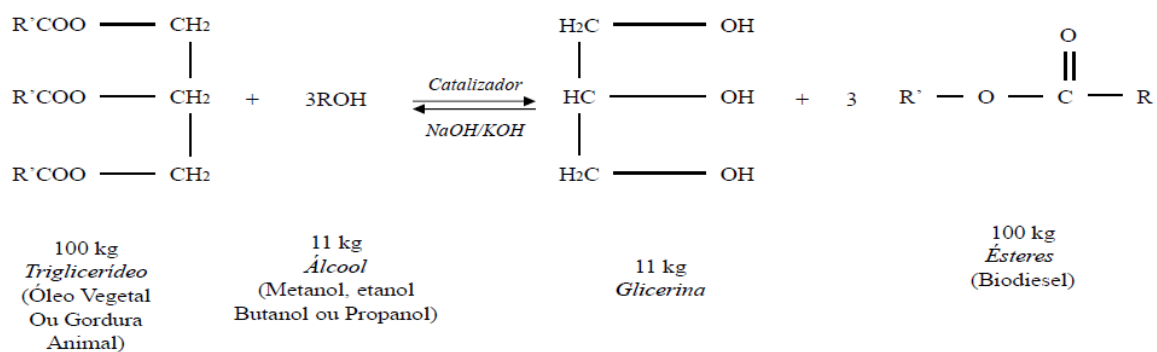


Figura 29-Reação de Transesterificação(OCAMPO BATLLE et al., 2020)

2.4. Energia na Usina de extração de Óleo

As indústrias de óleo de palma geram uma quantidade enorme de resíduos. A partir de uma tonelada de cachos de frutas processadas (CFF), são gerados diferentes tipos de biomassas, que incluem cachos de frutas vazios (23%), fibras de mesocarpo (12%), casca (5%) e efluente da usina de óleo de palma (POME) (60%). O POME possui uma alta demanda química e bioquímica de oxigênio e conteúdo mineral, como nitrogênio e fósforo, o que pode causar poluição severa ao meio ambiente, no qual estima-se que o potencial de energia gerada a partir de recursos da biomassa pode ser de 5,53 milhões de toneladas de energia. O dendê (*Elaeis Guineensis*), originalmente cultivado na África Ocidental e Central, antes de ser trazido para a Malásia, Indonésia e Tailândia, tornou-se hoje uma mercadoria importante (AHMAD; BUANG; BHAT, 2016).

A fim de se evitar acidificação excessiva do óleo de palma durante o transporte e armazenamento de cachos de frutas frescas, as usinas de extração devem estar localizadas próximas às culturas. Por esse motivo, às vezes há dificuldades em fornecer a energia elétrica necessária para a operação do equipamento, a partir das redes das empresas públicas que produzem esse serviço. Além disso, em geral, o custo dessa energia é muito alto. Portanto, é conveniente ter um sistema autônomo de geração de energia elétrica, comumente chamado de "autogeração", no qual o vapor produzido nas caldeiras para o processo de esterilização e para equipamentos de aquecimento também é usado para a geração própria de eletricidade, usando turbinas a vapor de alta pressão, ver Figura 30. (NIETO, Diego, 2007)

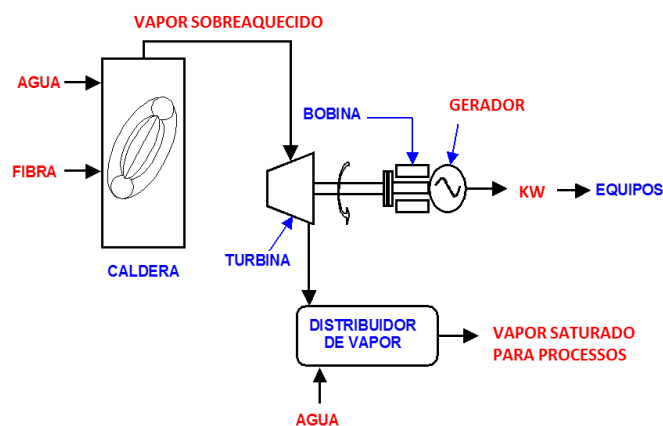


Figura 30. Diagrama típico do uso de vapor na geração de eletricidade e depois nos processos

A energia liberada durante a expansão do vapor é convertida pela turbina em energia mecânica para acionar um gerador elétrico. Uma planta projetada adequadamente deve fornecer vapor e energia elétrica suficientes para seus requisitos operacionais (20- 30 kWh/ton CFF), e também fornecer uma porcentagem de energia adicional para outros processos ou para consumo em áreas administrativas. (NIETO, Diego, 2007)

2.4.1. Descrição da turbina

A turbina a vapor é uma máquina basicamente composta por um impulsor com pás, ou pás que giram movidas pelo vapor que é introduzido através de bocais. A própria máquina é composta pelo próprio impulsor dentro de sua caixa, a caixa de engrenagens, um recipiente ou tanque que contém óleo para os diferentes controles e para lubrificação, e um gerador para a produção de corrente elétrica. Todos os elementos são montados em um único suporte, como mostra a Figura 31. (ARRIETA *et al.*, 2007)



Figura 31. Fotografia de uma turbina utilizada nas usinas de extração de óleo. (Fonte: GUAICARAMO 2019)

A velocidade da turbina deve ser controlada com muita precisão para obter uma frequência estável no gerador. A velocidade da turbina depende do fluxo e pressão do vapor que é alimentado pelo equipamento e seu controle é feito por meio de uma válvula operada hidraulicamente (válvula reguladora), que abre ou fecha o suprimento de vapor, para manter a velocidade constante. Além disso, a turbina está equipada com um dispositivo de fechamento rápido, para evitar velocidades excessivas. Quando a velocidade máxima admissível é atingida, uma parte dentro do eixo (que é movida pelo próprio eixo da turbina) é movida para fora por força centrífuga e libera a catraca do regulador de fechamento rápido, que desbloqueia uma válvula hidráulica, permitindo ao óleo retornar diretamente ao contêiner, retirando a pressão do circuito e parando a turbina. A catraca no regulador de liberação rápida pode ser reativada manualmente, operando o botão. Um sistema de retentor de anel de carbono (bucim) permite a vedação ao redor do eixo do impulsor quando ele passa pelo alojamento ou pela carcaça da própria turbina. Com um sistema de engrenagem, as pás transmitem o movimento ao eixo da turbina, reduzindo sua velocidade para 1800 rpm, exigida pelo gerador para manter a frequência de trabalho (60 Hz). O eixo da turbina transmite movimento ao eixo do gerador, através de um acoplamento de engrenagem. A base de suporte da turbina e do grupo gerador é construída de tal forma que também serve como tanque de óleo, e também com o objetivo de colocar todos os acessórios adicionais e o radiador de óleo montado no local. O tanque de óleo é comum e fornece os rolamentos de lubrificação e o circuito de controle hidráulico, ambos com o mesmo tipo de óleo (ARRIETA *et al.*, 2007).

2.4.2. Co-geração nas usinas de extração de óleo de dendê

Uma das linhas transversais é a sustentabilidade energética da indústria para a integração da cadeia de subprodutos em biorrefinarias que garantirão a auto-suficiência energética. O setor de palma azeitera é caracterizado por produzir 42% da biomassa residual do processo de produção para gerar toda a energia necessária para a planta de extração.

O agronegócio do dendê é um setor exigente para água e energia, e estima-se que as usinas tenham consumido, em 2016, mais de cinco milhões de metros cúbicos de água, 124 GWh de energia elétrica e pelo menos 2,8 milhões de toneladas de vapor. A quantidade de água utilizada é equivalente ao consumo mensal de 27.000 colombianos, enquanto a de energia é de 260.000

pessoas. Esses recursos contribuem com uma proporção considerável para os custos operacionais. Por outro lado, o setor é chamado de referência em termos de produção sustentável, uma qualificação que requer consciência ambiental e otimização do uso de recursos. (ARRIETA *et al.*, 2007)

Segundo Arrieta *et al.* (2007), as usinas de extração de óleo de palma são caracterizadas pela disponibilidade de quantidades consideráveis de subprodutos de alto valor energético, como cachos de frutas vazios (EFB), fibras, conchas e efluentes líquidos com alto teor de produtos orgânicos, chamados efluentes de moinhos de óleo de palma (POME). Uma fábrica de óleo de palma produz resíduos equivalentes a quase três vezes a quantidade de óleo produzido pela biomassa, mostrando um enorme potencial para aumentar a eficiência energética das usinas e a potência instalada, principalmente pelo uso de subprodutos em usinas de cogeração com altos parâmetros de vapor e reduzindo o consumo de vapor em processo. Nesse estudo, foram obtidos resultados que, para capacidades de processamento de cachos de frutas frescas (CFF) entre 18 e 60t CFF por hora, é possível haver excedente de energia que varia entre 1 e 7 MW, se as plantas forem autossuficientes em energia elétrica e vapor para o processo. Com um fator de capacidade médio (aproximadamente 0,4), é possível esperar um índice de geração de 75 e 160 kWh por 1 t CFF, quando a planta de processamento estiver em operação ou parada, respectivamente, 3 ou 4 vezes melhor do que quando um sistema tradicional com um encosto de turbinas a vapor de alta pressão são usadas.

No final de 2014, a Colômbia tinha 450.131 hectares plantados em dendezeiros, o que significava o uso de 5.422.000 toneladas de cachos de frutas frescas (CFF) processados em 62 plantas de processamento, que geraram 2.168.800 de biogás, toneladas de biomassa e 119.284.000 m³ de combustíveis disponíveis para gerar energia nas plantas e no processamento; O potencial de geração de eletricidade a partir do agronegócio de dendezeiros é estimado em 340 MW de potência (montante equivalente à capacidade de geração da barragem de Urrá), esse potencial aumenta na medida em que a disponibilidade de biomassa aumenta como consequência do crescimento da produção de cachos de frutas frescas nas áreas produtivas plantadas, e o tratamento da biomassa, na qual no mesmo estudo encontrou-se os poderes caloríficos inferior e umidade da biomassa, para a fibra de 14.320 kJ/kg com umidade de 31%, para a casca um AFI de 19.942 kJ/kg com 9% de umidade, a tusa de 11.290 kJ/kg e umidade de 40% e por último Biogas com um AFI de 22.900

kJ/m³ (BRICEÑO ÁLVAREZ IVONNE CRISTINA, VALENCIA CONCHA JAIME FERNANDO, 2015).

Segundo (Yusniati; Parinduri; Sulaiman, 2018), a usina de óleo de palma produz apenas 25-30% dos principais produtos na forma de 20-23% de OCP e 5-7% de palmiste. Enquanto os 70-75% restantes são resíduos que podem ser classificados em três grupos, a saber: resíduos líquidos, resíduos sólidos e resíduos de gás. A quantidade de resíduos sólidos produzidos pela fábrica de processamento de óleo de palma varia de 40 a 41% de cada tonelada de palma processada. O desperdício de moinho de óleo de palma é na verdade um componente de poluentes, mas pode ser usado como uma fonte de energia elétrica.

Num estudo sobre propor a transformação de uma usina de extração de óleo numa Biorefinaria, feito por (Garcia-Nunez; Rodriguez; *et al.*, 2016b), foram avaliados cenários para produzir mais energia excedente na indústria da palma de azeite, avaliando a cogeração, primeiro num cenário de linha de base, uma caldeira de baixa eficiência (73% de eficiência) é usada para gerar vapor (500 kg t⁻¹ 1 de CFF) a 2,0 MPa usando frações de fibra e casca. O vapor da caldeira é usado em um sistema de turbina a vapor de contrapressão (TVC) para gerar 22 kWh t⁻¹ de CFF, que é usado para fornecer eletricidade para a usina. Nos novos conceitos de biorrefinaria (exceto aquele em que a eletricidade excedente é o único produto final), a cogeração foi considerada com uma caldeira mais eficiente (80% de eficiência) para gerar a mesma quantidade de vapor (mas usando menos biomassa) mantendo a mesma TVC. No caso de excesso de eletricidade ser o principal produto a ser enviado à rede, uma caldeira de 4,0 MPa (com eficiência de 85% que utiliza 100% da massa da biomassa) juntamente com uma turbina de extração por condensação (TEC) para gerar vapor e eletricidade para o processo.

Conforme ao trabalho desenvolvido por (Husain; Zainal; Abdullah, 2003), é necessário considerar para o cálculo da eficiência da caldeira, fatores como a homogeneidade do combustível, mistura adequada da fibra e a casca, porcentagem da umidade e combustão completa ou incompleta, o qual deu como resultado depois de analisar 8 usinas na Malásia e Indonésia que a eficiência média da caldeira na usina de palma de azeite é de 73%, e que as turbinas a vapor normalmente usadas em moinhos de óleo de palma são turbinas de impulso de um ou dois estágios, encontrando em média eficiências de 68,5% para turbinas de contrapressão, valor inferior ao das turbinas

convencionai de condensação usadas nas usinas de energia, essa eficiencia menor é causada pelas perdas no menor comprimento do sistema de pás e perdas devido à umidade do vapor.

Depois de fazer a revisão de alguns trabalhos de cogeração em palma de azeite a continuação se apresenta uma tabela com as principais variáveis. Ver Tabela 9.

Tabela 9 – Estudos de Cogeração referentes

Autores - País	Objetivo de estudo	Tipo de Sistema	Qualidade do Vapor	Kg vapor/tCFF	kWh/t CFF	Eficiência Caldeira	Eficiência Turbina	Produz Energia Excedente
(HUSAIN; ZAINAL; ABDULLAH, 2003) Malasia	Determinar as eficiências de caldeiras e turbinas, fator de utilização de energia	Caldeira + turbina de contrapressão e turbina condensação	Sobreaquecido a 20 bar	600-650	15-20	73%	68,5%	Não, mas pode ser gerado excedente com a turbina de condensação
(GARCIA-NUNEZ; RODRIGUEZ; <i>et al.</i> , 2016b) Colombia	Avaliação de alternativas para a evolução de moinhos de óleo de palma em biorrefinarias	Turbina de vapor a presión	Cenário 1: Linha base turbina a vapor de contrapressão (TVC) Cenário 2: turbina a vapor de contrapressão (TVC) Cenário 3: turbina de extração por condensação (TEC)	500	22	Cenário 1: 73% Cenário 2: 80% Cenário 3: 85%	-	Só no cenário 3

(YUSNIA TI; PARIND URI; SULAIM AN, 2018) Indonesia	Análise de biomassa na fábrica de óleo de palma como usina elétrica	Caldeira + turbina de contrapressão	Sobreaquecido 18-21 barg	600	24.5	73%	-	Não
(BRICEÑO O ÁLVAREZ Z IVONNE CRISTINA, VALENCIA A CONCHA JAIME FERNANDO, 2015) Colômbia	Descrição do mercado que deve se fazer para comercializar os excedentes de energia elétrica.	Caldeira + turbina de contrapressão	Sobreaquecido (21,31,32) bar	450-550	18-22	74,5%	75%	Sim

2.4.2.1. Impacto ambiental da co-geração

Além de reduzir o consumo de combustível e diminuir os custos de geração de eletricidade nas usinas, a co-geração permite a redução na emissão de poluentes, devido à utilização mais eficiente do combustível. Os principais componentes dos gases de exaustão que poluem o ambiente são (YÁÑEZ ANGARITA, 2008):

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Óxidos de nitrogênio (NO_x);
- Óxidos de enxofre, usualmente o dióxido de enxofre (SO₂);
- Hidrocarbonetos não queimados (chamados de HC ou UHC); e
- Material particulado.

Na Tabela 10 apresentam-se os níveis típicos de emissões (sem controle) para várias tecnologias de co-geração. Considera-se que cada nível de emissões depende da tecnologia, do ano de fabricação, do estado da unidade, da potencia a gerar, da carga de operação, do tipo e da qualidade do combustível usado, etc.

Tabela 10. Valores típicos de emissões não controladas em sistemas de cogeração. (YÁÑEZ ANGARITA, 2008)

Sistema	Combustível	Eficiência Elétrica (%)	Emissões específicas (g kWh ⁻¹)					
			CO ₂	CO	NO _x	HC	SO _x	Particulado
Diesel	Diesel 0,2% S	35	738,15	4,08	15,56	0,46	0,91	0,32
Motores a gás	Gás natural	35	577,26	2,8	1,9	1,0	~0	~0
Turbinas a gás	Gás natural	25	808,26	0,13	2,14	0,10	~0	0,07
	Diesel 0,2% S		1033,41	0,05	4,35	0,10	0,91	0,18
Turbinas a gás-baixo NO _x	Gás natural	35	577,26	0,3	0,5	0,05	~0	0,05
Turbina a vapor	Carvão	25	1406,40	0,26	4,53	0,07	7,75	0,65
	Óleo combustível		1100	~0	1,94	0,07	5,18	0,65
	Gás natural		808,16	~0	1,29	0,26	0,46	0,07
Células de combustível	Gás natural	40	505,1	0,03	0,03	0,05	~0	~0

2.4.3. O Biogás

O biogás é um tipo de biocombustível gasoso que compreende principalmente metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), bem como vestígios de gás sulfeto de hidrogênio (H_2S), água e siloxanos. É comumente gerado através da biodegradação de matéria orgânica, como resíduos de animais, resíduos municipais, efluentes industriais, materiais vegetais mortos, cultivos energéticos, etc., na ausência de oxigênio por um processo bioquímico. Dependendo do tipo de matéria-prima e da tecnologia usada para a produção de biogás, ele pode ser alternativamente chamado de gás de pântano, gás de aterro ou gás de digestor. Na maior parte do mundo, o biogás dos digestores é produzido a partir de resíduos de animais, efluentes industriais orgânicos e resíduos de alimentos. Por exemplo, o esterco de uma vaca pode produzir cerca de 3 kWh de eletricidade em um dia, o que é mais do que suficiente para alimentar uma lâmpada de 100 W que usa 2,4 kWh por dia. O valor calorífico do biogás está entre 21 e 25 MJ/m³, o que implica que para 1 m³ de biogás, 1,7 kWh de eletricidade pode ser gerada (ZHU et al. 2009; LEE; OFORI-BOATENG, 2013).

Na Malásia, encontrou-se, depois de analisar 48 estudos sobre a Avaliação do Ciclo de Vida de produção do biogás, que o biogás a partir do POME da usina de extração, é uma das fontes bioenergéticas de maior potencial, sendo uma das práticas mais sustentáveis aplicadas nesse país (AZIZ; HANAFIAH; GHEEWALA, 2019a). Plantios da palma do dendê em terras degradadas, junto a boas práticas no manejo dos cultivos, podem obter reduções de emissões de 150% ou mais e podem converter plantações do dendê em sumidouros de carbono (WICKE et al., 2008). Adicionalmente, nesse mesmo país, a indústria de palma de azeite tem um dos maiores potenciais de biomassa lignocelulósica, ressaltando que, entre essas alternativas, encontra-se o biogás a partir do POME, já que a energia potencial do biogás é tremenda, com produções de 28m³/m³ de POME, e um poder calórico de 20MJ/m³. (LOH, 2017). Ver a Figura 32. Motor de Combustão interna de Biogas. (Fonte: GUAICARAMO 2019)



Figura 32. Motor de Combustão interna de Biogas. (Fonte: GUAICARAMO 2019)

2.5. Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A ACV é uma metodologia utilizada para avaliar aspectos ambientais e energéticos associados à produtos e processos durante o ciclo de vida, ou seja, do berço ao túmulo (em inglês “*from cradle to grave*”). O ciclo inicia-se quando são requeridos os recursos da natureza, sejam materiais ou energéticos, para a manufatura de um determinado produto e finaliza-se após o cumprimento de sua função, retornando ao meio ambiente. A Figura 33 ilustra os estágios típicos do ciclo de vida de um produto (RUBIN, 2001).

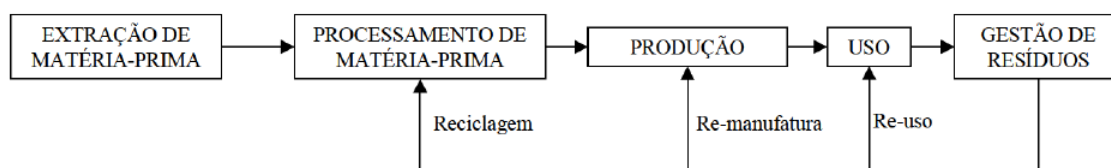


Figura 33. Etapas do Ciclo de vida. (Fonte: RUBIN, 2001)

Segundo (SILVA LORA *et al.*, 2016) a aplicação da Análise do Ciclo de Vida - ACV em biorrefinarias de óleo de palma de aceite, se faz por meio do análise de indicadores ambientais e de energia para definir a sustentabilidade da biorrefinaria, para isso é necessário ter uma ferramenta que permita avaliar os impactos causados pelo processo de conversão de biomassa em seu

ambiente. Nesse momento, a ACV é usada como uma ferramenta objetiva para a análise ou quantificação das consequências ambientais de produtos e serviços ao longo de seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até a produção industrial, incluindo o estágio de seu uso e sua disposição final. De acordo com a norma ISO 14040, o ACV é um método para avaliar os aspectos ambientais e os impactos ambientais associados a produtos ou serviços que permitem:

- Identificar e priorizar as oportunidades de melhoria de um sistema de produção.
- Caracterizar ou comparar sistemas de produção (benchmarking) e suas unidades de produção ao longo do tempo.
- Fazer comparações relativas entre sistemas de produtos com base em indicadores selecionados por categoria.
- Indicar eventos ambientais para os quais outras técnicas podem complementar as informações para tomar decisões.

Durante a análise do ciclo de vida, os dados de inventários (consumo de matérias-primas e emissões) são agrupados por categorias de impactos ambientais. As metodologias de avaliação permitem que esses impactos sejam derivados de categorias iniciais: danos à saúde humana, ao ecossistema e ao esgotamento dos recursos naturais. Um valor mais baixo dos indicadores dessas categorias iniciais indica uma maior sustentabilidade do processo ou produto em análise.

Além disso, para avaliar a sustentabilidade de uma biorreinerária, é usado uma série de indicadores que permitem quantificar o estado de desenvolvimento da tecnologia. Dentre eles, destacamos:

- Indicadores econômicos (custos de produção)
- Insumo e produção de energia ou índice de energia líquida (Índice de energia líquida Net Energy Ratio – ner)
- Combustível fóssil substituído por hectare
- Pegada de carbono: emissões de efeito estufa evitado (redução de emissões equivalentes de CO₂ equivalente)
- Impactos ambientais (indicadores por categoria de impacto)

- Emissões de carbono devido a mudanças no uso da terra
- Indicadores de renovação (exergia)
- indicadores sociais

2.5.1. Metodologia da Análise do Ciclo de Vida

Segundo Finkbeiner & Inaba et al. (2006), o processo para a análise do ciclo de vida geralmente compreende uma estrutura metodológica normatizada internacionalmente pela ISO, e no Brasil, pela ABNT, em que são determinadas as fases e os procedimentos gerais da execução de um estudo de ACV. Houve um processo de revisão da primeira geração de padrões da ACV, e as quatro normas existentes ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000, foram tecnicamente revistas, canceladas e substituídas, como pode ser observado na Figura 34.

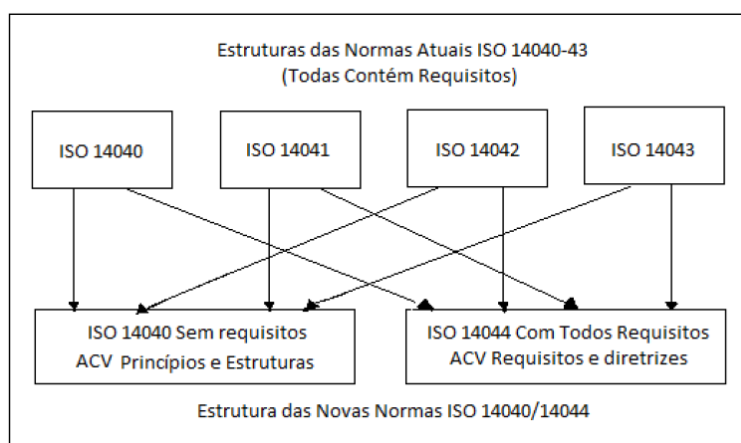


Figura 34. Estrutura da Norma ISSO. (Fonte: FINKBEINER& INABA et al., 2006)

De acordo com ISO 14044, existem quatro fases numa ACV, mostradas na Figura 35 a seguir:.

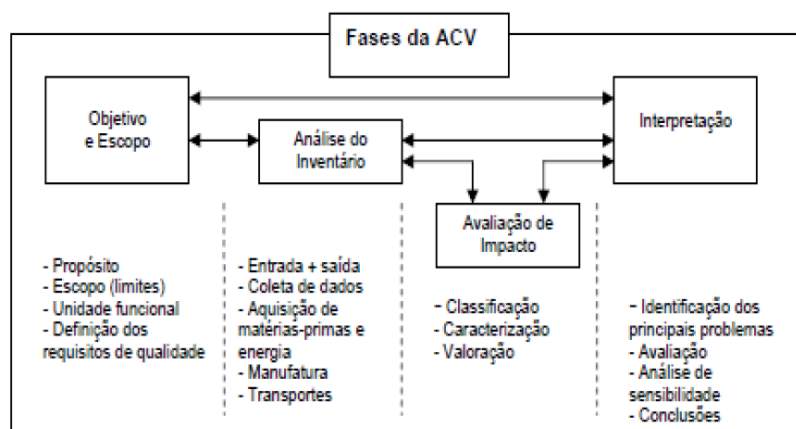


Figura 35. Fases de um ACV. (Fonte: CHEHEBE, 1998)

2.5.1.1. Definição do objetivo e escopo

O objetivo e o escopo são as primeiras fases para a realização da ACV. Estas etapas devem ser coerentes com a aplicação pretendida e claramente definidas (OMETTO, 2005). De acordo com a ISO14040 (2006), o objetivo deve declarar de maneira inequívoca a aplicação pretendida e o processo de revisão crítica que se pretende adotar.

O escopo do trabalho deve identificar e definir o objeto de análise e limitá-lo para incluir o que é significativo, e deve considerar os seguintes aspectos:

2.5.1.1.1. Função do Sistema

É a definição clara das características de performance do produto a ser modelado (função). A função selecionada para um determinado estudo depende do objetivo e do escopo do estudo (CHEHEBE, 1998).

2.5.1.1.2. Unidade Funcional

A unidade funcional é uma medida do desempenho das saídas funcionais do sistema do produto, que constitui a referência para a qual as entradas e as saídas são relacionadas. O objetivo primário da unidade funcional é servir de unidade de referência para o estudo, pois a comparação entre os sistemas deve ser realizada com base na mesma unidade (ISO 14040, 2006).

2.5.1.1.3. Fluxo de referência

Segundo Chehebe (1998), a comparação entre sistemas deve ser realizada com base na mesma unidade funcional. No entanto, em alguns estudos que comparam diferentes sistemas, a unidade funcional pode não ser adequada para a coleta de dados (de ambos os sistemas) necessários na etapa de inventário. Nesses casos existe a necessidade de utilizar-se a unidade de fluxo de referência equivalente. Logo, o fluxo de referência é a quantidade de produto necessária para realizar a função definida. Fluxo de referência liga a unidade funcional com a unidade operacional utilizada para o inventário.

2.5.1.1.4. Identificação dos limites

As fronteiras do sistema determinam quais as entradas e saídas serão incluídas no estudo, as fronteiras técnicas, geográficas e históricas. A seguir serão descritos os limites de um estudo, de acordo a ISO 14040 (2006).

A) Fronteiras do sistema

De acordo com a ISO 14040 (2006), as fronteiras do sistema determinam quais as unidades de processo devem ser incluídas na ACV, bem como a seleção de entradas e saídas. O objetivo e a finalidade da ACV definem o nível de simplificação aceitável, sendo que três diferentes abordagens podem ser consideradas:

Análise berço-portão

São removidos todos ou alguns estágios finais, relacionados com o uso e a disposição final do produto.

Análise portão-portão

São removidos todos ou alguns estágios iniciais e finais, neste caso o foco principal de estudo é o processo de manufatura do produto em si.

Análise portão-túmulo

São removidos todos ou alguns estágios iniciais, ou seja, relacionados com a obtenção das matérias-primas, pois o foco de análise é a disposição final do produto.

B) Limites geográficos: representam a relação entre os dados utilizados e a região de estudo, ou seja, é a região específica do estudo de ciclo de vida (D'AGOSTO, 2004).

C) Limite temporal: está relacionado ao intervalo de tempo sobre o qual a base de dados será coletada.

D) Limites tecnológicos: estão relacionados aos tipos de tecnologias disponíveis durante o processo de análise e também presentes no estudo (CHEHEBE, 1998).

2.5.1.2. Análise do inventário

Segundo a ISO 14040 (2006), a etapa da Análise do Inventário do Ciclo de vida envolve a coleta dos dados e os procedimentos utilizados para quantificar as entradas (materiais e energéticas) e as saídas (na forma de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) ao longo do ciclo de vida do produto.

As principais fases necessárias para a elaboração de um inventário são descritas a seguir:

2.5.1.2.1. Preparação para a coleta de dados

Diante do grande volume de informações na etapa de coleta de dados, é conveniente preparar formulários sistemáticos para armazenar tais informações. Logo, alguns cuidados devem ser tomados para assegurar a qualidade e confiabilidade dos dados, como por exemplo, a elaboração de fluxogramas específicos que mostrem as unidades de processo e sua descrição detalhada. Para cada processo, deve-se coletar informações sobre as entradas e saídas ambientais e as unidades de medidas utilizadas (CHEHEBE, 1998).

2.5.1.2.2. Coleta de dados

Os procedimentos utilizados para a coleta de dados devem descrever quantitativamente e qualitativamente as entradas e saídas de cada processo, bem como procedimentos de alocação, caso necessário. Assim que as informações forem recebidas, é importante verificar se os dados estão completos e compatíveis com dados de outras fontes (CHEHEBE, 1998).

2.5.1.2.3. Refinamento dos limites do sistema

Após a coleta de dados, deve-se revisar todo o sistema relacionado ao produto, analisar os limites e os critérios de corte que foram estipulados na fase de definição do objetivo e do escopo

do estudo (CHEHEBE, 1998). Recomenda-se a realização de análises de sensibilidade para determinar as significâncias das unidades de processos e suas possíveis alterações (MAURICE et al., 2000).

2.5.1.2.4. Alocação

Segundo Silva (2005), a alocação é o ato de distribuir proporcionalmente os fluxos de consumo de recursos e geração de rejeitos obtidas em etapas comuns do ciclo de vida entre os co-productos do mesmo. Quando um ou mais produtos de um sistema em estudo são passíveis de comercialização, ou mesmo usados em benefícios de outro sistema, a alocação precisa ser realizada para particionar as cargas ambientais.

De acordo com Chehebe (1998), os principais métodos de alocação são:

□ **Método de alocação por substituição:** este método baseia-se no entendimento de que alguns produtos são utilizados no mercado em substituição a outros. Para realizar essa alocação, considera-se desnecessária a produção do produto que foi substituído, omitindo também seus efeitos ambientais, também é conhecido como método de expansão das fronteiras

□ **Métodos de alocação baseado em propriedades físicas:** a alocação dos efeitos ambientais entre os co-productos são baseados em suas massas, conteúdo energético ou em equivalências químicas. No entanto, esse método só é satisfatório caso exista uma forte correlação entre as propriedades escolhidas e valor econômico dos co-productos.

□ **Método de alocação com base em fatores econômicos (Preços de comercialização de co-productos):** a principal razão da utilização deste método são os valores atribuídos pela sociedade aos produtos. No entanto, a dificuldade para a aplicação desse método é a natureza transitória dos valores econômicos.

2.5.1.3. Avaliação do impacto do ciclo de vida

A avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) tem como propósito determinar os potenciais impactos ambientais a partir das informações levantadas e quantificadas no inventário, além de fornecer subsídios para a etapa de interpretação. A AICV avalia o sistema de produto sob uma perspectiva ambiental, com o uso de categorias de impacto e de indicadores de categoria associados

aos resultados do ICV. A estrutura geral da AICV é composta por três elementos obrigatórios (ISO 14040, 2006) e dois opcionais:

2.5.1.3.1. Seleção e definição das categorias do impacto

Nessa etapa, ocorre a identificação das categorias de impactos ambientais correspondentes aos dados do inventário. Segundo Fava (1994), não existe uma série de categorias predeterminadas, como um padrão a ser seguido.

A seleção e a definição das categorias ambientais devem levar em consideração as preocupações ambientais identificadas no objetivo e no escopo do estudo (RENÓ, 2011).

2.5.1.3.2. Classificação

Classificação é a fase na qual os resultados do inventário de ciclo de vida são relacionados qualitativamente e agrupados de acordo com as categorias de impactos ambientais a serem considerados (GALDIANO, 2006).

2.5.1.3.3. Caracterização

É um elemento opcional, e de acordo com a normalização, tem por finalidade dar um melhor entendimento da grandeza do impacto ambiental do sistema produtivo, além de auxiliar na análise de consistência e na comunicação da significância do indicador de impacto. O procedimento de normalização é feito pela divisão do indicador do impacto por um valor de referência, que pode ser uma média global, nacional, regional, uma base per capita, ou média similar (YOKOTE, 2003).

2.5.1.3.4. Normalização

Devido a que as categorias de impacto são unidades diferentes e não podem ser comparadas, as variáveis são levadas aos mesmos termos normalizados para ser comparáveis.

2.5.1.3.5. Ponderação

Segundo Renó (2011), a ponderação é um elemento opcional, e geralmente é aplicado em alguns casos em que os inventários apresentam uma grande quantidade de dados envolvidos e

existe complexidade para relacioná-los ou prefere-se trabalhar com um indicador ambiental único. Este é formado atribuindo-se pesos a cada categoria de impacto em termos de sua importância, somando-os os resultados ponderados.

2.5.1.3.6. Método de avaliação de impacto

Segundo vários autores o método IMPACT 2002+ V2.1, é uma metodologia originalmente desenvolvida no Instituto Federal Suíço de Tecnologia de Lausanne (EPFL, siglas em inglês), na Suíça. A metodologia proporcionar uma abordagem combinada *midpoint/endpoint* (Figura 36), ligando todos os tipos de resultados do inventário do ciclo de vida (fluxos elementares e outras intervenções), através de 14 categorias intermediárias (midpoint), às quatro categorias de danos (endpoint) (Jolliet et al., 2003). Dessa forma, usufrui das vantagens das metodologias orientadas para o problema e das baseadas nos danos (Maham et al., 2018; Mahath et al., 2019). Por conseguinte, é um dos modelos de maior uso nas análises de ACV (Buratti et al., 2015; Djomo et al., 2008; Hong et al., 2010; Souza et al., 2015).

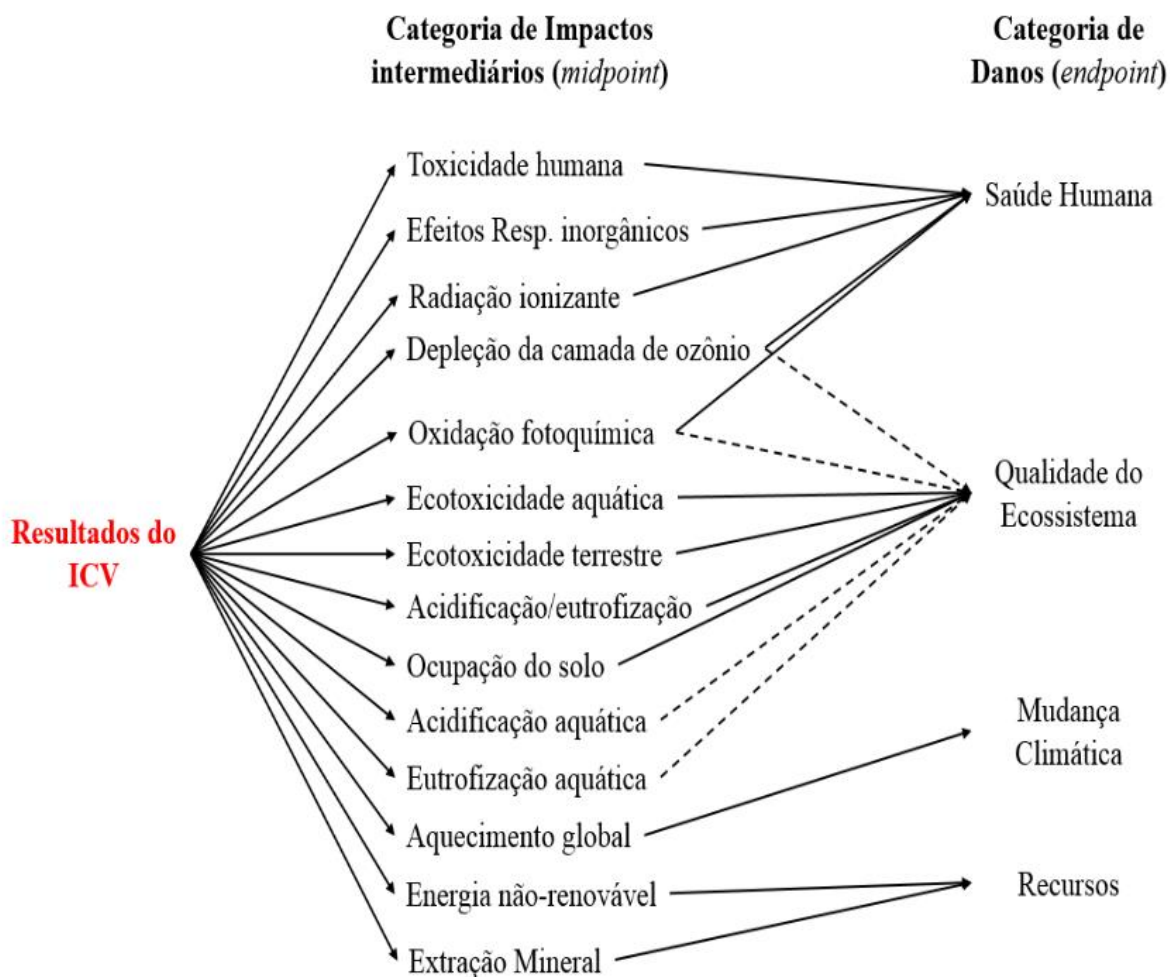


Figura 36. Categorias de impactos intermediários (*midpoint*) e danos (*endpoint*) para o método IMPACT 2002+ (adaptado de Jolliet et al. (2003)).

É importante ressaltar que os fatores de caracterização do midpoint são baseados em princípios de equivalência, isto é, as pontuações de caracterização do midpoint são expressas em equivalentes em kg de uma substância em comparação com uma substância de referência.

2.5.1.4. Interpretação dos resultados

O objetivo dessa etapa é combinar, resumir e discutir os resultados do estudo, com a finalidade de obter fundamentos para conclusões e recomendações que satisfaçam os objetivos iniciais. Esses resultados devem ser apresentados na forma de um relatório consistente.

A fase de interpretação do ciclo de vida compreende vários elementos, como se segue:

2.5.1.4.1. Identificação dos problemas significativos

Esta fase inclui a estruturação das informações provenientes do inventário, identificando as questões ambientais relevantes.

2.5.1.4.2. Avaliação

Tem como finalidade a determinação da confiabilidade nos resultados, incluindo os temas e relevância identificados anteriormente. Os resultados devem ser apresentados de forma clara e compreensível.

2.5.1.4.3. Conclusões, limitações e recomendações

Tem como objetivo estabelecer conclusões e recomendações para os usuários do estudo. Além disso, através do relatório, devem fornecer uma visão transparente e completa do estudo.

2.5.2. Estudos Precedentes

Nos últimos estudos realizados no mundo sobre a Análise de Ciclo de Vida na indústria de azeite de palma, foram feitas análises seguindo os princípios das normas ISO 14040 e 14044 para a ACV, na qual se exploraram as variações da metodologia da ACV e a escolha de parâmetros em uma análise comparativa de 11 estudos publicados sobre a produção de biodiesel a partir de óleo de palma, com aspectos importantes, como o sequestro do carbono das culturas e também a mudança de uso da terra, destacando inconsistência entre os estudos individuais em aspectos como cobertura e completude dos dados, limites dos sistemas e fluxos de entradas e saídas, conseguindo estabelecer variâncias nos valores que reportaram para cada estudo, o qual se apresenta na Figura 37(ARCHER; MURPHY; STEINBERGER-WILCKENS, 2018).

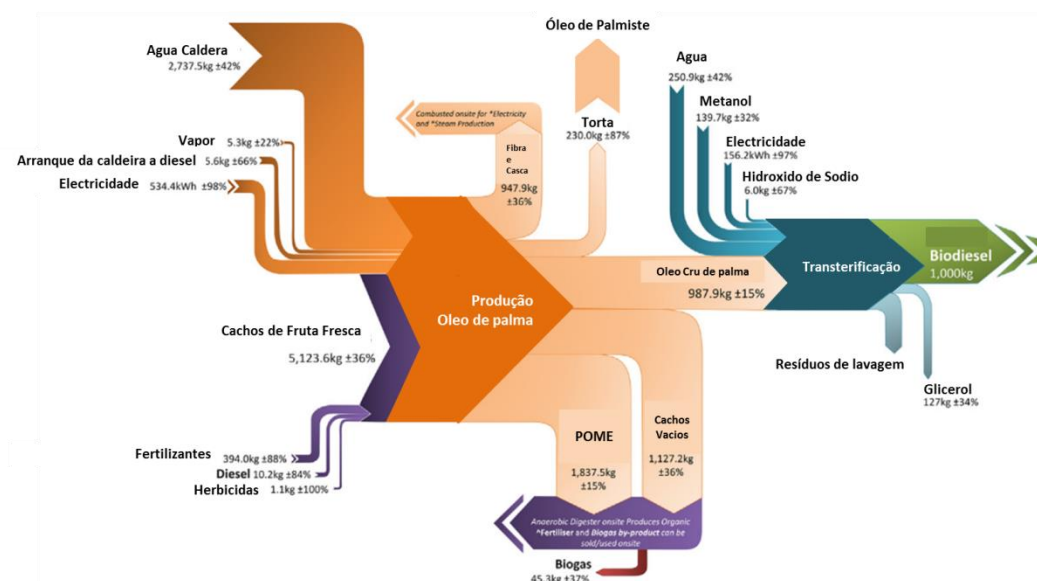


Figura 37. Fluxos de quantidade de faixa e variação com base em 11 estudos de referencia de ACV.*

* (Achten Et Al., 2010; Choo Et Al., 2011; De Souza Et Al., 2010; Ester; Eduardo; Lora, 2007; Kamahara Et Al., 2010; Papong Et Al., 2010; Patthanaissaranukool; Polprasert; Englande, 2013; Pleanjai; Gheewala, 2009; Pleanjai; Gheewala; Garivait, 2007; Wicke Et Al., 2008; Yusoff; Hansen, 2007). Fonte: (Archer; Murphy; Steinberger-Wilckens, 2018)

Na Figura 37, pode-se ver o fluxo de materiais para 11 trabalhos de ACV para a produção de 1000 quilogramas de biodiesel. Os maiores fluxos consumíveis da entrada são a água para a caldeira na usina de extração de óleo, a eletricidade, e na produção de CFF dos fertilizantes. Os fluxos de maior saída de subprodutos são a POME e os cachos vazios, que normalmente podem ser utilizados para compostagem ou para a produção de energia. O importante é a análise de variância dos dados coletados dos 11 trabalhos, alguns com uma alta variação pela falta de informação, e outros pelo método utilizado para determina-los, ressaltando que nenhum desses trabalhos indica-se a variedade para os quais foram feitas, e em algum especificam que foram para a *Elaeis Guineensis* Jaq.

Um estudo realizado na Malásia sobre avaliação do ciclo de vida da geração de energia com o POME, encontrou que o potencial de aquecimento global (GWP) e o potencial de acidificação foram de 4,48 kg CO₂ eq/kWh e 2,21 kg SO₂ eq/kWh para fruto de palma *Elaeis Guineensis* (SHARVINI et al., 2020). Nesse mesmo sentido, em outra avaliação estudou-se produção do biogás na Malásia, também com a mesma variedade de fruto *E. Guineensis* (AZIZ; HANAFIAH; GHEEWALA, 2019b), onde o desenvolvimento da geração de energia com biogás nesse país

ajudou a expansão das usinas, e começou a mudar para a implantação de energia renovável, substituindo a falta de fontes de combustíveis fósseis, o que ajuda a melhorar o perfil ambiental das empresas.

Sasongko; Noguchi & Ahamed (2018), avaliaram a carga ambiental da produção de bioenergia a partir de óleo de palma (*Elaeis Guineensis*) incluída em um sistema de produção de 10 ha de microalgas na Indonésia, avaliando balanços de materiais, energia e emissão de gases de efeito estufa, encontrando-se que os gases do POME e da combustão da biomassa.

No entanto, algumas melhorias devem ser feitas no estágio inicial, principalmente na produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas, consumo de água, diesel queimado em máquinas e atividades de uso da terra, para avaliações de pontos críticos ambientais na cadeia de suprimentos da produção de biogás na Malásia (AZIZ; HANAFIAH, 2020).

Na Indonésia, o desenvolvimento sustentável da bioenergia à base de óleo de palma convertiu-se numa questão crítica, já que possui um impacto muito positivo no comportamento da economia desse país, mas tem desaprovação dos aspectos social e ambiental. Indicadores de sustentabilidade ajudam para uma definição de uma melhor estratégia de desenvolvimento da bioenergia para esse país (PAPILO et al., 2018)

Adicionalmente, estudos de ACV revelam que o óleo de palma extraído poderia ser considerado um material promissor para aplicações latentes de base biológica, com baixos custos ambientais, apresenta-se como uma alternativa de aplicações de envelopes de construção (FABIANI et al., 2020).

Segundo Vaskan; Pachón & Gnansounou (2018), no Brasil se desenvolveram estudos de ACV para biorrefinarias baseadas nos CFF *Elaeis Guineensis*, encontrando-se reduções das mudanças climáticas de 84% e 73% na redução de impactos.

Os estudos feitos na Colômbia sobre Análise de Ciclo de Vida tem sido desenvolvidos ,principalmente, pelo centro de pesquisa do dendê (Cenipalma), nos quais tem se avaliado principalmente como é o impacto ambiental para a produção do biodiesel na cadeia produtiva para esse país. Yáñez Angarita et al. (2009) fizeram um estudo comparativo do metil ester derivado do óleo do palma no Brasil e na Colômbia, utilizando a ferramenta do ACV, não para fazer uma avaliação completa, mas com o foco no tema energético, avaliando a relação da saidas/entradas (out put/input)de energia, concluindo que variou, nos casos estudados, de 3,8 a 5,7, com um valor

médio de 4,8. Recentemente, Ramirez Contreras et al. (2020) fizeram um estudo abrangente do ACV do dendê na Colômbia, conseguindo uma representatividade da produção de 70% dos CFF processados, encontrando um potencial significativo para melhorar a atual produção de óleo de palma, incluindo uma redução de 55% nas emissões de gases de efeito estufa, assim como ressalta que é importante uma expansão sustentável do dendezeiro para áreas com baixo estoque de carbono disponível para a cultura.

Nasution et al. (2018) utilizou a metodologia do ACV para comparar e avaliar o impacto ambiental de combinações de tecnologia de lagoa aberta com compostagem e para tratamento de efluente da usina de óleo de palma na Indonésia, encontrando que a categoria que teve mais impacto do estudo foi o potencial de aquecimento global (GWP), o qual concluiu que aproximadamente 357,18 kg de CO₂-eq de redução de GWP poderiam ser alcançados.

A produção da biomassa tais como cachos vazios significa um alto potencial para produzir energia, calor, etanol combustível, xaropes, o qual serve para reduzir significativamente as emissões em termos de impacto ambiental, indo de encontro com o conceito de biorrefinarias. Porém, segundo Vaskan; Pachón & Gnansounou (2018) deve se ter muito cuidado com o uso dos químicos para essas alternativas, pois pode não ser tão positivo nos aspectos de análises de outros impactos.

Quantificar o impacto ambiental é um desafio para as cadeias produtivas agrícolas. A análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia padronizada pela norma ISO que permite estimar esses impactos. O ACV nos últimos dez anos tornou-se o padrão global para declarações ambientais de produtos e o modelo básico por trás de várias calculadoras e certificações de gases de efeito estufa (GEE) (por exemplo, CE, 2009, RSPO PalmGHG). A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia internacionalmente aceita para estudar os aspectos ambientais e os impactos potenciais de um produto ou sistema de serviço ao longo do seu ciclo de vida, desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção, o uso e a disposição final. A metodologia de ACV também permite identificar oportunidades para prevenção da poluição e para a redução no consumo de recursos ao mesmo tempo (ISO 14040, 2006).

Diferentes pesquisas entre 2005 e 2015 com o tema “LCA + Palm Oil ou ACV + dendê”, completas e incompletas, mostram que cerca de três quartos dessas publicações são ACVs parciais de bioenergia a partir do óleo de palma, foram motivadas pelas possíveis vantagens dos

biocombustíveis em comparação com seus equivalentes fósseis, bem como a subsequente publicação da Diretiva Europeia sobre Energias Renováveis (2009/28/EC), que estabelece os critérios de sustentabilidade, como a redução mínima de GEE em relação aos combustíveis fósseis (35% antes de 2017 e 50% a partir de 2017). Nessa revisão, podemos analisar que a grande maioria dos ACVs está focada no GEE (Impacto da mudança climática) e no balanço energético (MANIK; HALOG, 2012; BESSOU et al., 2013);

Desta forma, nos últimos anos, tem sido dada uma atenção considerável à aplicação de abordagens de ACV em todos os estágios do ciclo de vida da produção do biodiesel de óleo de palma de azeite (produção, armazenamento, transporte e usinas de extração e usina de refino, assim como seu uso), procurando sempre a opção mais sustentável, ou seja, aquela que minimiza recursos, emissões e custos (YÁÑEZ ANGARITA, 2008). É claro que quando se deseja introduzir novas tecnologias “verdes”, precisa-se avaliar a contribuição para a preservação do meio ambiente, bem como compará-las com outras tecnologias em uma base científica bem definida e acordada internacionalmente. No dendezeiro, especificamente, é importante saber como é a resistência dos materiais nos plantios, mas também é importante saber como é o comportamento ambientalmente falando, e os impactos que ele tem para os gases de efeito estufa.

Estudos de ACV de óleo de palma mostram que a parte agrícola é um contribuinte muito importante para a cadeia de produção no que diz respeito aos impactos ambientais potenciais, tais como aquecimento global, eutrofização e acidificação (YUSOFF; HANSEN, 2007; SCHMIDT, 2007; CHOO et al., 2011). A grande contribuição da parte agrícola deve-se à combinação do uso de nitrogênio (N) no campo e aos baixos níveis de renda na planta de extração e na refinaria; sendo a etapa agrícola um participante crítico, mesmo quando da análise da ACV para o biodiesel (PLEANJAI; GHEEWALA; GARIVAIT, 2009; PAPONG et al., 2010; ARVIDSSON et al., 2011). Com foco no impacto sobre o aquecimento global, os principais contribuintes são as emissões relacionadas ao N-GEE nas plantações e as emissões de metano dos efluentes da planta de extração de óleo de palma (POME) (FEDEPALMA, 2006; REIJNDERS; HUIJBREGTS, 2008; NIETO, 2013). No presente trabalho, não há simulação sobre o comportamento do POME diferenciado para as duas cadeias produtivas, uma vez que atualmente na Colômbia o tratamento de efluentes não é feito isoladamente, o que dificulta a estimativa dos impactos dos mesmos no meio ambiente em balanço global de CO₂-eq.

Um estudo comparativo de dois sistemas de produção do azeite de palma foi desenvolvido, avaliando o pior e o melhor cenário, utilizando-se como unidade funcional 1 tonelada de cachos de fruta fresca, o qual trataria de 460 kg de CO₂-eq no pior dos casos, e 110 kg de CO₂-eq no melhor dos casos, isso pela utilização e aproveitamento dos subprodutos e do POME da usina, oferecendo um alto potencial de redução de emissões, mas nesse estudo não se teve em consideração a mudança de uso do solo, o qual tem um impacto alto no ACV (STICHNOTHE; SCHUCHARDT, 2011).

A continuação se apresenta um resumo de trabalhos com relação ao presente estudo sobre o biodiesel de palma de azeite, ver Tabela 11.

Tabela 11 – Estudos Precedentes

Autores - País	Unidade Funcional	Limite	Focus-Trabalho	Categorias analisadas	Fonte de dados	Software/Método
(YÁÑEZ ANGARITA <i>et al.</i> , 2009b) Brasil - Colombia	1 MJ de Biodiesel	Agricultura ate portao da Usina Biodiesel	Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle,	CO2 Energia (MJ/kg Biodiesel)	Brailian National Energy Balanc and The Colombian Statitcal Energy and mine Bulletin	Simapro
(PLEANJAI, Somporn; GHEEWALA, 2009) Tailândia	100 km transportation by LDDV under identical Bangkok driving cycle conditions.	Extração, transporte oil cru, refinação do óleo, transterificação, uso no biodiesel no veiculo	Greenhouse gas emissions from production and use of used cooking oil methyl ester as transport fuel	GWP	Medições diretas e da literatura	Simapro
(DE SOUZA <i>et al.</i> , 2010) Brasil	1 hectare de palma	A produção e uso de fertilizantes e pesticidas, colheita, transporte, extração de óleo, transesterificação e, finalmente, combustão de biodiesel puro	identificar e avaliar as emissões líquidas de GEE e o balanço energético do biodiesel de óleo de palma	Balanço de energia, emissões de GEE de vida e tempo de retorno do carbono	Literatura	Simapro 7.1.8
(MATA <i>et al.</i> , 2011) Portugal	1 MJ de Biodiesel	A Colheita de sementes, transporte, extração, produção de biodiesel, e uso final do biodieles.	Comparar matérias-primas alternativas, atualmente usadas ou promissoras para uso futuro	• Eficiência energética • Relação de energia fóssil • Pegada de carbono (kg CO2 eq / MJ de combustível) • Intensidade de uso da terra (m2 ano / MJ de combustível)	Literatura	-

(RAMIREZ CONTRERAS <i>et al.</i> , 2020) Colômbia	1 t OCP (Crud palm oil)	Cultivo, transporte de CFF, usina de extração, cenários futuros de Biogas, e coprodutos.	Avaliar a cadeia de produção de OCP na Colômbia para a situação atual e para dois cenários futuros	1) Cálculo das emissões de GEE 2) rácio de energia líquida (NER) 3) desempenho econômico	Dados primários e literatura	SimaPro 8.5.
(AZIZ; HANAFIAH, 2020) Malasia	1 t POME	Coleta, transporte, tratamento, processos de digestão e produção de biogás	Avaliar energia de biogás era determinar os impactos ambientais da produção de biogás como fonte de energia e derivar medidas para reduzi-los	aquecimento global (GWP), depleção estratosférica de ozônio (ODP), radiação ionizante (IRP), formação de ozônio (saúde humana) (HOF), formação de partículas finas (PMFP), formação de ozônio (ecossistemas terrestres) (EOP), acidificação terrestre. Limite do sistema do estudo. (TAP), (TAP), eutrofização de água doce (FEP), eutrofização marinha (MEP), ecotoxicidade terrestre (TETP), ecotoxicidade em água doce (FETP), ecotoxicidade marinha (METP), toxicidade carcinogênica humana (HTAF) , toxicidade não carcinogênica	Literatura	SimaPro 8.5.0 ReCiPe 2016

				humana (HTPnc), mudança no uso da terra (LUC), escassez de recursos minerais (POP), escassez de recursos fósseis (FFP) e consumo de água (WCP).	
(SHARVINI <i>et al.</i> , 2020) Malasia	1 kWh de Geração de eletricidade	Agricultura, extração de oil, transporte, POME	Avaliar duas tecnologias de tratamento POME	O potencial de aquecimento global (GWP) e o potencial de acidificação (AP)	Gabi 8 software CML 2001

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA

A metodologia escolhida nessa dissertação é a de Análise de Ciclo de Vida pelo método *impact 2002+*, a qual, analisa os impactos ambientais para toda a cadeia de produção do biodiesel de palma de azeite, fazendo comparação dos dois genótipos. Essa metodologia também está baseada nas normas padronizadas pela ISO 14040 e ISO 14044. O método Impact 2002+ é uma fusão de quatro métodos de impacto dos métodos, que pega o método Impact 2002 que foi o primeiro método que foi feito, depois ele juntou o Ecoindicador 99, depois pegou outro método que se chamou de CML, e depois pegou o método IPCC do painel Governamental de mudanças climáticas; o anterior faz com que o método Impact 2002+ seja um método muito abrangente e muito mais preciso para esse tipo de aplicações de estudo de impactos ambientais.

Cada uma das atividades da metodologia para realizar a Análise do Ciclo de Vida é expressa em um diagrama ou fluxograma, em que a definição do objetivo e escopo do estudo é feita, depois, em uma segunda etapa, é feita a coleta de informações para os inventários, depois vem o estágio de avaliação dos impactos e, finalmente, a interpretação dos resultados. O diagrama é representado na Figura 38.

Para estabelecer a metodologia proposta, com o propósito de comparar a produção de biodiesel a partir de dos genótipos diferentes de óleo de palma existente no cenário Colombiano, foi realizada uma revisão da literatura sobre o estado atual da palma na Colômbia e os processos envolvidos na cadeia de produção do biodiesel. Esta pesquisa seguirá a metodologia mostrada na Figura 38. O primeiro passo dessa metodologia é coletar dados para construir os estudos de caso da cadeia de produção de biodiesel e a plantação dos genótipos de óleo de palma. Os modelos dos balanço de massa e energia dos estudos de casos e os processos selecionados de produção de biodiesel de óleo de palma foram resolvidos em planilhas de Excel. Posteriormente, foi realizada uma avaliação energética considerando os indicadores *eficiência global do sistema* e *produtividade energética por hectare*. Finalmente, para a análise ambiental, utiliza-se a metodologia baseada nas diretrizes

da ISO 14040, a fim de avaliar os impactos ambientais (usando o método IMPACT 2002+) e seu desempenho ambiental no ciclo de vida, usando o conceito de *Relação de energia fóssil (FER)* e a *taxa de energia líquida (NER)*.

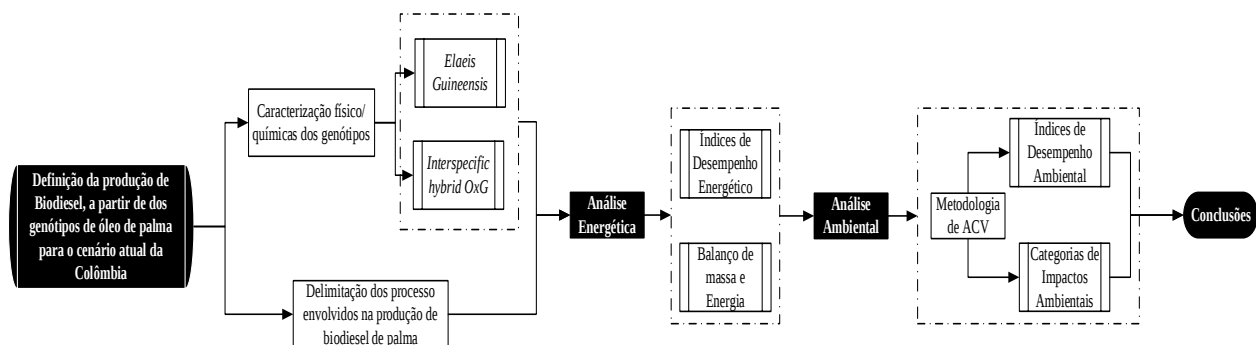


Figura 38 - Fluxograma da metodologia para análise termodinâmica e ambiental dos diferentes genótipos considerados. Fonte: Autor

3.1. Características físicas-áreas do cultivo, fruto e processamento para o híbrido interespecífico genótipo OxG

O *Híbrido Interespecífico (OxG)* Figura 39 é um dos diversos genótipos de palma desenvolvidos na América, produto do cruzamento entre duas espécies de importância econômica para a agroindústria do dendê no mundo, *Elaeis oleifera*, nativa do continente americano, e *Elaeis guineensis*, nativa da África Central e Ocidental. O híbrido exibe características intermediárias em comparação com as espécies progenitoras e mostram vigor híbrido para algumas características de interesse para os pesquisadores nas áreas de biologia, agronomia e bioenergia, tais características possuem um grande potencial para melhorar a competitividade e a sustentabilidade da cultura convencional (AHMAD; BUANG; BHAT, 2016; ZAMBRANO, 2004). Do ponto de vista da produção, as vantagens são: (i) crescimento lento do caule (20 cm.ano^{-1} em média), o que significa uma vida útil mais longa da plantação, (ii) degradação tardia do fruto e menor formação de ácidos graxos livres, o que se traduz em uma melhor estabilidade do fruto após a colheita e menor porcentagem de acidez (menor que 2%), (iii) alta produtividade (28-33 t de cachos de frutas frescas

· ha⁻¹ano⁻¹ com uma taxa de extração de óleo entre 18% e 19%), o que garante altas rendas e (iv) melhor composição de óleo em termos de índice de iodo (68%-70%) e teor de antioxidantes como carotenos, tocoferóis e tocotrienóis. Além disso, o fator considerado de maior interesse no *Híbrido Interspecífico (OxG)* é sua tolerância parcial à doença amarelecimento fatal (AF) ou apodrecimento letal (“pudrición de cogollo”, espanhol) ou amarelamento fatal- AF, que é a maior ameaça à indústria de palma nas Américas (Barcelos et al., 2015).

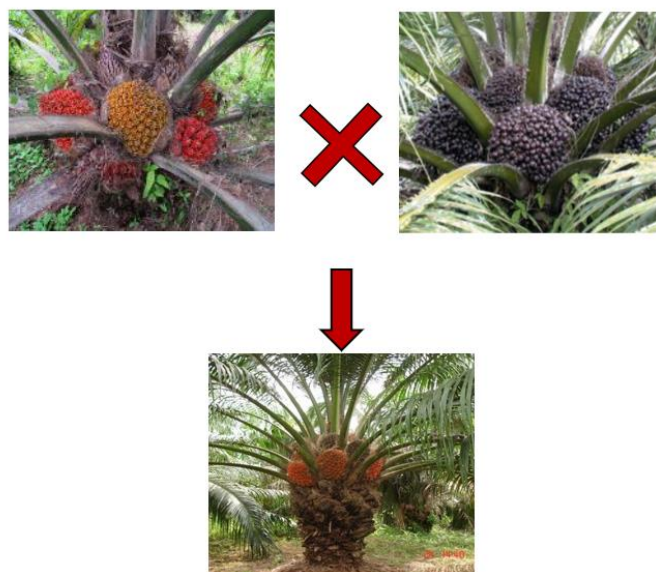


Figura 39: Híbrido Interspecífico(OxG).

Pelos fatos supracitados, Segundo Ayala & Romero (2019), na Colômbia menos de 0.5% da área cultivada estava semeada com palma híbrida, após 13 anos, o cultivo apresentou um crescimento representativo de 14% da área cultivada com palma, isto é, uma expansão de mais de 67 mil hectares de palma híbrida. Por isto, espera-se um crescimento acelerado para os próximos anos, tornando-a uma matéria-prima essencial para o desenvolvimento do setor agroeconômico colombiano.

Por outra parte, estudos desenvolvidos na Colômbia pelo centro de pesquisa Cenipalma (Nieto et al., 2011), identificaram diferenças significativas na capacidade de extração das usinas, ao processar as duas espécies, correlacionadas diretamente com as variáveis de porcentagem de acidez, pressão no sistema de prensagem, conteúdo de casca e amêndoa, óleo de palma por kg de fruta, volume do licor de prensagem e sua composição, entre outras, as quais fazem com que as

condições de processamento para os CFF do híbrido apresentem uma queda na faixa de 8-10% de sua capacidade de processamento. Tais fatos levam há uma diminuição na produção de OCP, amêndoa e CPKO, impactando negativamente os resultados industriais. Mas, a boa tolerância à apodrecimento letal dos híbridos, em comparação com *E. guineensis*, justifica seu uso para replantar zonas severamente dizimadas, portanto, a modificação do sistemas mecânicos de processamento da fruta é um quesito que terá que avaliar-se para melhorar tais ineficiências (Nieto, 2013).

3.2. Descrição de Estudos de Caso

A configuração do caso de estudo analisado é correspondente ao status atual da cadeia de produção de biodiesel de óleo de palma na Colômbia (2018), que inclui o cultivo de óleo de palma, o transporte de CFF, a produção de óleo de palma (POM), o transporte do OCP e sua respetiva refinação e transesterificação. Os dados deste estudo foram coletados durante visitas de campo a uma POM localizada na região oriental da Colômbia, que segundo (Ramirez-Contreras et al., 2020) é uma das regiões de maior produção de OCP do país. A POM tem uma capacidade nominal e efetiva, no caso do genótipo *Elaeis Guineensis*, de 70 t h⁻¹ de CFF trabalhando a 3583 h ano⁻¹. O rendimento de CFF da plantação foi de 25.08 t ha⁻¹ano⁻¹. Isso corresponde a uma POM que recebe 250,080 t de CFF de aproximadamente 10,000 ha. Por outro lado, com o propósito de harmonizar a escala de comparação dos dados primário coletados para o genótipo *Híbrido Interespecífico OxG* (*E. oleífera* x *E. guineensis*), optou-se por manter a mesma quantidade de hectares plantadas que no caso do *Elaeis Guineensis* (10,000 ha ano⁻¹). Para assim, correlacionar-lhes com os dados de rendimento do fruto (30.55 t CFF_h ha⁻¹ano⁻¹), produção de CFF_h por ano (305,500 t de CFF_h), a capacidade de processamento efetiva da planta processando fruto híbrido que é de 62.7 t h⁻¹ de CFF_h, e as horas trabalhadas por ano (4872 h y⁻¹). É importante destacar que a capacidade efetiva da planta extratora encontra-se correlacionada diretamente com a capacidade nominal do sistema de cogeração, por tanto, para as duas espécies de palma serão utilizados os mesmos parâmetro técnicos de operação do sistema de cogeração (relatados na seção 2.2.1).

3.2.1. Sistema proposto

O processo de produção do óleo de dendê pode-se dividir, basicamente, nos seguintes processos:

- Plantio;
- Transporte;
- Extração;
- Refino; e
- Biodiesel;

Na Figura 40 mostra-se um diagrama com os valores de entrada para os inventários dos cultivos analisados em cada uma das etapas descritas anteriormente, onde seguiu o fluxo de referência desde los CFF ate chegar a 991 kg de Biodiesel.



Figura 40. Diagrama com os valores de entrada para a balanço de inventário. Fonte: Autor

3.2.1.1. Sistema de Co-geração (Sistema combinado de Calor e energia)

No setor palmeiro colombiano, desde meados da década de 50 e 60, aplicam-se os sistemas de co-geração com fibra e casca para atender a demanda térmica de seus processos industriais, como também para atingir a autossuficiência elétrica. Por conseguinte, a eletricidade e o vapor requeridos na POM do presente estudo comparativo são gerados utilizando um ciclo a vapor que utiliza como combustível a fibra e as cascas provenientes do processo de extração do óleo de palma, o qual é necessário para operar a usina usando uma turbina a vapor de contrapressão (back pressure steam turbine (BPT)) (Figura 41).

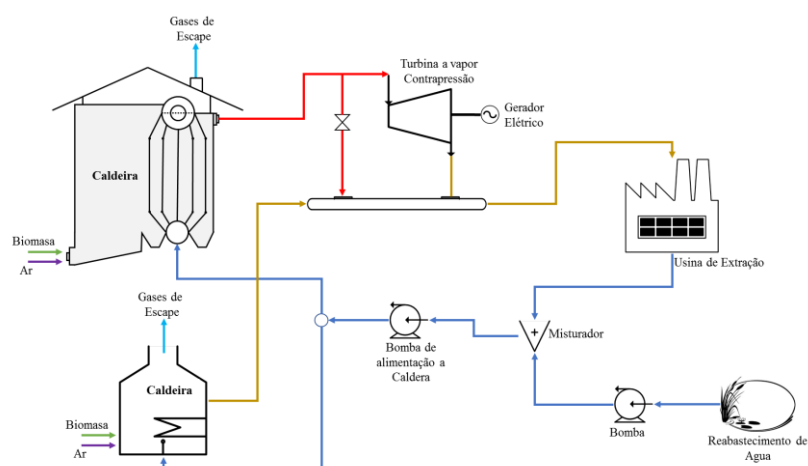


Figura 41. Sistema de Cogeração . Fonte: Autor

Ressalta-se que as características físico/químicas da biomassa gerada pelos genótipos *Elaeis Guineensis* e *híbrido interespecífico OxG* possuem diferenças evidentes (descritas no item 2.2.2.), portanto, as características do combustível usado na caldeira do ciclo a vapor variam como pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12. Teores energéticos de biomassa combustíveis para a caldeira

Parâmetros	<i>Elaeis Guineensis</i>	Referência	Híbrido Interespecífico OxG	Referência
Rendimento da Fibras [kg t CFF ⁻¹]	134,23	Análise Elementar por	152,22	As amostras foram analisadas de acordo com a norma ASTM
Teor de Umidade da Fibras [% hum]	30	Ingeominas / Colômbia.	38	D5291, Análise elementar por laboratório no instituto óleos colombianos / Colômbia.
PCI da Fibras [MJ/kg]	19,2	Balances de massa feitos pelos autores.	16,9	
Rendimento da Casca [kg t CFF ⁻¹]	74,62		72,01	
Teor de Umidade da Casca [% hum]	10		13,2	
PCI da Casca [MJ/kg]	21,4		16,6	Balances de massa realizados pelos autores

O ciclo de co-geração foi simulado no software *GateCycle v.6.1.2* desenvolvido pela *General Electric* e o esquema é apresentado na Figura 41. A eficiência do ciclo foi obtida usando o software

supracitado, assumindo que a eficiência isentrópica da turbina é de 75%. Para a simulação foram consideradas duas caldeiras, uma caldeira de 30 bar e outra de 3,5 bar, as quais são alimentadas com a mistura de combustível de fibra (70% para o caso do *E. Guineensis* e 68% para o caso do *Híbrido Interespecífico OxG* em peso) e cascas (30% para o caso do *E. Guineensis* e 32% para o caso do *Híbrido Interespecífico OxG* em peso) disponíveis em concordância com o balanço de massa do processo para uma capacidade da POM de 70 ton h⁻¹ e 62,2 ton h⁻¹. Onde a caldeira de 3.5 bar é utilizada para complementar a demanda térmica exigida pela POM. A eficiência das caldeiras são 70% e 62% respetivamente. Portanto, a eficiência do ciclo foi avaliado por meio de dois indicadores: eficiência térmica global (η_o) – a qual avalia a potência elétrica líquida (W_L) gerada pelo sistema (eq. 1) – e o Fator de Utilização de Energia (EUF) – conceito amplamente utilizado em sistemas de cogeração, já que envolve a produção da potência elétrica líquida gerada e o calor útil (Q_u) gerado para atender a demanda térmica do sistema (eq. 2).

$$\eta_o = \frac{W_L}{\dot{m}_{Biodiesel}(PCI_{Biodiesel})} \quad (1)$$

$$EUF = \frac{W_L + Q_u}{\dot{m}_{Biodiesel}(PCI_{Biodiesel})} \quad (2)$$

Ressalte-se que estas eficiências, proveem dos datasheet subministrados pela pesquisa de campo na usina, e representam o ciclo real de trabalho da POM, As eficiências dos equipes foram tiradas dos *datasheet* subministrados pela usina na pesquisa de campo, e representam só os equipes utilizadas nessa empresa (Ver Anexos A). A caldeira de 3,5 bar é utilizada para complementar a demanda térmica exigida pela POM. A eficiência das caldeiras é de 70% e 62%, respectivamente. Além do mais, ressalta-se que a matriz de consumo elétrico da POM distribui-se da seguinte maneira 57% é gerado por meio de um motor de combustão interna que queima biogás (gerado a partir do POME), 37% gerado pela BPT e 6% por meio de um motor de combustão interna que queima diesel – usado principalmente durante os períodos de partida, falhas e manutenção.

Por outra parte, a planta de biodiesel (etapas de refinação e transesterificação) consome eletricidade da rede elétrica colombiana e a energia térmica demandada é gerada por uma caldeira (com eficiência de 80%) que queima gás natural – o qual possui uma densidade energética de 39.3 MJ/kg.

Percebe-se na Tabela 13, que a eficiência elétrica líquida do ciclo de geração de eletricidade é baixa (cerca de 6% e 5%, para o guineenses e híbrido, com relação ao fluxo de energia na biomassa alimentada nas caldeiras) para os dois genótipos. Isto pode-se explicar pelo fato de o ciclo de geração operar com 50% da vazão mássica do vapor produzido na caldeira (vapor super aquecido a 30 bar e eficiência de 70%), sendo que 50% restante do vapor é extraído de uma caldeira que possui uma eficiência de 62% e gera vapor saturado a 3,5 bar. Outro aspecto relacionado com a baixa eficiência líquida do ciclo de geração refere-se às baixas pressões de operação das caldeiras (30 bar e 3,5 bar) e o tipo de turbina empregada neste ciclo (BPT com eficiência de 75%) em comparação com as utilizadas num ciclo convencional de geração, as quais operem com caldeiras de 60 bar (com eficiência de 90%) e turbinas condensação-extração (CEST) que possuem eficiências isentrópicas maiores ou iguais a 85% (Ver numeral 2.4.2.)

Tabela 13. Parâmetros operacionais das unidades de cogeração de palma

Parâmetros	Valor Elaeis Guineensis	Valor Híbrido Interespecífico E.O x E.G.
Dados Ambiente		
Temperatura Ambiente	25 °C	25 °C
Pressão ambiente	1,01 bar	1,01 bar
Umidade relativa ambiente	60%	60%
Dados do Sistema		
Potencia líquida do ciclo	780 kW Elétrico	790 kW Elétrico
Eficiência elétrica líquida do Ciclo	5,57 %	4,77 %
Fluxo mássico do combustível	9,14 t mistura/h	10,76 t mistura/h
AFI do combustível	19,876,92 kJ/kg	16.829,31 kJ/kg
Caldeira 1		
Eficiência da caldeira	70%	70%
Pressão da caldeira vapor superaquecido	30 bar	30 bar
Temperatura de saída do vapor Superaquecido	300 °C	300 °C
Fluxo mássico do vapor	18,000 kg/h	18,000 kg/h
Turbina		
Eficiência Isentrópica de turbina	80%	80%
Temperatura de vapor na entrada	300 °C	300 °C
Pressão do vapor na entrada	30 bar	30 bar
Extração		
Temperatura do vapor	140 °C	140 °C
Pressão do vapor	3,5 bar	3,5 bar
Fluxo mássico do vapor para a Extração	36,000 kg/h	36,000 kg/h
Caldeira 2		
Eficiência da caldeira	60%	60%
Pressão da caldeira vapor Saturado	3,5 bar	3,5 bar
Temperatura de saída do vapor Saturado	200 °C	200 °C
Fluxo mássico do vapor	18,000 kg/h	18,000 kg/h
Bombas		
Eficiência das bombas	80%	80%
Desaerador		
Pressão do desaerador	5 bar	5 bar

3.3. Análise balance de energia

A análise de 1ª lei quantifica as quantidades de produtos fabricadas, bem como os seus respectivos consumos energéticos, de modo a fornecer informações do modo que a energia é aproveitada. Através da quantidade de biomassa destinada a cada processo, das demandas de eletricidade e vapor, tem-se os balanços de massa e energia, que permitem os cálculos dos indicadores de desempenho do sistema.

A avaliação do desempenho energético das diferentes plantas, será feita através de indicadores tal como a eficiência global do sistema, a qual é definida como sendo a razão entre a energia útil dos produtos fabricados (OCP, CPKO, PKC, Metano, Biodiesel, Glicerina), pela energia dos insumos utilizados (CFF, Fibra e Casca). A eficiência global é calculada conforme a equação 3.

$$\eta_{global} = \frac{\sum(\dot{m}_{produtos} \times PCI_{produtos})}{\dot{m}_{Insumos} \times PCI_{Insumos}} \quad (3)$$

Além da eficiência global, outro indicador a ser adotado é a produtividade energética por hectare, que mostra o aproveitamento da energia da palma por hectare. O valor desse parâmetro, indica a quantidade de energia que é convertida nos produtos, tais como OCP, CPKO, PKC, Methane, Biodiesel and Glycerina em cada hectare. É determinado em função da produção de um hectare de cultivo de palma conforme a equação 4.

$$\sigma_{palm} = \frac{\sum(\dot{m}_{produto} PCI_{produto})}{\dot{m}_{palma}} \Psi_{palma} \quad (4)$$

Onde Ψ representa a produtividade dos CFF por hectare (*Elaeis guineensis* and *Híbrido Interespecífico OxG*) e corresponde a 25.08 tCFF ha⁻¹ e 30.55 tCFF ha⁻¹, respetivamente, considerando dados coletados durante as pesquisas de campo referentes ao ano 2018. O valor de σ_{palm} é expresso em GJ ha⁻¹, e os valores de propriedades físicas dos produtos tais como AFI, densidade, bem como outros valores estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Teor energético dos principais produtos das usinas em MJ kg⁻¹

Produto	Valor (MJ kg ⁻¹)	Referência
CFF _G / CFF _H	19.0/18.1	Calculado pelo autor
Glicerina	18.05	(Archer et al., 2018; Aziz et al., 2019; Aziz and Hanafiah, 2020; Choong et al., 2018; Corley and Tinker, 2016; Fabiani et al., 2020; Garcia-Nunez et al., 2016a; Papilo et al., 2018; Ramirez-Contreras et al., 2020; Rivera-Méndez et al., 2017; Sasongko et al., 2018; Sharvini et al., 2020; Vaskan et al., 2018, 2018; Yusniati et al., 2018; Zhang et al., 2017; Lee and Ofori-Boateng, 2013)
Gas Metano	20	
CPKO	39.4	
PKC	18.84	
Biodiesel	39,84	
PFAD	36	
Metanol	23	

3.4. Análise Ambiental

Nesta pesquisa adotou-se a metodologia de ACV para avaliar e calcular o desempenho das emissões da conversão de óleo de palma a partir de dois genótipos (*Elaeis guineensis* Híbrido *Interespecífico* OxG) em biocombustível. A metodologia utilizada baseia-se nas diretrizes da ISO 14040 e inclui uma revisão da literatura de base, uma descrição dos sistemas de produção propostos, a definição de limites e premissas do sistema, a compilação do inventário do ciclo de vida, o cálculo dos impactos ambientais, indicadores de energia e, finalmente, a normalização e interpretação dos resultados.

Em este estudo a unidade funcional (UF) foi definida como 1.0 MJ de energia produzida e os coprodutos foram manipulados pela alocação atribucional de energia (uma vez que a função do sistema é a produção de energia), com base na contribuição percentual individual para o conteúdo total de energia. Os limites dos sistemas para o estudo comparativo de ACV é mostrado na Figura 42 e foi aplicado um processo baseado no método de atribuição do “*cradle-to-gate*”. Portanto, o estudo se encontra composto por cinco subprocessos, agricultura (uso de fertilizantes, pesticidas, etc.), transporte, extração de óleo, refinação e, finalmente, transesterificação do óleo. O inventário do ciclo de vida (ICV) do biodiesel baseou-se em dados coletados por diversas fontes como (i) visitas de campo a uma POM localizada na região leste da Colômbia no 2018, (ii) banco de dados

da *Ecoinvent (Simapro v.8.0.3)*, (iii) resultados publicados de produção experimental e piloto (Nieto, 2013) e (iv) estimativas baseadas na indústria de óleo de palma da Colômbia (Garcia-Nunez et al., 2016a, 2016c; Nieto et al., 2011; Ramirez Contreras et al., 2020; Arrieta et al., 2007; Yáñez Angarita et al., 2009b). Por último é bom deixar claro que para o atual análise de ACV o biogás remanente do uso do MCI, sendo o biogás que va para o MCI 0 33% do total que se produz e o 67% o Biogás remanente, esse último metano no presente estudo é um coproduto, também chamado como commodity energético, isso quer dizer que não é uma fonte de emissão para o análise atual, {e um vetor energético que potencialmente poderia ter um uso bom.

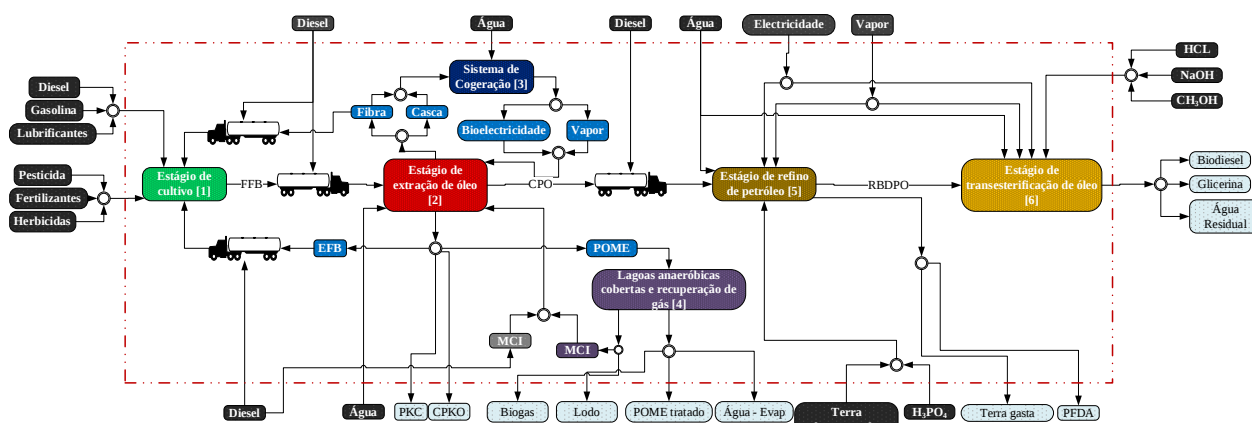


Figura 42. Limites do sistema dos produtos analisados.

3.4.1. Inventário do ciclo de vida do biodiesel

3.4.1.1. *Escopo*

Primeiramente é necessário definir o escopo do estudo, a unidade funcional e o fluxo de referência dos produtos. A função do sistema que foi considerado nesse estudo é a de produzir a partir de palma de azeite de diferentes genótipos no campo. Considera-se que o Biodiesel em questão não é um produto final e sim intermediário, portanto, este estudo apresenta um ponto de vista de ACV *cradle to gate*, com foco em sua produção e não no uso final. A unidade funcional e o fluxo de referência do estudo levam em consideração uma tonelada de biodiesel, deste modo,

todos os fluxos de entradas e saídas e os resultados do inventário de ciclo de vida (ICV) são calculados com base neste valor.

Foi realizada uma avaliação comparativa da emissão dos gases de efeito estufa da produção de Biodiesel a partir do dendezeiro africano *Elaeis Guineensis* vs Dendezeiro Híbrido (*E. oleífera* x *E. Guineensis*) no qual a abordagem feita, foi do berço até o portão da usina de Biodiesel.

3.4.1.1. Função e Unidade Funcional

A função do sistema considerado é a linha de produção para a produção de o biocombustível biodiesel por tonelada de cultivos de diferentes genótipos de palma. A unidade funcional estabelecida para o estudo é 1 MJ de energia produzida. A principal razão para a escolha é a facilidade para a comparação dos cenários, bem como a comparação com outros estudos de ACV feitos na Colômbia e no mundo. Sendo a unidade funcional de 1 MJ de energia e fluxo de referência os fluxos de referência vão ser de 4,38 t RFF para o *E. Guineensis* e 5,6 t CFF para o Híbrido interespecífico *E.O.* x *E.G.*

3.4.1.2. Fronteiras do sistema

A ACV para este estudo foi delimitada considerando as informações disfuncionais, já que por ser o híbrido um cultivo relativamente novo, em alguns casos as empresas não fazem a produção de óleo cru independente ou classificado. Para o propósito de estimar as emissões de gases de efeito estufa, definiu-se que o presente estudo dividiria-se em 5 subsistemas. O primeiro seria a etapa do plantio, passando pelo transporte do cultivo à usina de extração, e extração de óleo de palma, e por último a usina de refino e a usina do biodiesel, como se ilustra na Figura 43.

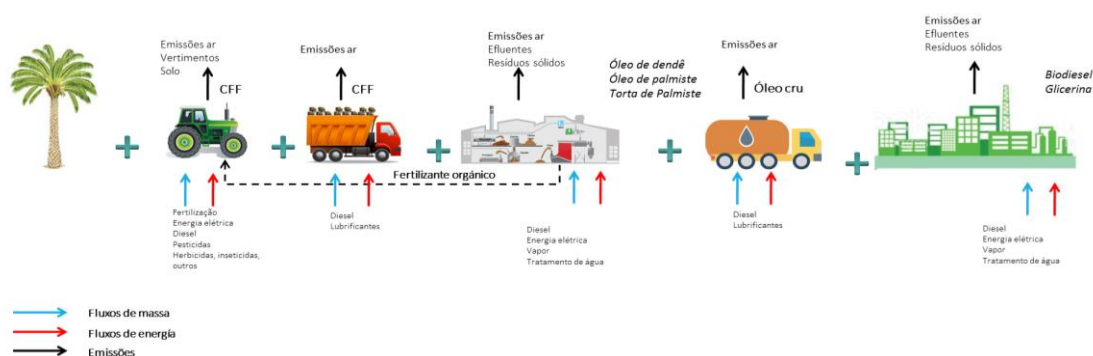


Figura 43. Esquema da proposta de estudo.

3.4.1.2.1. A cultura

A cultura da palma exige o uso de combustíveis fósseis em atividades de campo, tais como: preparar e adaptar o solo para o plantio, aplicar fertilizantes e pesticidas, colher e transportar cachos de frutas frescas (CFF) para a usina de extração e adequação de solos no replantio. Para a produção do CFF consomem-se água, fertilizantes, agroquímicos e combustíveis que contribuam para o equilíbrio das emissões de gases de efeito estufa. Assume-se que, o composto e a fertirrigação produzidos no sistema de tratamento de resíduos sólidos e líquidos da usina de extração foram utilizados no próprio cultivo. Não se analisará a fertirrigação. (veja a Figura 44).

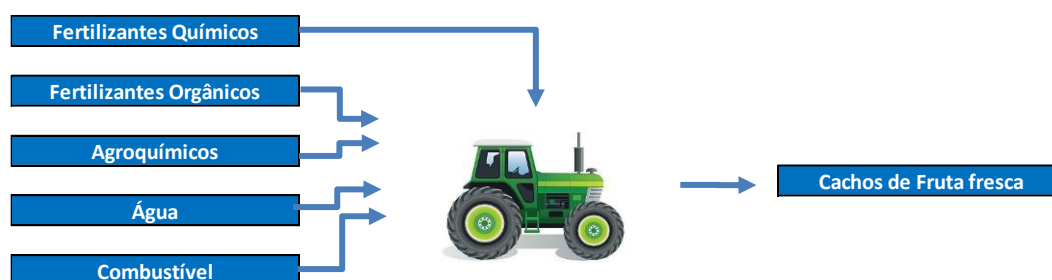


Figura 44. Principais entradas e saídas do estágio de cultivo ou plantio. Fonte: Autor

3.4.1.2.2. Usina de Extração

A Figura 45 detalha os principais insumos e produtos de matéria e energia no subsistema da usina de extração de óleo. Três produtos principais são gerados a partir do processo de extração de óleo (óleo de palma bruto, óleo de palmiste e torta de palmiste) e biomassa sólida e líquida (casca, fibra, cachos vazios e efluentes). A Figura 45 também mostra as correntes intermediárias do processo, os fluxos de serviços, como vapor e eletricidade, e as correntes de outros processos, como as terras do branqueio no processo de refino. A matéria-prima na planta de beneficiamento é a CFF produzida na fase de cultivo. Esses CFF passam por várias etapas do processo, começando com a esterilização, processamento de frutas, prensagem da digestão e clarificação, de onde são obtidos o óleo de palma e os efluentes. Por outro lado, as nozes e as fibras geradas na operação de prensagem são separadas no estágio da palmetearia. A fibra é enviada para uma caldeira para uso como combustível, e as nozes são quebradas para separar a amêndoa da casca. A casca é enviada para uma caldeira e a amêndoa é enviada para o estágio de extração do óleo de palmiste e da torta de palmiste. Os cachos vazios obtidos na etapa de frutificação entram em uma prensa

para recuperar o óleo de palma impregnado. Nessa etapa, obtém-se o licor de prensa de cachos vazios (enviado para esclarecimento) e a fibra prensada, que é utilizada como matéria-prima para retornar ao plantio. Na

Tabela 15 são apresentados os parâmetros operacionais considerados para o processo de extração, bem como a produtividade para as duas variedades de CFF avaliados, *Elaeis Guineensis* Jaq, e o híbrido interespecífico *Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*.

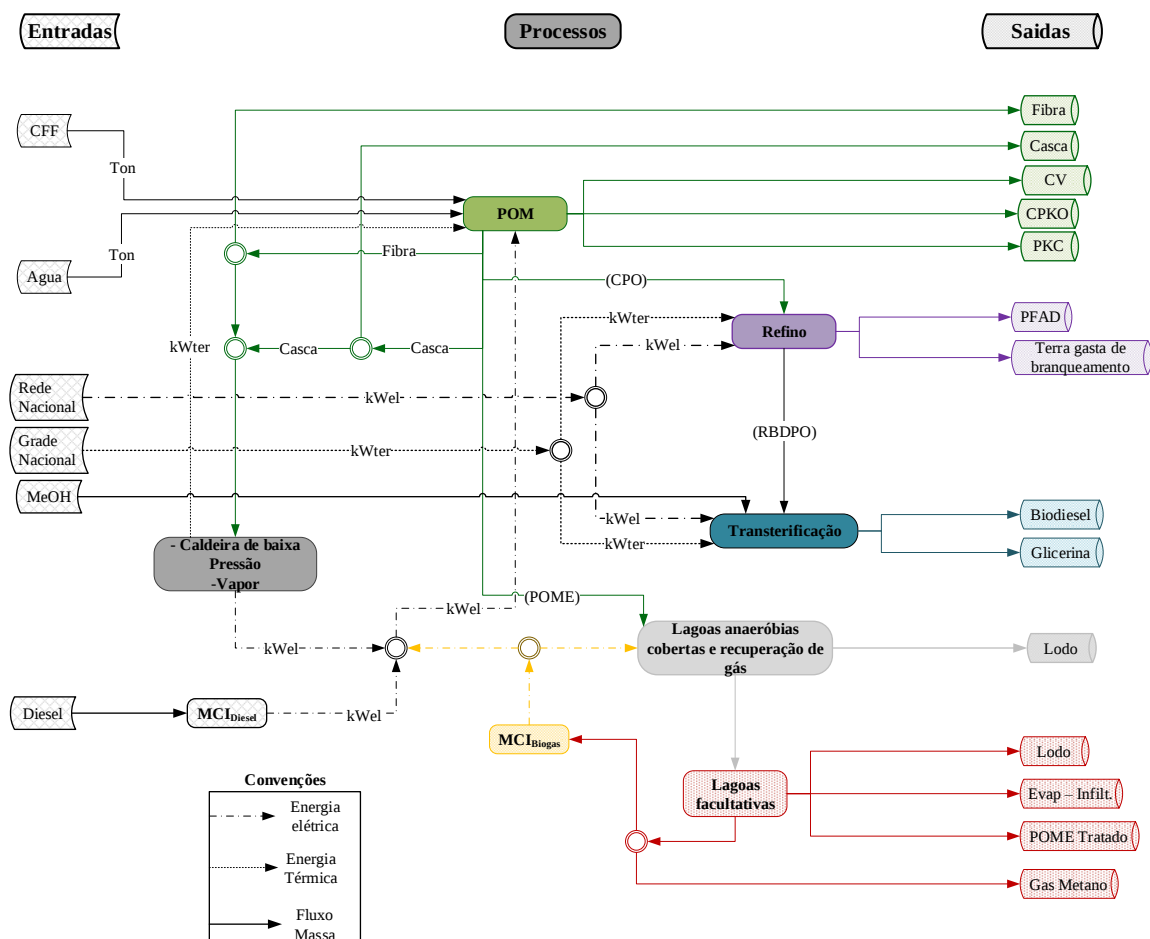


Figura 45. Principais entradas e saídas da planta de beneficiamento, da usina de refino e da usina de produção de biodiesel. Fonte: Autor

Tabela 15. Parâmetros operacionais do processo de extração de óleo de palma.

Parâmetros	<i>Elaeis Guineensis</i>	Híbrido Interespecífico O _x G	Referência
Consumo de Vapor (3.5 bar)	514,3 kg/t CFF	560 kg/t CFF	(NIETO, Diego; YÁÑEZ; GARCÍA, 2011)
Consumo de eletricidade	30 kWh _e /t CFF	33,5 kWh/t CFF	
Consumo de diesel	0,089 kg/t CFF	0,096 kg/t CFF	
Consumo de água	1019,2 kg/t CFF	1250 kg/t CFF	

Produtividade	Óleo de palma Cru	229 kg/t CFF	197 kg/t CFF	*Pesquisa de campo feita pelo autor e referências (NIETO, Diego Ignacio, 2013)
	Óleo de Palmiste	25,67 kg/t CFF	10 kg/t CFF	
	Cachos Vazios	126 kg/t CFF	125 kg/t CFF	
	Fibra	134,23 kg/t CFF	150,22 kg/t CFF	
	Casca	74,62 kg/t CFF	72,01 kg/t CFF	
	Torta de Palmiste	32,26 kg/t CFF	15 kg/t CFF	
	POME	687 kg/t CFF	917 kg/t CFF	

3.4.1.2.3. Usina de produção e refino de biodiesel

A Figura 45 mostra, em nível geral, os principais insumos e produtos da etapa de refino e biodiesel. O processo de refino físico é usado para obter óleo de palma refinado, branqueado e desodorizado (RBD). Esse processo utiliza matérias-primas como ácido cítrico, água e terra de branqueamento. O ácido cítrico é usado para separar as gengivas presentes no óleo e a terra branqueadora para limpar o óleo após o processo de degomação. A eletricidade necessária no processo vem da rede nacional, já que para esse estudo a usina de Biodiesel fica a 200 km de distância da usina de extração de óleo, o que impossibilita o uso da energia produzida por Cogeração(Vapor) e o Biogas. Os produtos obtidos neste subsistema são ácidos graxos livres (AGL) e óleo de palma RBD. Estes produtos são enviados para a planta de biodiesel, onde são realizadas uma reação química de transesterificação, uma reação química de esterificação de ácidos graxos, purificação de biodiesel, purificação de glicerina e recuperação de metanol. Outras matérias-primas nesta fase são metanol, metilato de sódio, ácido acético, ácido cítrico e ácido clorídrico e hidróxido de sódio. O principal produto do palco é o biodiesel e os subprodutos da palma são glicerina e metanol recuperado. Os efluentes gerados e a terra de branqueamento utilizada são enviados ao sistema de lagoa de estabilização, ver na Figura 45. Adicionalmente, para ilustrar o processo de refino, a Figura 46 a seguir também apresenta um diagrama de blocos do processo de refino do óleo de palma bruto.

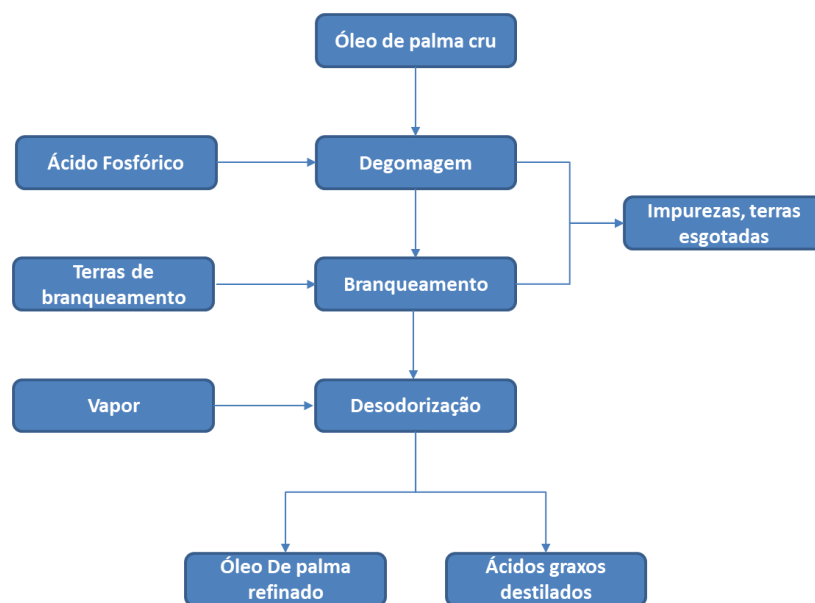


Figura 46. Diagrama da refinação de óleo de palma refinado

Na Tabela 16 são apresentados os parâmetros operacionais considerados para o processo de refinação bem como a produtividade assumida.

Tabela 16. Parâmetros operacionais da refinação de óleo de palma cru

Parâmetros		Elaeis Guineensis	Híbrido Interespecífico OxG	Referência
Consumo de eletricidade		20,5 kWh/t CFF	18,43 kWh/t CFF	(Choo Et Al., 2011)(LEE; OFORI-BOATENG, 2013)
Consumo de Vapor (3,5 bar)		212,43 kg/t CFF	190,97 kg/t CFF	
Terras de blanqueamento		1,98 kg/t CFF	1,71 kg/t CFF	
Ácido fosfórico		0,11 kg/t CFF	0,155 kg/t CFF	
Consumo de Agua Processo		22,714 kg/t CFF	20,37 kg/t CFF	
Óleo de palma cru		1,02 t/t OPR	1,02 t/t OPR	
Produtividade	Óleo de palma refinado	0,220 t/t CFF	0,194 t/t CFF	
	Ácido graxos destilados	9,46 kg/t CFF	8,51 kg/t CFF	

OPR= óleo de palma refinado
CFF= Cachos de fruta fresca

3.4.1.2.3.1. Transesterificação de óleo de palma refinado

Na Tabela 17 são apresentados os parâmetros operacionais considerados para a transesterificação. O método mais utilizado para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais é a transesterificação. Esta reação é levada a cabo na presença de um álcool e um catalizador que pode ser de natureza ácida ou básica. No nível industrial o metanol é o álcool comumente usado para realizar a transesterificação,

entanto que o hidróxido de sódio é o catalizador alcalino preferido devido a seu baixo custo. Dessa forma, a conversão do óleo de palma via transesterificação com metanol e catálise alcalina oferece o caminho mais interessante, pois apresenta uma cinética de reação rápida e uma alta taxa de conversão de óleo refinado em biodiesel (éster metílico) à temperatura ambiente, no entanto uma considerável produção de glicerina bruta é esperada. O biodiesel assim produzido é separado da glicerina, lavado numa primeira etapa com solução de água e HCl a pH 4,5 para neutralizar o catalisador e sometido a centrifugação e secado para produzir biodiesel purificado com uma eficiência de conversão média de 97%. A glicerina pode ser comercializada depois de um processo adicional de purificação por meio de destilação (Delivand; Gnansounou, 2013). A Figura 47 ilustra o diagrama de blocos do processo de obtenção do biodiesel. Na Tabela 17 são apresentados os parâmetros operacionais considerados para a transesterificação.

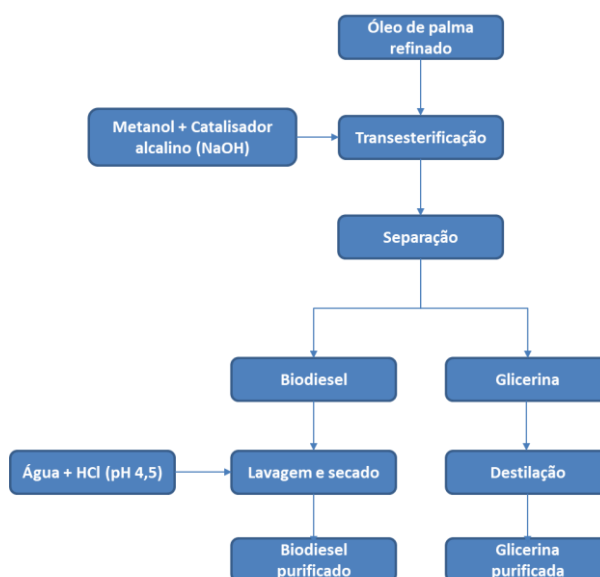


Figura 47. Diagrama da transesterificação de óleo de palma refinado

Tabela 17. Parâmetros operacionais da transesterificação de óleo de palma refinado

Parâmetros		Elaeis Guineensis	Híbrido Interespecífico OxG	Referência
Consumo de eletricidade		0,09 kWh/t CFF	0,082 kWh/t CFF	(Choo Et Al., 2011)(LEE; OFORI-BOATENG, 2013)
Consumo de Vapor (3,5 bar)		99,97 kg/t CFF	89,89 kg/t CFF	
Consumo de água processo		32 kg/t CFF	28,77 kg/t CFF	
Óleo de palma refinado		1,01 t/t BD	1,01 t/t BD	
Metanol		20,28 kg/t CFF	18,19 kg/t CFF	
Hidróxido de Sódio		1,86 kg/t CFF	1,71 kg/t CFF	
Ácido Clorídrico		7,28 kg/t CFF	6,53 kg/t CFF	
Produtividade	Biodiesel	0,2145 t/t CFF	0,1928 t/t CFF	
	Glicerina	26,62 kg/t CFF	23,95 kg/t CFF	
	Waste Water(residuoda agua)	76,45 kg/t CFF	68,74 kg/t CFF	

BD= Biodiesel

CFF= Cachos de fruta fresca

3.4.1.2.4. Fronteiras geográficas

A empresa agroindustrial Guaicaramo, onde foi feita a pesquisa de campo, encontra-se localizada no município de Villanueva Casanare, no estado do Meta, na Colômbia, e as culturas fornecem os frutos para a usina de extração de óleo de palma cru, que encontra-se localizada no mesmo município. O óleo cru de palma é transportado ao município de Facatativa, estado de Cundinamarca, onde fica a usina de refinação e biodiesel.

Transporte: As emissões consideradas e associadas ao transporte são as correspondentes do transporte dos cachos de frutas frescas do plantio para a usina de extração e transporte por trator nas lavouras, e o transporte do óleo cru da usina de extração, a usina do biodiesel. Para o cálculo, são utilizados os fatores de emissão do Simapro 8, levando em consideração a distância percorrida (km). As emissões geradas a partir do transporte de outras matérias-primas não são consideradas no cálculo devido à sua baixa contribuição para o balanço de emissões.

3.4.1.2.5. Fronteiras temporais

O horizonte temporal considerado é para o ano de 2018 já que a pesquisa de campo foi feita na base nesse ano.

3.4.1.2.6. Categoria de Impacto

A categoria de impacto que está sendo avaliada, através do indicador de pegada de carbono do produto, é o aquecimento global. A pegada de carbono é o balanço das emissões e remoções de

GEE de cada uma das etapas da cadeia produtiva do produto em estudo. O impacto é expresso em unidades equivalentes de dióxido de carbono.

3.4.1.3. Fontes de Informação

As informações foram coletadas em formulários elaborados pelo autor numa visita feita durante meses de novembro e dezembro do ano de 2019 à empresa Guaicaramo S.A. Cada formulário foi compartilhado com o responsável pelo preenchimento e o mesmo foi contatado para solucionar possíveis dúvidas. Com os dados coletados, foi gerado um inventário do balanço de materiais e energia das etapas da cadeia produtiva do campo, transporte e usina. Os dados de usina foram obtidos de fontes bibliográficas, já que a usina de biodiesel encontra-se em outra cidade e não foi possível fazer a visita. Os dados do inventário foram comparados com publicações científicas, bancos de dados do Centro da pesquisa (Cenipalma) e banco de dados Simapro 8. Recursos bibliográficos, artigos científicos especializados em dendezeiros foram utilizados para os fatores de emissão e para gerar os cálculos de emissão, banco de dados *ecoinvent*, IAFC (Grupo Intergovernamental de Peritos em Mudanças Climáticas), banco de dissertações de ACV e bancos de dados do centro de pesquisa de óleo de palma da Colômbia (Cenipalma).

Os critérios de corte levados em consideração para o presente estudo estão listados abaixo:

- O cálculo das emissões de biodiesel é realizado até a saída da planta de biodiesel;
- A etapa de permanência na estufa é excluída do balanço de emissões, sendo considerada insignificante devido ao baixo consumo de recursos e à duração dessa etapa (ISO 14067, 2018);
- A fibra e a casca produzidas na usina de extração são enviadas para a caldeira para uso como combustível no processo de geração de vapor. As sobras de fibra vão para o campo, as sobras de casca permanecem na planta;
- O CO₂ biogênico emitido não é levado em consideração no balanço de emissões. O critério de neutralidade (ISO 14067, 2018) é aplicado;
- As emissões do transporte de matérias-primas (agroquímicos, fertilizantes, MP Refinação, MP Biodiesel) não são significativas no balanço global, portanto, não são levadas em consideração na pegada de carbono;

- A mudança do solo (MUS) de toda a plantação é assumido de acordo com as informações fornecidas pela empresa Guaicaramo.
- A etapa de transporte contempla apenas o uso de diesel para transportar os cachos de frutas por trator, tanto na atividade de colheita, quanto o transporte de frutas em caminhões da plantação para a usina de extração. O transporte de óleo de palma bruto da usina de extração para a usina de biodiesel também é considerado;
- Os dados de uso de combustível para tratores e caminhões foram necessários para calcular suas emissões;
- A distância dos caminhões para levar o óleo cru de palma até Facatativa foi levado em consideração para o cálculo de emissões.

3.4.1.4. Inventários de emissões e análise

Na análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), os fluxos de materiais e energia dos processos do sistema são quantificados. Ao avaliar todas as entradas e saídas, pode-se analisar as trocas dos sistemas com o ambiente e, assim, seus impactos. Dentro desse estudo, o consumo de todas as matérias-primas, insumos, energia, emissões e resíduos é considerado. Além disso, os requisitos de transporte, infraestrutura e terra estão incluídos.

3.4.1.5. Levantamento de Inventários

Para a coleta de informações, e para obter os inventários tanto do plantio quanto da extração do óleo de palma de azeite em ambos os casos, foram utilizadas fontes primárias conhecidas e também informações obtidas pelo autor nas empresas e plantios, bem como entrevistas por telefone, consultas por e-mail com formulários, consulta com engenheiros e julgamento de especialistas. Por outro lado, os dados secundários não estão especificamente relacionados com o sistema-produto e se derivam geralmente de bases de dados genéricas de Inventários do Ciclo de Vida, nos anexos pode-se encontrar os formulários de campo. Exemplos disso são a produção de fertilizantes minerais e a geração de eletricidade. Nesse caso, os dados secundários foram obtidos da base de dados de ACV Ecoinvent v. 2.2 (ECOINVENT CENTRE, 2009). Ecoinvent é a base de dados internacional de ICV mais completa e transparente e todos os dados de inventário são estabelecidos de acordo com altos padrões de qualidade e referência.

3.4.1.5.1. Pesquisa de Campo

Para o presente estudo, foi necessária a realização de uma pesquisa de campo na região Oeste da Colômbia, já que as matérias-primas avaliadas para o mesmo, só se encontram nesse país. Essa pesquisa de campo é muito importante para o presente trabalho, pois dá muito peso nos inventários coletados. Foram realizadas visitas a duas empresas do setor do dendê com a finalidade de coletar a maioria das informações para os inventários do cultivo, do transporte e das usinas. Essas visitas foram realizadas em quatro semanas, com o pessoal diretivo e o pessoal técnico das empresas que administram o setor, bem como também com o compartilhamento de profissionais do centro de pesquisa de óleo do dendê na Colômbia.

Os diferentes itens da metodologia de levantamento da informação a coletar para as diferentes fases de estruturação foram as seguintes:

- Coleta de dados de fertilização;
- Coleta de outros dados de campo;
- Coleta de dados de estoque de carbono;
- Coleta de dados de Usina de Extração; e
- Coleta de dados de Usina de Biodiesel.

3.4.2. Impacto do Ciclo de Vida

As emissões foram modeladas usando o pacote de software *SimaPro v.8.0.3* (Pré Consultants), dado que é uma ferramenta de ACV amplamente utilizada, tanto por profissionais quanto por pesquisadores. Os impactos foram quantificados usando o método *Impact 2002+*. Este método analisa os impactos ambientais em quatro categorias de danos (saúde humana, qualidade do ecossistema, mudança climática e recursos), computando quinze categorias de pontos médios que incluem carcinógenos, radiação respiratória (orgânica e inorgânica), ionizante, depleção da camada de ozônio oxidação fotoquímica, ecotoxicidade aquática, ecotoxicidade terrestre, acidificação aquática, eutrofização aquática, acidificação e nitrificação terrestres, ocupação do solo, aquecimento global, energia não renovável, extração mineral. No entanto, os resultados obtidos

nesta pesquisa são apresentados em termos de sete categorias de pontos médios, consideradas as mais relevantes para este estudo: non-renewable energy, global warming, aquatic eutrophication, aquatic acidification, terrestrial acidification, ozone layer depletion and respiratory inorganics. Essa abordagem sistemática acaba revelando o potencial do produto avaliado e identificando os pontos críticos ambientais nas cadeias de produtos, para que medidas preventivas possam ser sugeridas para reduzir o impacto ambiental negativo.

Por outra parte, para estimar a pegada de carbono (Rivera-Méndez et al., 2017), foi utilizado o banco de dados da Ecoinvent. Para a mudança no uso da terra (LUC), foi considerado um projeto de 30 anos, em que a área para o genótipo de *E.guineeses* distribuía-se da seguinte maneira: 37.8% da área anterior da terra era usada em arroz, 25.9% em palma guineenses e os outros 36.4% da área eram para pastagem. Para o caso do genótipo Híbrido Interespecífico (*OxG*) a distribuição era da seguinte maneira: 40.8% da área anterior da terra era usada em arroz, 18.8% em palma híbrida e os outros 40.4% da área eram para pastagem. Além disso, para analisar o impacto da LUC nas emissões de CO_{2eq} na situação atual, foi realizada uma avaliação dos valores do estoque de carbono de terras convertidas em dendezeiros

3.4.3. Eficiência do ciclo de vida

Para quantificar o fluxo total de energia e avaliar a eficiência geral dos processos, existem diversas métricas ou indicadores energéticos (Ocampo et al 2020). Os indicadores comuns mais utilizados para resumir a energia líquida produzida a partir de um sistema específico são o Net Balanço energético (NEB), Rendimento de energia líquida (NEY) y Razão de energia líquida (NER) (Rocha et al., 2014). No entanto, o NER – também chamado de *Eficiência energética do ciclo de vida (LCEE)* – é o indicador comumente usados para resumir a energia líquida produzida a partir de um sistema específico, que pode ser considerado um indicador de sustentabilidade do balanço energético do ciclo de vida, conforme relatado por (Mayer et al., 2020).

Neste estudo utilizou-se o NER_{total}, expresso como a soma da produção líquida de energia (biocombustíveis e os demais coprodutos) dividida pelo insumo líquido de energia a qual inclui a energia obtida a partir das etapas do cultivo (fertilizantes, agroquímicos, lubrificantes e

combustível fóssil), transporte (combustível fóssil) e industrial (energia térmica/elétrica e combustível fóssil), conforme apresentado na equação (5).

$$NER_{total} = \frac{\sum Total\ Energia\ Biocombustibles\ e\ subproductos}{\sum Total\ energia\ ingresada} \quad (5)$$

Outro indicador interessante é o Relação de energia fóssil (FER), definido como a razão entre a energia final do combustível em relação à energia fóssil requerida para produzi-lo (Eq. 6). O FER também é chamado de Fator de Renovação (RF), pois mede o grau em que um determinado combustível é ou não renovável (Pradhan et al. 2008). Isto quer dizer que quanto maior o FER, mais renovável é o combustível (Teresa M. et al. 2011).

$$FER = \frac{\sum Energia\ Biodiesel_{saida}}{\sum Energia\ Fosil_{Entrada}} \quad (6)$$

3.5. Ferramentas computacionais

Nesse item, pode-se encontrar os detalhes e as características dos softwares que foram utilizados para a elaboração do estudo e a avaliação do desempenho ambiental e energético do ciclo de vida pretendido neste trabalho.

3.5.1. Software Simapro

Esse software, lançado em 1990, é uma ferramenta computacional flexível e muito utilizada pelas empresas de pesquisa, consultoria e universidades, desenvolvido pela PRE-consultants da Holanda, que permite realizar uma avaliação completa do ciclo de vida para um produto ou serviço, apoiado numa importante base de dados sobre outros estudos de ACV, que podem ser inseridos dentro de qualquer estudo a ser desenvolvido.

O SimaPro segue as normas estabelecidas pela ISO 14040-14041-14042-14043, onde são definidos os princípios e estrutura da ACV, o objetivo, escopo e o inventário, a avaliação do impacto e finalmente a interpretação.

O funcionamento do software está baseado em uma planilha que efetua adições e subtrações, e constitui um instrumento auxiliar na avaliação do impacto ambiental de um produto ao longo do seu ciclo de vida.

O programa tem dois componentes principais: uma base de dados de inventários e uma base de dados de avaliação. Ambas bases de dados já contêm muita informação, mas podem ser expandidas, modificadas e criadas pelo utilizador.

A organização da informação no SimaPro encontra-se em projetos, os quais podem incluir diversos ciclos de vida de um ou vários produtos e cujos processos podem ser extraídos das várias bases de dados disponíveis no programa, que se encontram organizadas em: materiais, energia, transportes, processamento, uso, cenário de resíduos e tratamento de resíduos.

3.5.2. Software GateCycle

O software Gatecycle 6.1.2 utilizado para a análise e balanços de energia, foi desenvolvido pela empresa tecnologia General Electric. Este software é um produto comercial utilizado como ferramenta de avaliação de diferentes esquemas térmicos com ciclos a vapor, gás ou combinado, e ainda em processos de gaseificação. Esse programa possibilita o cálculo dos balanços de massa e energia para o esquema térmico e para cada equipamento, calculando a potência gerada, a eficiência térmica e o consumo específico de calor por energia elétrica gerada ou Heat Rate. O software também permite calcular o efeito de:

- Variação das condições ambientais;
- Mudanças no tipo de combustível;
- Extração e injeção de vapor no sistema;
- Operação com carga parcial;
- Perdas de pressão; e
- Variações nas pressões de operação.

Com relação aos equipamentos presentes no ambiente gráfico do software, estão disponíveis: turbina a vapor, turbina a gás, trocadores de calor, caldeiras, economizadores, superaquecedores, condensador, bombas, válvulas, ejetores, tubulações, torres de resfriamento, ventiladores, geradores de energia elétrica e outros equipamentos.

CAPÍTULO 4

4. INVENTÁRIO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Conseguir a coleta de dados primários totais do setor de palma de azeite do genótipo E.Guineensis assim como do híbrido interespecífico híbrido OxG na Colômbia implica um tremendo desafio, porém no presente trabalho conseguiu-se dados primários de uma das empresas mais representativas do setor agroindustrial com essa variedade de CFF.

4.1. Cultivo e transporte de cachos de fruta fresca CFF

Nesta seção se descreve como foi desenvolvida a pesquisa de campo para o levantamento da informação. Inicialmente, procurou-se determinar a densidade aparente dos cultivos, estabelecida nas plantações de palmeiras da região oeste da Colômbia. O nome da empresa não será divulgado pelo respeito aos dados primários, mas elas encontra-se localizada no município de Barranca de Upío, ao norte do estado do Casanare.

Localização de pesquisa de campo Regia Este, cidade de Villanuva, Estado de Casanare Colombia:

- ☐ Altitude: 190 m;
- ☐ Precipitação Anual: 2.589 mm;
- ☐ Temperatura: Máxima 32°C, média 29°C e mínima 22°C;
- ☐ Umidade Relativa: 81%; e
- ☐ Evapotranspiração: 125 mm/mês.

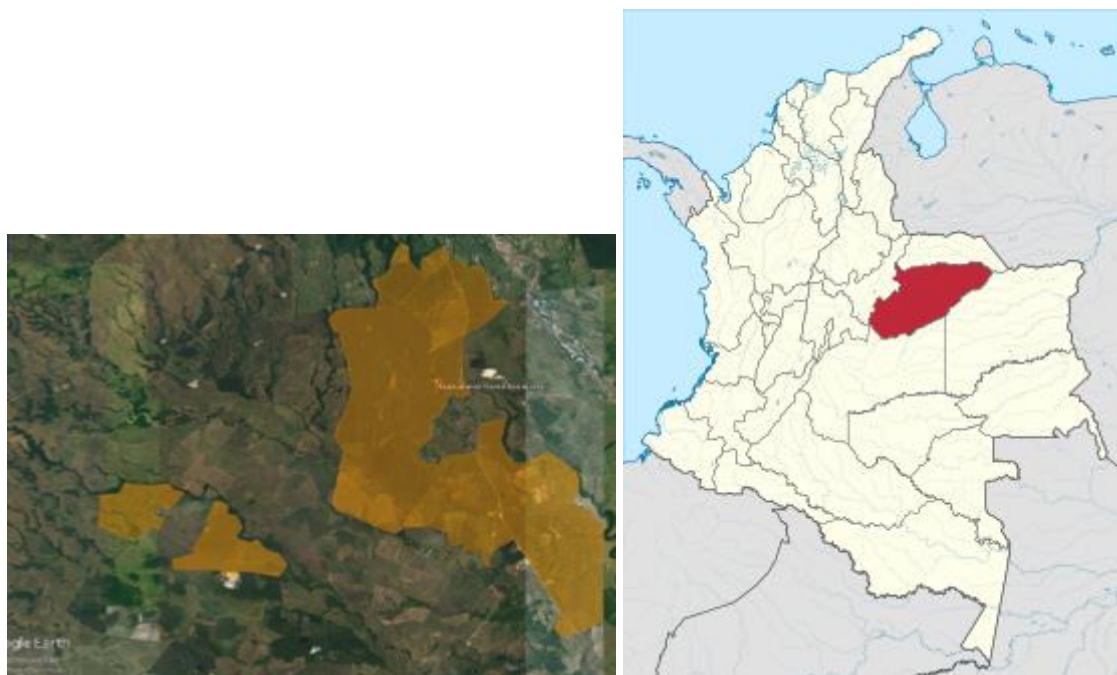


Figura 48- Vista Aérea do Plantio e vista do estado no mapa da Colombia. (Fonte Google Earth 2019)

4.1.1. Coleta da informação sobre fertilização

Apresenta-se o resumo dos inventários da etapa de fertilização para as duas variedades de cultivo, tanto para a *Elaeis Guineensis* como para a *Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis* (Híbrido). Os dados se apresentam como uma média ponderada, os quais correspondem aos hectares semeados para cada cultivo sendo 5.737 hectares de *Guineensis* e 3.599 hectares de Híbrido.

Na Tabela 18 se apresenta a informação, na qual pode se observar as diferenças na produtividade, bem como na extração de óleo na usina, identificando que as produções em toneladas de cachos de fruta fresca, e as implicações na diferença das fontes de óxidos na fertilização, como o nitrogênio, o qual tem uma diferença de 0,76 kg/ton CFF na aplicação, sendo menor quando se compara com a *Guineensis*.

Tabela 18. Resumo da colheita de dados de fertilização e outros dados de campo. Fonte: Autor

Ítem	Unidade	Guineensis	Híbrido Interespecífico OxG.
Produtividade de fruto	TonCFF/há.ano	25,08	30,55
Extração de Óleo	%óleo/CFF	22,9	19,78
Produtividade de óleo	ton óleo/há ano	5,74	6,04
FERTILIZANTES QUÍMICOS			
N	Kg/tCFF	5,74	6,49
Map	Kg/tCFF	0,57	0,55
Urea	Kg/tCFF	5,17	5,95
P ₂ O ₅	Kg/tCFF	2,96	2,74
K ₂ O	Kg/tCFF	11,06	11,20
MgO	Kg/tCFF	4,15	3,53
B ₂ O ₃	Kg/tCFF	0,12	0,04
Ca	Kg/tCFF	2,85	1,41
S	Kg/tCFF	0,93	0,85
Si	Kg/tCFF	0,36	0,15
TOTAL	Kg/tCFF	28,17	26,41
FERTILIZANTES ORGÂNICOS			
N	Kg/tCFF	0,26	0,26
P ₂ O ₅	Kg/tCFF	0,48	0,48
K ₂ O	Kg/tCFF	1,45	1,45
TOTAL	Kg/tCFF	2,19	2,19
AGROQUÍMICOS			
Glifosol Glifosan 480 SI Grantik	Kg/tCFF	0,113	0,085
Metilfuron 600 gr. Drivo 60WG	Kg/tCFF	0,013	0,007
x 20 grs			
Malathion 57%	Kg/tCFF	0,020	
TOTAL	Kg/tCFF	0,146	0,092

COMBUSTÍVEL			
Diesel	Gal/tCFF	0,47	0,34
Gasoline	Gal/tCFF	0,00	0,00
Lubrificantes	Gal/tCFF	0,01	0,01
TOTAL	Gal/tCFF	36,84	36,84

Com referência à aplicação da ureia, observa-se que também para o híbrido se faz uma maior aplicação em 0,78 quilogramas por tonelada de cachos de fruta fresca (CFF), isso é justificado pelos engenheiros agrônomos, pelo fato de ser o híbrido uma palma mais robusta, necessitando de mais nutrientes.

No total, para o híbrido, aplicam-se 26 quilogramas de fertilizante por tonelada de CFF, e para o Guineensis, 28 quilogramas de fertilizante por tonelada de CFF, o que resulta em aproximadamente 2 quilogramas de diferença de aplicação a menos para o híbrido, já que o que se esperava era uma maior aplicação de fertilizante para o híbrido, segundo os agrônomos do plantio.

A distribuição das sementes e variedades específicas de Guineensis para esta empresa se apresenta da seguinte maneira:

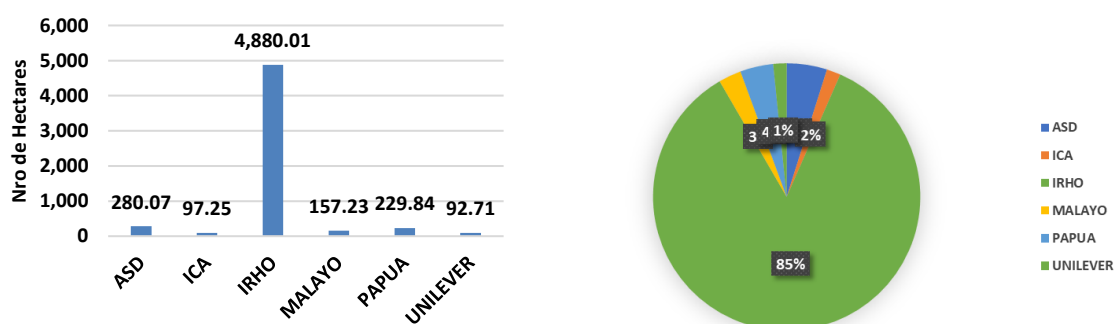


Figura 49 Distribuição das variedades genéticas semeadas da Elaeis Guineensis. Fonte Autor 2020

Na Figura 49 se apresenta à esquerda as variedades genéticas semeadas na região onde se fez a pesquisa de campo, na qual se observa uma participação 85% maior para a variedade IRHO, o que corresponde a 4.880 hectares dos 5.599 hectares totais. A representatividade apresentada no gráfico anterior per

mite dizer que a variedade *Elaeis Guineensis* está representada em sua maioria pela variedade o código IRHO.

Para o Híbrido (*Elaeis Guineensis* x *Elaeis Oleifera*) dispõem das variedades que encontram-se semeadas no lugar da pesquisa de campo, e o comportamento gráfico, se apresenta na Figura 50.

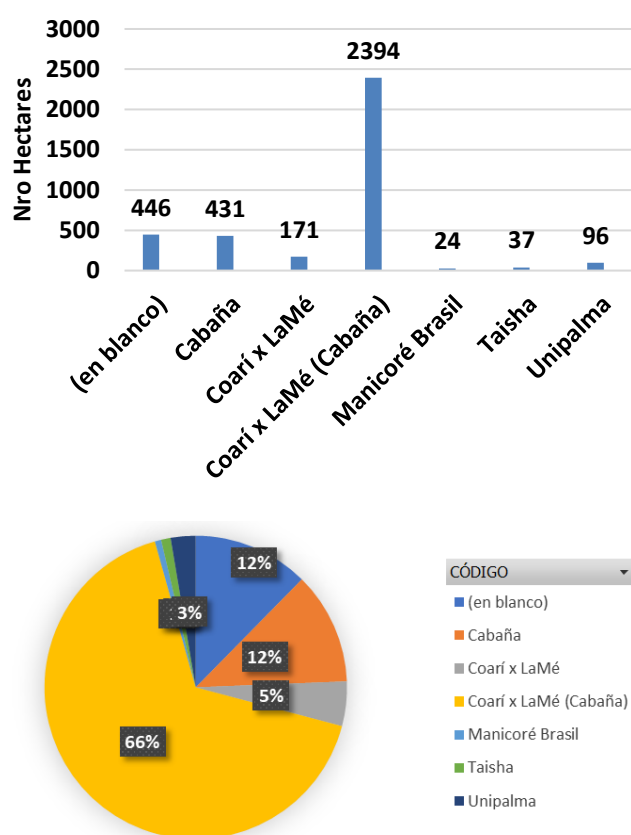


Figura 50. Distribuição das variedades genéticas semeadas do Híbrido (*Elaeis Oleifera* x *Elaeis Guineensis*).
Autor 2020

Pode-se ver que, pela Figura 50, a variedade Coari x Lame tem a representação de 66% do material híbrido, com 2.394 hectares, mas deve-se esclarecer que essa mesma variedade é a que utilizada na maioria dos cultivares de híbrido na Colômbia, que recebe o nome de “La Cabaña”, assim como que o item com nome (*en blanco*) também é de variedade a cabana, o que permite falar

que dessa variedade (La Cabaña), semeado no cultivar da pesquisa de campo chega num valor de representatividade de todos os híbridos de 90%.

4.1.2. Densidade de plantio

Um dos fatores que levam ao trabalhar nessa dissertação é que a densidade de plantio (número de palmas por hectare) é diferente para ambas variedades, ou seja, pela emissão foliar da palma, deve-se semear a um determinado número de metros, o híbrido tem maior emissão foliar que o Guineensis, assim se apresenta como é a densidade de plantio para cada variedade, no lugar onde foi feita a pesquisa de campo na Colômbia.

Primeiramente, será apresentado o resultado da análise de informação coletada para a variedade Guineensis, a qual é apresentada na Figura 51

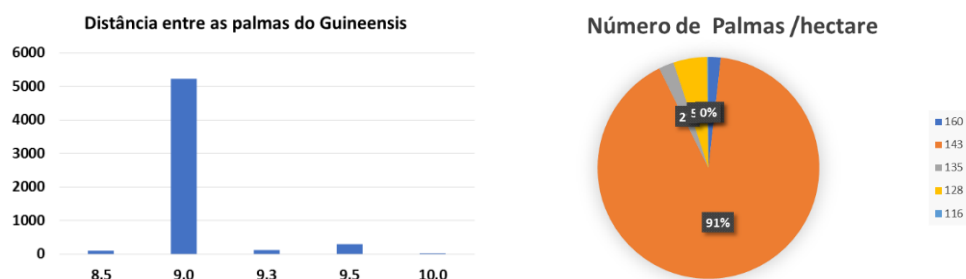


Figura 51. Distribuição do número de palmas por hectare e metros a que as palmas são semeadas para o Guineenses. Fonte: Autor 2020

Da Figura 51 apresenta diferentes tipos de distribuição de semear as palmas para o genótipo Guineensis, encontrando-se testes a 8,5 – 9,0 – 9,3 – 9,3 – 9,5 – 10, mas pode-se dizer que a densidade de número de palmas por hectare que predominam no genótipo Guineenses é semear palmas a uma distância uma de outra a 9, correspondente a 91% do total dos hectares semeados na empresa onde foi feita a pesquisa de campo, o que significa que a variedade Guineensis fica semeada a 143 palmas por hectare.

Para o Híbrido, a título de comparação, apresenta-se a Figura 52, para as análises de dados coletados na pesquisa de campo.



Figura 52. Distribuição do número de palmas por hectare e metros a que as palmas são semeadas para o Híbrido

Da Figura 52 pode se comentar que o número de maior representatividade para a variedade híbrido, quando se fala de distância de semear entre uma palma e outra, é de 10 metros, que representa 80% de todas as provas que a empresa faz no seu cultivo, dizendo que a densidade de semeadura para esta variedade híbrida é de 116 palmas por hectare.

4.1.3. Efeito da irrigação na produtividade

Um dos dados com maior relevância encontrado na pesquisa de campo feita na Colômbia, foi que essa empresa fez provas com referência à irrigação, avaliando as produtividades do cultivo, as quais aumentam consideravelmente, até 10 toneladas de cachos de fruta fresca por hectare por ano, isto poderia levar a propor alguns cenários de avaliação e analisar o que acontece com seus balanços de massa, e balanços de energia em toda a cadeia produtiva. Para uma melhor ilustração se apresenta os dados da produtividade por ano e por hectare para o Guineenses e para o híbrido sem irrigação e com irrigação, na Figura 53.

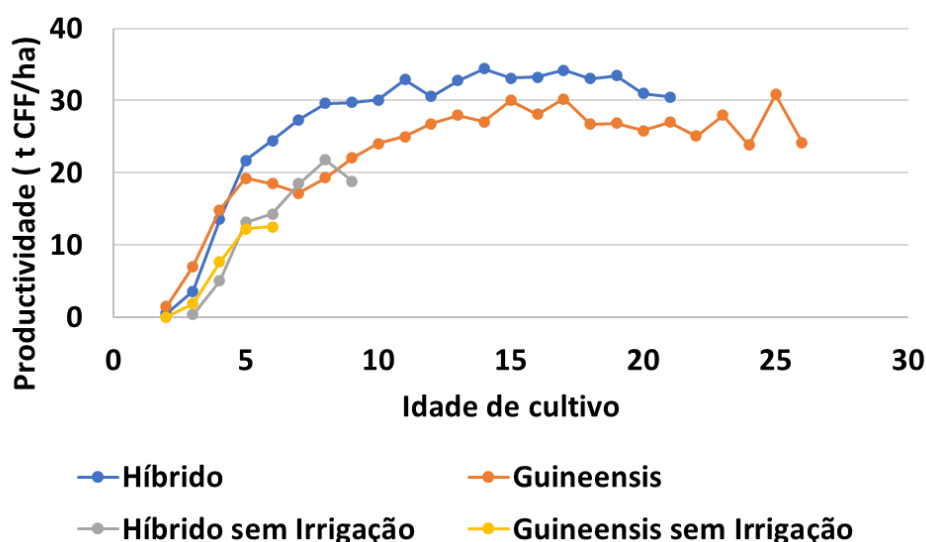


Figura 53. Comportamento da produtividade versus a idade da palma por material Guineensis e material Híbrido com e sem Irrigação.

Na Figura 53 pode se analisar que o material híbrido depois do terceiro ano de semeadura começa a ter uma maior produtividade que as palmas guineenses, e isso pode ser explicado porque, nessa região específica da Colômbia, a região Oeste, a palma do dendê guineenses sofre da doença do amarelecimento fatal (AF), e é justo no quarto ano que sofre essa doença, o qual faz com que o híbrido tenha uma maior vantagem produtiva a partir desse ano. O interessante dessa figura é que se observa que, com irrigação, as palmas tanto para os guineenses como para o híbrido, produzem mais do que quando não se faz irrigação, e que a diferença pode ser mínimo 10 toneladas a mais de produção, o qual com certeza traz vantagens econômicas para as empresas do dendê. Os dados sem irrigação aparecem só até o ano 10, pois a maioria das empresas hoje em dia têm irrigação, então não se tem dados com palmas maiores do que uma idade de seis anos para guineenses sem irrigação, e não se tem dados com maiores de 10 anos para o híbrido.

4.1.4. Agroquímicos

Para a Análise de Ciclo de Vida, é muito importante analisar e determinar o tipo de agroquímicos que se utilizam para o cultivo, e entre os mais usados na empresa que se fez a pesquisa de campo está o Glifosato e o metilsulfuron 600 gramas dirvo 600WG x 20 gramas. Na

agroindústria do dendê na Colômbia, aplicam-se muitos agroquímicos, mas vale a pena identificar quais são os que mais se utilizam, a continuação apresenta se o comportamento da aplicação desses agroquímicos na Figura 54.

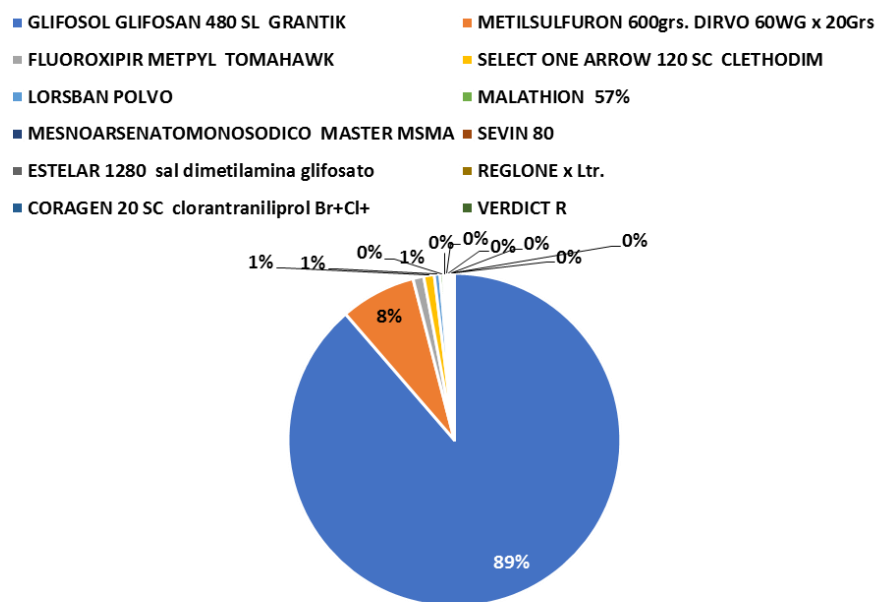


Figura 54 Distribuição da aplicação de agroquímicos nos plantios do dendê. Fonte: Pesquisa de campo.

Na Figura 54, pode-se observar que dos 12 agroquímicos referenciados na visita de pesquisa de campo, encontra-se uma aplicação de 89% para o Glifosol Glifosan 480SL Grantik, e 8% de metilsulfuron 600 gramas DIRVO 60 WG x 20 gramas. Pelo anterior, os únicos agroquímicos a serem levados em conta para a análise de ciclo de vida, vão ser esse dois.

Abaixo se apresenta a Tabela 19, na qual se mostra a aplicação do agroquímicos para cada genótipo.

Tabela 19 - Agroquímicos para o Guineenses e para o Híbrido.

GUINEENSIS			HÍBRIDO		
Nome	Unidade de medida	Total	Nome	Unidade de medida	Total
Total geral		18.204	Total geral		8.431
GLIFOSOL GLIFOSAN 480 SL GRANTIK	LTR	11.526	GLIFOSOL GLIFOSAN 480 SL GRANTIK	LTR	7.474
MALATHION 57%	LTR	2.025	METILSULFURON 600grs. DIRVO 60WG x 20Grs	DOS	619
METILSULFURON 600grs. DIRVO 60WG x 20Grs	DOS	1.313	FLUOROXIPIR METPYL TOMAHAWK	LTR	88
VERDICT R	LTR	893	SELECT ONE ARROW 120 SC CLETHODIM	LTR	87
SELECT ONE ARROW 120 SC CLETHODIM	LTR	744	LORSBAN POLVO	KIL	46
MICOSPLAG Sobres x 100grs	GRM	500	MALATHION 57%	LTR	27
LORSBAN POLVO	KIL	324	MESNOARSENATOMONOSODICO MASTER MSMA	LTR	20
SEVIN 80	LBS	158	SEVIN 80	LBS	19
REGLONE x Ltr.	LTR	145	ESTELAR 1280 sal dimetilamina glifosato	LTR	18
MESNOARSENATOMONOSODICO MASTER MSMA	LTR	140	REGLONE x Ltr.	LTR	15
FLUOROXIPIR METPYL TOMAHAWK	LTR	121	CORAGEN 20 SC clorantianiliprol Br+Cl+	LTR	12
AZODRIN MONOCROTOFOS (RHONECRO)	LTR	87	VERDICT R	LTR	6
CORAGEN 20 SC clorantianiliprol Br+Cl+	LTR	79			
REGENT 200 SC LITROS	LTR	29			
CLOSER Sufloxafor DOW	LTR	24			
DINASTIA EC100 (DELTAMETRINA 100g/l)	LTR	24			
FINALE GLUFOSINATO DE AMONIO x Ltr.	LTR	20			
CONNECT Imidacloprid+Betaciflutrim BAYER	LTR	18			
NILO Bifentrina+Imidacloprid	LTR	13			
CONFIDOR SC 350	LTR	10			
AMISTAR TOP AZOXYSTROBIN+DIFERNUCONAZOL	LTR	3			
BACTHON litros	LTR	3			
ESTELAR 1280 sal dimetilamina glifosato	LTR	2			
LORSBAN LIQUIDO	LTR	2			
CONFIDOR x 500 C.C.	FCO	1			
EXALT 60 SC. SPINETORAM J + SPINETORAM L	LTR	1			

4.1.5. Uso de combustíveis fósseis do plantio

Quanto aos combustíveis no plantio, foi obtido um indicador de consumo de litros por hectare e, assim, foi feita uma ponderação para o número total de hectares plantados para Guineensis e híbrido.

Foi possível obter quanto combustível é usado no campo e quanto no transporte e, assim, pode-se fazer a divisão correspondente. Esses indicadores são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20. Consumo de combustível em campo para híbridos e guineensis

Descrição	Litros	Litros x	
		Hectares	Hectares
		9.336,23	37,78
Bloques no campo	42.174		26,59
Maquinaria do campo	310.603	77.600	No Campo
Trasporte de CFF da empresa	89.363	523.476	Transporte
Transporte de CFF de terceiros	158.936		
Total Litros	601.076	1,8552	Litros/t CFF No Campo
		13056.4	gal/tonCFF Transporte
Distância do ponto de coleta à Usina de extração (Guineensis)	7,41	ton RFF/km	
Distância do ponto de coleta à Usina de extração (Híbrido)	8,30	ton RFF/km	

4.1.6. Fertilizantes

Em relação aos fertilizantes, observa-se diferenças entre o que é planejado e outra é o que realmente se aplica, isso se deve a vários fatores que, inclui preço dos fertilizantes, mão-de-obra etc. Os dados a seguir, mostram que 59,91 kg de fertilizante por quilo de palma foram aplicados ao híbrido, enquanto 51,93 kg de fertilizante por quilo de palma foram aplicados para guineensis, calculados para produção real de 88.378 toneladas de CFF em híbrido e 101.794 toneladas de CFF em Guineensis.

Tabela 21 - Produção no campo e aplicação de fertilizantes em quilogramas de fonte

Variedade do Plantio	kg de CFF	Kg fertilizantes	Kg Fertilizante/Ano
Híbrido	88.378.147	5.294.827	59,91
Guineensis	101.794.023	5.286.351	51,93
Total	190.172		

Para uma melhor análise, o uso do fertilizante foi dividido por componentes e assim, pode-se observar como é aplicação por óxido para cada um dos compostos do fertilizante.

A maior diferença encontradas nas aplicações de fertilizantes são no nitrogênio, representado como ureia, no óxido de magnésio e no cálcio, segundo a informação dos engenheiros da empresa onde foi feita a pesquisa de campo (Figura 55). Engenheiros agrônomos dessa empresa também comentaram que o híbrido interespecífico tem requerimentos maiores de nitrogênio que de potássio, e por sua vez o Guineensis tem maiores requerimentos de potássio que de nitrogênio, e isso é explicado pelo fato do híbrido ter menores teores de casca.

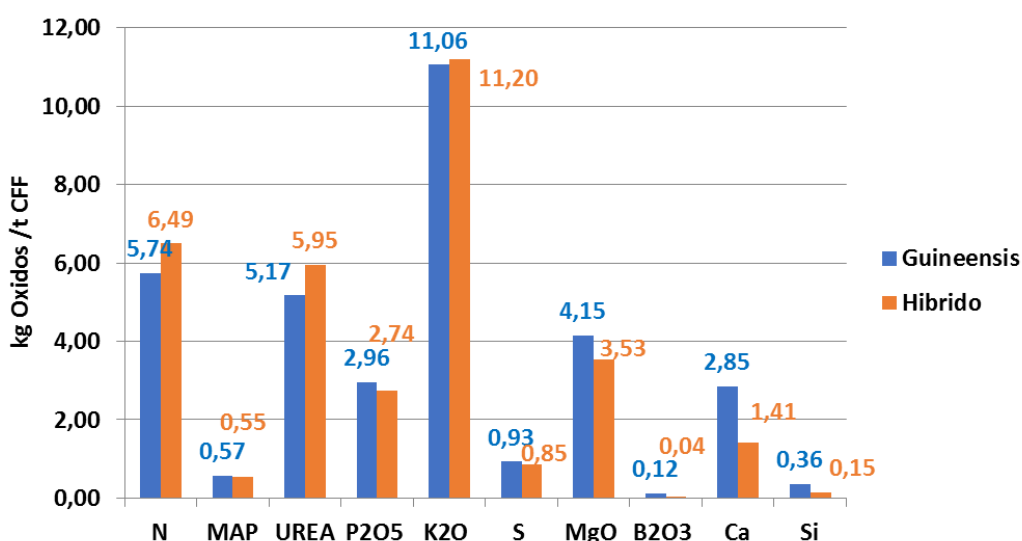


Figura 55 - Consumo de fertilizantes. (FONTE: Pesquisa de campo, 2018)

4.1.7. Mudança do uso do solo (MUS)

O uso do solo é um dos principais causadores de danos nos sistemas de produção. O termo MUS é usado para denotar uma classificação de atividades humanas sobre uma superfície de solo, ou para impactos ambientais relacionados com a ocupação e transformação física de áreas de terreno. A estimativa de emissões de gases de efeito estufa (GEE) associada à mudança de uso do solo são consideradas quando tiver sido trocada a cobertura natural ou semi-natural nos últimos 20 anos (HARRIS; SPAKE; TAYLOR, 2015). Os cálculos de emissões e os fatores utilizados foram

obtidos de um artigo atualizado para o sistema de óleo de palma na Colômbia (CASTANHEIRA; ACEVEDO; FREIRE, 2014). Os índices de mudança estão relacionados ao projeto de carbono contido na cobertura original ou biomassa (aérea, subterrânea e solo). Os dados de mudanças no uso da terra de um estudo realizado para empresa onde foi feita a pesquisa do campo, os dados de MUS correspondem a uma área de 9.357,42 has, distribuídas em 3.596,32 has para o híbrido interespecífico OxG, e de 5.761,10 has para o *Elaeis Guineensis*. para o cálculo de emissões, considerou-se o comportamento desses hectares. Para um melhor detalhe, ver a Tabela 22. O cálculo das emissões se leva em conta a totalidade de hectares analisados na pesquisa de campo. Considera-se um período de avaliação de 25 anos para o *Elaeis Guineensis* Jaq, e de 30 anos para o híbrido interespecífico, já que uma das vantagens desse último genótipo é que pode produzir por mais anos, devido ao fato de que cresce a uma menor altura. Também se considera as produtividades de 25,08 t CFF/ha.ano para o *Elaeis Guineensis*, e de 30,55 t CFF/ha.ano para o híbrido interespecífico OxG para a cultura.

Tabela 22. Mudanças do uso do solo na empresa da pesquisa de campo para o ano 2018 (GUAICARAMO 2018)

Uso Inicial da terra	Elaeis		Híbrido		Referência
	Guineensis Jaq. (há)	%	Interespecífico OxG	%	
Arroz	2.350,89	40,8%	1.358,47	37,8%	Dados coletados na pesquisa de campo
Palma	1.080,92	18,8%	929,99	25,9%	
Pastos	2.329,29	40,4%	1.307,86	36,4%	
TOTAL	5.761,10	100%	3.596,32	100%	

Mudança no uso do: é o processo pelo qual ocorre uma mudança na flora, fauna e solo de um estado original para outro estado alterado. O estado alterado pode ser temporário e um novo estado final pode ser alcançado, que pode ser menor, igual ou superior, em termos de qualidade do estado inicial.

Ocupação do solo: refere-se ao impacto que produz sobre a flora, a fauna, o solo e a superfície do solo para a produção de um produto, em uma área específica de intervenção.

Como se observa na Tabela 22, a criação de áreas de cultivo de óleo de palma é incrementada nos últimos anos, com cerca de 9.357 ha, que ocupou uma porcentagem de área de 62% no ano de 2018 para o *Elaeis Guineensis*, e 38% para o Híbrido Interespecífico. Para o híbrido, a mudança do uso da terra do cultivo do arroz para a palma foi de 37,8%, e para pastos foi de 36,4%. Para o *Elaeis Guineensis*, a mudança no cultivo do arroz foi de 40,8% e para os matos foi quase igual, perto dos 40,4%. Com os dados da Tabela 22 e o produto da distribuição do uso da terra para cada cultura, procedeu-se a calcular as toneladas de carbono inicial para cada cultivo, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23. Mudança do uso do solo e estoque de carbono para os genótipos estudados

Uso do solo	Híbrido Interespecífico OxG (t C/ha)	<i>Elaeis Guineensis</i> (t C/ha)
Arroz	12,50	13,50
Palma do dendê	33,36	24,20
Pastos	27,27	30,32
Total	73,1	68

4.1.7.1. Coleta de dados do carbono armazenado

A coleta de dados se desenvolveu nos meses de novembro dezembro na empresa Guaicaramo, a qual tem os dois genótipos estudados na presente dissertação. Em geral, para a determinação do carbono armazenado na biomassa em pé das palmas *Elaeis Guineensis* e híbrido interespecífico OxG, tomaram-se medidas vegetativas de cultivos de semeaduras de 1998, 2005, 2011, o que quer dizer palmas de idades de 22 anos, de 15 e 9 anos, respectivamente, com a finalidade de ver se existem diferenças pelas idades. Para o potencial de captura de carbono, utilizaram-se as formulações e cálculos de captura de carbono segundo CASTILLA (2004), e também se analisou a informação base de ciclos de carbono e nitrogênio em plantações de palma do óleo de dendê, chaves para a produtividade e a sustentabilidade (NELSON *et al.*, 2016).

Posteriormente, procedeu-se o cálculo das toneladas de CO₂ por hectare, de acordo com os conteúdos do peso molecular do carbono (12) e do CO₂ (44), dados fornecidos pelo IDEAM Colômbia 2018, para assim se chegar ao valor de quilogramas de CO₂ equivalentes por toneladas

de cachos de fruta fresca iniciais e finais para cada cultivo e para cada genótipo, como observa-se na Tabela 24.

Tabela 24. Balanço do carbono Stock Inicial e final para os genótipos *Elaeis Guineensis* e Híbrido interespecífico OxG.

	t C/ha	t CO ₂ /ha	t CO ₂ /ha.ano	Kg CO ₂ /t RFF	
Estoque de Carbono Inicial Híbrido	73,1	268,2	8,94	292,64	O que é emitido
Estoque de Carbono Inicial <i>Guineensis</i>	68	249,5	9,98	397,86	O armazenamento
Estoque de Carbono Final Híbrido	116	426,8	14,23	465,75	
Estoque de Carbono Final <i>Guineensis</i>	129	473	18,92	754,38	
		MUS Neto Híbrido	-5,29	-173,11	
		MUS Neto <i>Guineensis</i>	-8,94	-356,53	

Dentro dos objetivos específicos dessa dissertação, foi determinada a quantidade de matéria orgânica seca por hectare (kg / ha), para cultivos de *guineensis* e híbridas, bem como foi estabelecida uma faixa percentual de matéria seca para folhas e coleto, para os dois cultivos.

Dessa forma, foram coletados dados em plantações de palmas com especificações muito pontuais, analisou se dois cultivos de referência da empresa (*Guineensis* e Híbrido). Analisou-se que possuíam faixa de idade diferentes, sendo uma palma adulta, com condição fisiológica aceitável (produção, manutenção). Os lotes onde foram coletados os dados e as amostras apresentavam as características que seguem na Tabela 25:

Tabela 25 Lotes do dendê escolhidos para amostragem

Fecha de Muestreo	Nome do Lote do plantio	Ano de semeado	Cultivar
04/12/2019	Bloque 332 - P 18	2011	Híbrido
05/12/2019	Bloque 327 – P 2,3	2005	Híbrido , <i>Guineensis</i>
10/12/2019	Bloque 90 – P 15	1998	Híbrido
13/12/2019	Bloque 11 –P 22, 27	1997, 1998	<i>Guineensis</i> , Híbrido

Para determinar os indicadores das medidas vegetativas das palmas de *E. Guineensis* e Híbrido Interespecífico, se registraram em campo as seguintes variáveis.

- ☐ Perímetro da planta da palma (4 pontos referenciados);
- ☐ Altura da palma;
- ☐ Número de folhas;
- ☐ Número de folíolos;
- ☐ Comprimento da lâmina; e
- ☐ largura da folha.

Para as amostras de coleteo em cada palma, foi utilizada uma ferramenta de metal (tubo), com diâmetro de 15 mm, de forma a obter uma figura cilíndrica, ideal para a coleta de dados (Anexo Registro Fotográfico). Isso foi introduzido no coleteo da palma, de aproximadamente 4 a 5 centímetros, a um ângulo de 45°. Anteriormente, o talho da palma era "limpa" ao redor do coleteo, para que o elemento tivesse acesso fácil. Posteriormente, esses dados foram tabulados usando um sistema estatístico e determinou-se um peso ou cobertura por hectare de matéria seca por palma ou por hectare. Para as amostras de coleteo, estas foram acondicionadas em uma bolsa hermética especializada, rotuladas e levadas para um laboratório onde foram obtidos:

- Diâmetro;
- Comprimento;
- Peso fresco (inicial); e
- Peso seco.

As amostras foram depositadas em um forno, a uma temperatura de aproximadamente 600°C; elas se deixaram por 24 horas, e o peso seco foi retirado.

Na Figura 56, apresenta-se o registro fotográfico das palmas do dendê escolhidas para as amostragens das medidas vegetativas e para a determinação de matéria seca.



Figura 56. Fotografia palmas do dendê semeadas ano 2001, 11 anos de idade, à esquerda híbrido interespecífico OxG, à direita *Elaeis Guineensis* Jaq. (Fonte: Autor)



Figura 57. Fotografia palmas do dendê semeadas ano 2005, 15 anos de idade, à esquerda híbrido interespecífico OxG, à direita *Elaeis Guineensis* Jaq. (Fonte: Autor)



Figura 58. Fotografia palmas do dendê semeadas ano 1998, 22 anos de idade, à esquerda híbrido interespecífico OxG, à direita *Elaeis Guineensis* Jaq. (Fonte: Autor)

Posteriormente, de acordo com as metodologias de Cenipalma para a determinação das medidas vegetativas, procedeu-se a tomar as medidas nas palmas anteriormente apresentadas (CENIPALMA, 2006).



Figura 59. Descrição da metodologia para determinação de medidas vegetativas no *Elaeis Guineensis* e no Híbrido Interespecífico (CENIPALMA, 2006)

Posteriormente ao processo apresentado na Figura 59 as amostras secas foram levadas ao laboratório para análise do teor de carbono, nitrogênio e hidrogênio (na Tabela 28, pode-se apreciar que tanto o coleto como as folhas da *Elaeis Guineensis* deram maiores teores de C, H e N, com diferenças no teor de carbono do coleto de 1,15%, e na folha uma diferença de 0,79% de carbono. Essas análises foram desenvolvidas num laboratório do Instituto Colombiano de Óleo (ICP), segundo o padrão ASTM D5291. Depois de analisar os teores de Carbono (C), Hidrogênio (H) e Nitrogênio (N) das amostras, procedeu-se ao cálculo do estoque de carbono que contém os coletos

e as folhas de cada genótipo. A Tabela 26 e a Tabela 27 apresentam as medidas vegetativas que se analisaram em campo dos coletos, e as folhas das palmas selecionadas e nas Figura 60 e Figura 61 se apresentam os resultados de matéria seca, como também os conteúdos de carbono para cada palma.

Tabela 26. Medidas vegetativas do estípite nas palmas *Elaeis guineensis* Jaq vs Híbrido interespecífico OxG.

Material	Ano de semeadura	Idade (anos)	Perímetro (m)	Volume (m ³)	Densidade (g/cm ³)	Peso Seco (kg/palma)	Peso Seco (t/há)
G	2005	14	2,99	2,8	0,25	703	101
G	1998	21	2,33	3,0	0,30	876	125
H	2011	8	3,14	1,3	0,41	516	74
H	2005	14	3,47	2,0	0,31	630	90
H	1998	21	2,93	2,2	0,38	825	118
H	1998	21	3,05	2,6	0,25	659	94

G: *Elaeis Guineensis* H: Híbrido Interespecífico OxG

Tabela 27. Peso seco folhas nas palmas *Elaeis guineensis* Jaq vs Híbrido interespecífico OxG.

Material	Ano de semeadura	%Umidade	Peso Seco Folha (kg)	Nº Folhas	Peso Seco dossel kg/palma	Peso Seco (t/há)
G	1998	0,75	4,08	34	138,72	19,42
H	2011	0,70	3,73	41	152,93	17,74
H	1998	0,71	4,94	39	192,66	22,35
H	1998	0,75	3,87	35	135,45	15,71

G: *Elaeis Guineensis* H: Híbrido Interespecífico OxG

Tabela 28. Teor de Biomassa em pé acima da terra das palmas *Elaeis guineensis* e Híbrido interespecífico OxG.

Variedade de Palma	Amostra	% Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
Híbrido Interespecífico OxG	Folha	33,543	6,292	0,51
	Estípite	39,435	6,423	0,94
<i>Elaeis guineensis</i> Jaq.	Folha	34,333	6,370	0,57
	Estípite	40,585	6,133	0,27

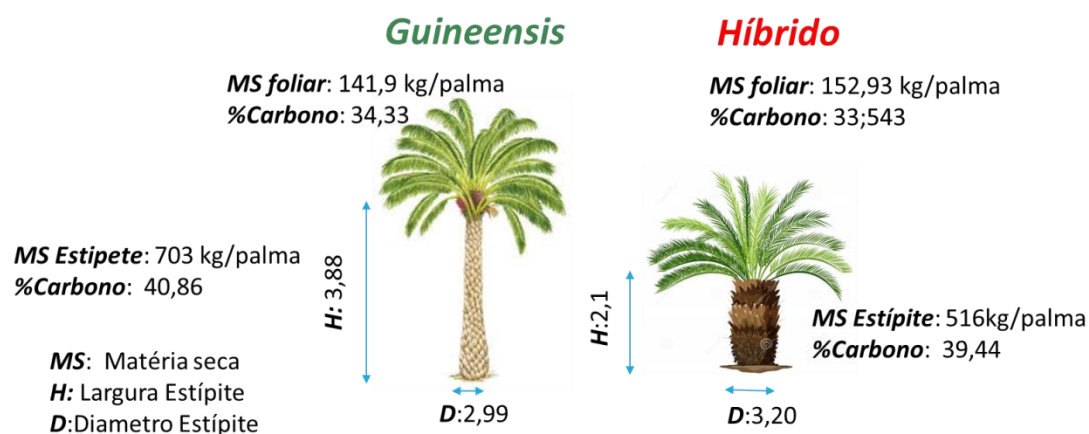


Figura 60. Representação das medidas vegetativas e determinação de teor de carbono nas palmas de 15 anos de idade. Semeadura 2005

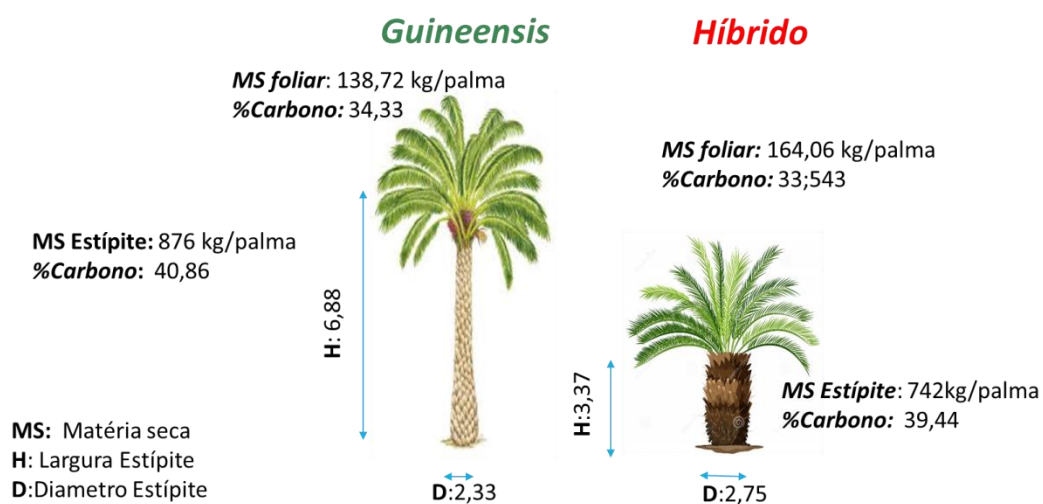


Figura 61. Representação das medidas vegetativas e determinação de teor de carbono nas palmas de 22 anos de idade. Semeadura 1998

O peso seco, ou matéria seca, da palma é representado nas Figura 60 e Figura 61 como MS, e o carbono da biomassa em pé da palma é determinado pela seguinte equação 7:

$$\frac{\text{Volumen seco do estípete}}{\text{palma}} (m^3) = \pi r^2 \text{Largura}_{\text{Estípete}} * (1 - \% \text{Umidade}) \quad (7)$$

$$MS_{Estipete} \left(\frac{kg}{Palma} \right) = \frac{Volumen\ seco\ do\ estipete}{palma} (\frac{m^3}{m^3}) * Densidade \frac{t}{m^3} * 1000 \frac{kg}{t} \quad (8)$$

Posteriormente:

Para o Guineensis

$$MS_{Estipete\ Guineensi} \left(\frac{t}{ha} \right) = MS_{Estipete} \left(\frac{kg}{Palma} \right) * \frac{143\ Palmas}{ha} * \frac{1\ t}{1000\ kg} \quad (9)$$

E para o Híbrido:

$$MS_{Estipete\ Híbrido} \left(\frac{t}{ha} \right) = MS_{Estipete} \left(\frac{kg}{Palma} \right) * \frac{116\ Palmas}{ha} * \frac{1\ t}{1000\ kg} \quad (10)$$

Os resultados dos cálculos se apresentam na Tabela 29.

Tabela 29. Resultados de estoque de carbono na palma em pé na variedade Elaeis Guineensis vs Híbrido interespecífico OxG.

Ano de Semeadura	Idade da palma	Variedade	Componente da Palma	t/ha	%C	t C/ha	t C/ha total
2005	15 anos	Elaeis	Estúpite	101	40,58	41,0	48
		Guineensis	Folha	19,78	34,33	6,8	
		Híbrido	Estúpite	90	37,44	33,7	40
		Interespecífico	Folha	17,74	33,54	5,9	
1998	22 anos	Elaeis	Estúpite	125	40,58	50,7	58
		Guineensis	Folha	19,42	34,33	6,7	
		Híbrido	Estúpite	106	37,44	39,7	46
		Interespecífico	Folha	19,03	33,54	6,4	
Diferença nas palmas de 2005							16,7%
Diferença nas palmas de 1998							20,7%

C=Carbono

Os dados da Tabela 29 permitem observar as diferenças no estoque de carbono da palma Híbrido Interespecífico OxG para a palma Guineensis. Para o Híbrido se tem uma biomassa aérea (no coleto e as folhas) de 40 toneladas de carbono para palmas de 15 anos, e 46 toneladas de carbono para palmas de 22 anos, dados que estão abaixo dos teores de carbono em estoque de carbono de

biomassa aérea encontradas. As palmas *Elaeis Guineensis* apresentam valores de 48 toneladas de carbono para palmas de 15 anos, e para palmas adultas de 22 anos, 58 toneladas de carbono por hectare. O que quer dizer que as diferenças do híbrido com referência ao *Elaeis Guineensis* no estoque de carbono na biomassa aérea é de 16,7% em palmas de 15 anos, e que tem um acréscimo de 21% para palmas adultas de 22 anos. O valor de 58 toneladas de carbono por hectare na biomassa aérea é um valor perto de 60 t C/ha encontrados por pesquisadores anteriores (CASTANHEIRA; ACEVEDO; FREIRE, 2014), o que permite enxergar que a metodologia implementada se ajusta aos valores anteriormente encontrados.

Segundo Castanheira; Acevedo; Freire (2014) e Henson; Ruiz Romero; Romero (2012a), o teor de estoque de carbono na cultura de palma se distribui na biomassa aérea e na biomassa embaixo da terra, nas raízes, com valores de 60 t C/ha na biomassa aérea, e 69 tC/ha na biomassa embaixo da terra. Infelizmente, para essa pesquisa de campo, não foi possível fazer testes do teor de carbono nas raízes, então não foi possível determinar a diferença nesse item entre o Híbrido e o *Guineensis*. Tentou-se encontrar um método de estimativa da quantidade de raízes para o híbrido interespecífico, mas não foi possível encontrar resultados de pesquisas, já que o híbrido interespecífico é uma cultura que se tem explorado há 10 anos a nível industrial, já que a catástrofe na Colômbia com a problemática da AF foi no ano 2006, e a partir do ano 2008 se iniciaram as novas semeaduras de Híbrido interespecífico a nível industrial na região sudoeste da Colômbia, e o Centro da Pesquisa da Colombia (Cenipalma) tem focado todos os esforços para aumentar a produção de CFF e de teor de óleo no dendê híbrido, mas a fisiologia das raízes não tem sido de interesse ainda para os pesquisadores. Por isso, para o presente estudo, assumiu-se que o teor de carbono nas raízes é igual tanto para o Híbrido como para o *Guineensis*. Encontrou-se um único trabalho de avaliação das raízes dos híbridos interespecíficos em viveiros por VALBUENA et al (2018), mas não é aplicável a palmas de 15 e 22 anos, como são as palmas avaliadas nesta pesquisa. Para uma melhor ilustração de como fica o teor de estoque de carbono para palmas adultas, pode-se observar a Figura 62.

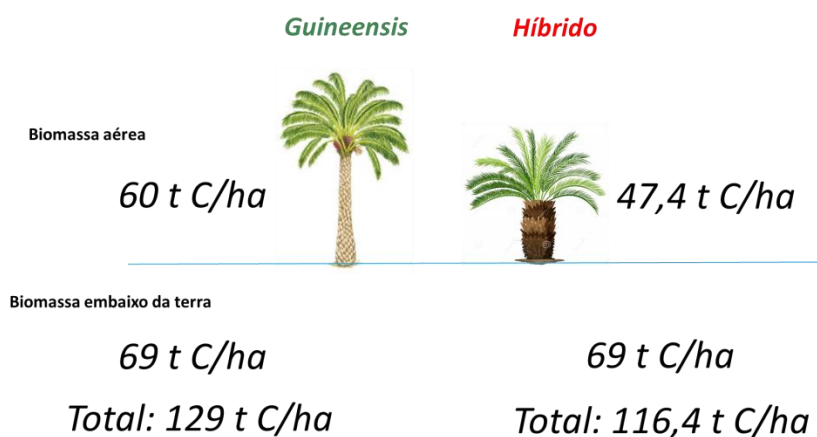


Figura 62. Teor de estoque de carbono na palma *Elaeis Guineensis* Jaq e no Híbrido Interespecífico

4.1.1. Emissões de poluentes gasosos

Na Tabela 30, as emissões para a atmosfera causadas pela fertilização são listadas. As emissões de amônia foram calculadas colocando os fatores de emissão do modelo Agrammon. Para a área, as emissões de NH_3 representam 15% do total de nitrogênio aplicado e o modelo prevê que outros fertilizantes minerais só irão emitir 2% do nitrogênio total. Estima-se que 80% do total de nitrogênio amoniacal (TAN) seja emitido como NH_3 . As emissões de N_2O e NO_x foram modeladas usando fatores de emissão do (IAFC, 2019).

Tabela 30. Emissões para a atmosfera pela aplicação de fertilizantes (CUE, 2012)

Emissões ao ar	unidades	E001	E002	E003	N001	N002	N003	N004	C001	C002	C003
Nh3-N	Kg/Kg CFF	6,34E-04	6,31E-04	1,91E-04	2,00E-04	2,80E-04	1,09E-04	8,42E-05	1,07E-04	6,30E-05	1,00E-04
N ₂ O	Kg/Kg CFF	6,97E-04	9,55E-05	3,21E-04	1,41E-04	1,61E-04	6,74E-05	7,29E-05	1,34E-04	8,58E-05	8,74E-05
No _x	Kg/Kg CFF	1,46E-04	2,00E-05	6,75E-06	2,96E-05	3,39E-05	1,42E-05	1,53E-05	2,80E-05	1,80E-05	1,84E-05

4.1.1. Transporte

Na etapa de transporte, o CFF do *Guineensis* consumiu maior quantidade de combustível do que o híbrido, pois nas investigações realizadas no Cenipalma foi encontrada uma diferença de até 8% na densidade. Com o exposto, definiu-se que o CFF do híbrido é menos pesado que o CFF do *Guineensis*, concluindo que para transportar a mesma quantidade de CFF é necessário um maior número de viagens de transporte do campo para a planta (NIETO, Diego Ignacio, 2013).

4.2. Produção de azeite de palma variedade *Guineensis*

Para uma melhor apresentação dos dados coletados na pesquisa de campo, na Figura 63 se desenharam os dados de entrada e saída dos processo para as fases de agricultura e da extração de óleo de azeite de palma *Elaeis Guineensis*. O balanço total é apresentado para todas as unidades com referência a 1000 kg de óleo cru de palma(OCD), no qual pode se observar que para a cultura *Guineensis* se fornecem 1229.88 kg/ton OCD de fertilizantes químicos, 95.61 kg/ton OCD em fertilizantes orgânicos, no agroquímicos foi determinada uma quantidade de 6.4 kg/ton OCD. O Cultivar *Guineensis* precisa de 21934 m³ de água para produz 1 ton. de óleo de palma, e consome 63.4 lt de diesel fóssil no cultivar pela mesma tonelada de óleo.

Para produz os 1000 kg de Óleo é necessária 4367 kg de cachos de fruta fresca e uma demanda de energia de 130.98 kw/ton OCD. Para a usina são fornecidos 0.39 kg de Diesel fóssil para as ligações, e para o processo de extração precisa se de 4450 kg água cada Ton de óleo. Dos subprodutos pode se falar que tem uma produção de 1730.64 kg ao produzir uma tonelada de óleo.

4.3. Produção de azeite de palma variedade Híbrido

Para uma melhor apresentação dos dados coletados na pesquisa de campo, na Figura 64 se desenharam os dados de entrada e processo para as fases de agricultura e da extração de óleo de azeite de palma *Híbrido interespecífico E.O. x E.G.* O balanço total é apresentado para todas as unidades com referência a 1000 kg de óleo cru de palma(OCD), no qual pode se observar que para a cultura híbrido se fornecem 1335 kg/ton OCD de fertilizantes químicos 9% a mais que no *Guineensis*, 110.71 kg/ton OCD em fertilizantes orgânicos 16% a mais que o guineense, no agroquímicos foi determinada uma quantidade de 4,65 kg/ton OCD 27 a menos que no guineenses.

O Cultivar Híbrido precisa de 20853 m³ de água para produzir 1 ton. de óleo de palma no cultivo 5% menos que no guineenses, e consome 53,507 lt pela mesma tonelada de óleo.

Para produzir os 1000 kg de Óleo é necessária 5056 kg de cachos de fruta fresca 16% a mais que no guineenses, e uma demanda de energia de 169,36 kw/ton OCD 29% a mais que o guineenses. Para a usina são fornecidos 0.48 kg/ton OCD de Diesel fóssil para as ligações das operações 25% a mais que no guineenses, e para o processo de extração precisa-se de 6319 kg água cada Ton de óleo 42% a mais que no guineenses. Dos subprodutos pode-se falar que tem uma produção de 1898,62 kg ao produzir uma tonelada de óleo 10% a mais que no guineenses.

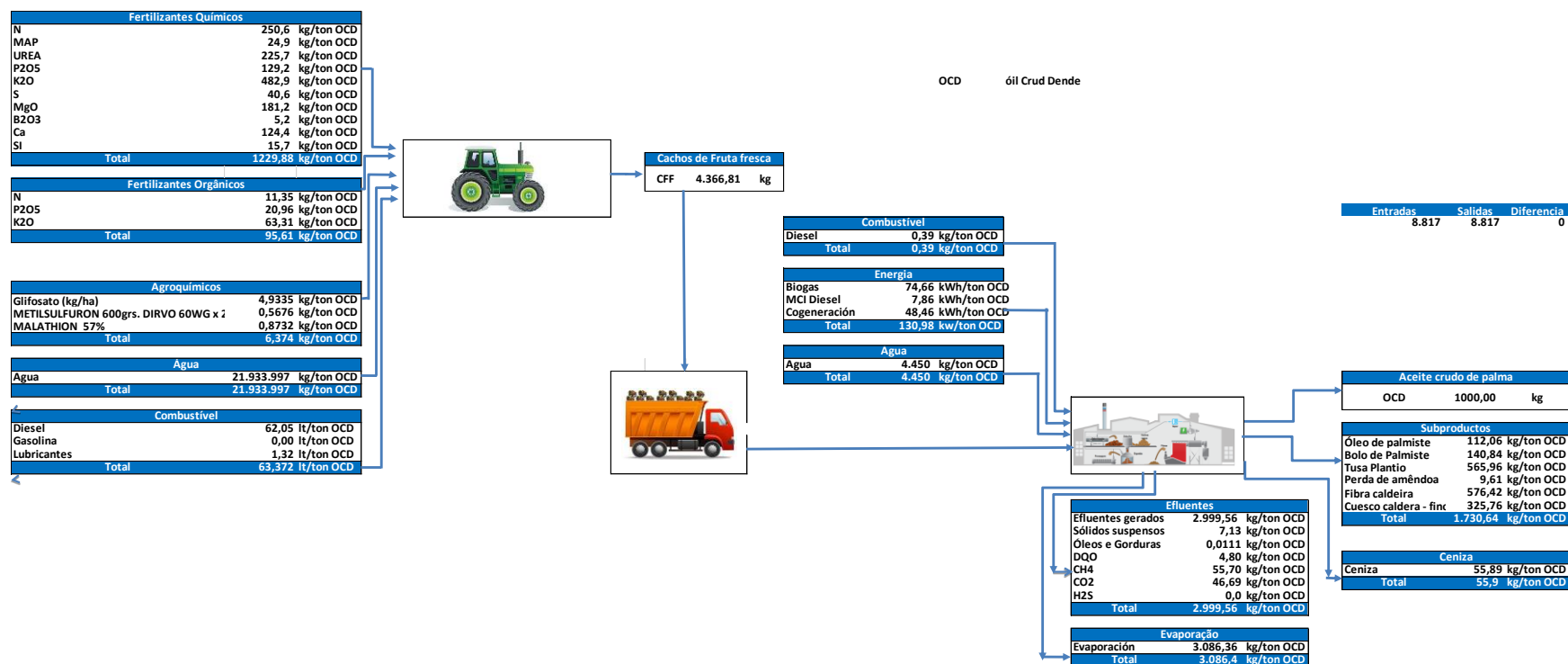


Figura 63 – Resumo do balanço de inventário no campo e usina de extração para a produção de 1 tonelada de azeite de palma *Elaeis Guineensis*

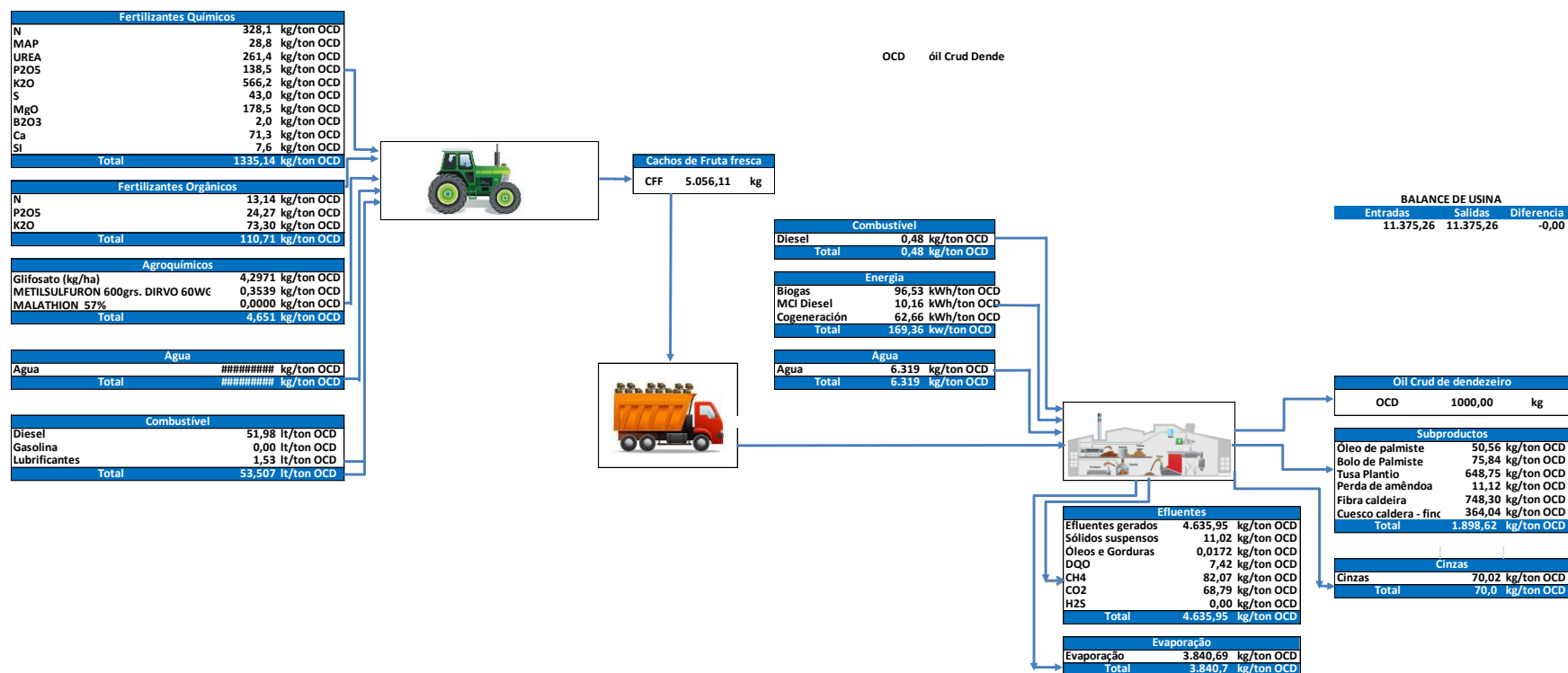


Figura 64 - Resumo do balanço do inventario no campo e usina de extração para a produção de 1 tonelada de azeite de palma do *Híbrido Interespecífico E.O. x E.G.*

4.4. Extração de azeite de palma

4.4.1. Usina de Extração do Óleo

Estudos anteriores, especificamente feitos nas usinas para comparar o processamento de CFF E. Guineensis vs Híbrido Interespecífico E.O.x E.G. mostram também os dados obtidos a partir dos balanços materiais em um estudo experimental sobre o processo de extração de palma de azeite, onde há diferenças marcantes na redução da capacidade de processamento e de extração da usina na faixa de 8 a 12% (NIETO, Diego; YAÑEZ; GARCÍA, 2011), quando se passa do processamento guineenses ao processamento híbrido. Também chega à conclusão de que leva mais tempo, e portanto, mais energia para processar o mesmo CFF, quando se compara o processamento de Guineensis vs o híbrido. Para esse caso, foram elaborados os balanços de massa e energia, analisando muito especificamente como o potencial de aquecimento global é maior que o encontrado da referência do CO₂ (IAFC, 2019).

Para definir os indicadores utilizados para a ACV, a seguir se apresentam os resultados da pesquisa de campo na usina de extração de óleo, passando pelos principais pontos de produção e consumos energéticos.

- **Processamento de Cachos de Fruta Fresca**

A usina da empresa onde foi feita a pesquisa de campo tem uma capacidade de processamento de 70 t CFF/hora, uma linha de produção para o E. Guineensis de 35 t CFF/hora e outra nova linha de produção de 40 t CFF/hora para o Híbrido Interespecífico. Com essa capacidade, a usina conseguiu processar 104.378 t CFF/ano de híbrido interespecífico E.O. x E.G. e 148.288 t CFF/ano de E. Guineensis. O comportamento desse processamento na usina apresenta-se na Figura 65, da qual pode-se observar que o híbrido tem maior estabilidade na produção que o E. Guineensis, com uma curva mais plana.

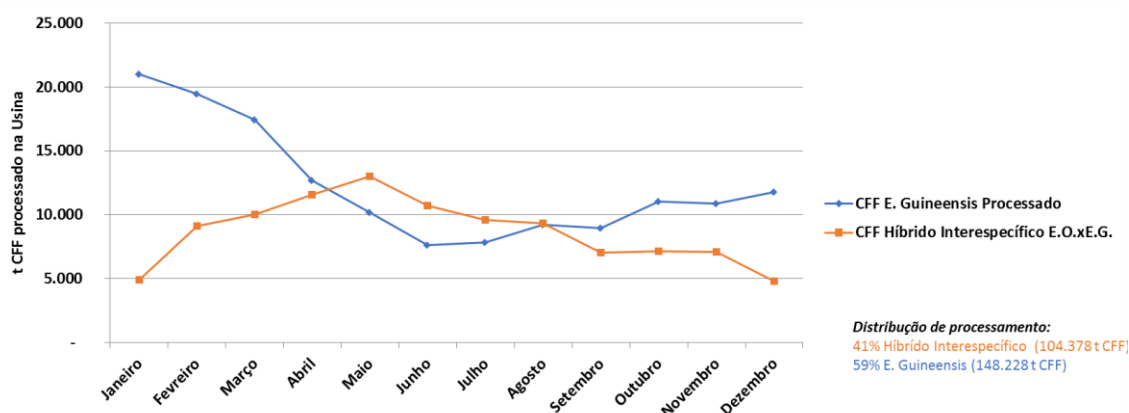


Figura 65. Cachos de Fruta Fresca, processados na Usina de Extração para o ano 2018

• Produção de azeite de palma na usina

O indicador mais importante é a produção de óleo de palma, apresentado como taxa de extração de óleo (%TEO), que é a relação entre o óleo produzido pelos CFF processados. A Figura 66 apresenta o comportamento da %TEO do Guineensis, como também apresenta para o Híbrido interspecífico E.O. x E.G., assim como o %TEO ponderado para a usina. Observa-se que a %TEO do E. Guineensis sempre é superior à do Híbrido, encontrando que para o ano 2018, a média para o E. Guineensis foi de 22,9%, com uma diferença de 3,11 pontos percentuais acima do híbrido, que apresentou 19,79%.

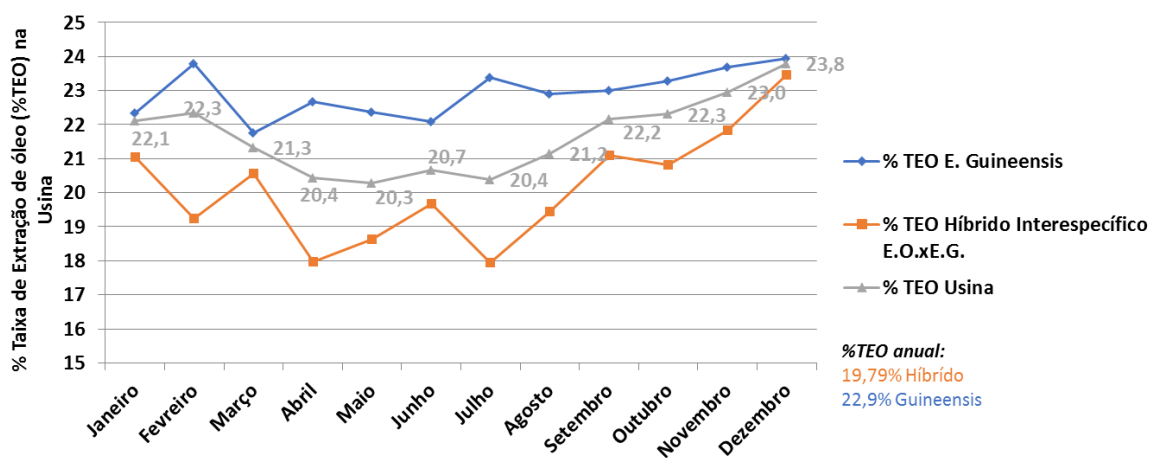


Figura 66. Comportamento da Taxa de extração de óleo (%TEO) de palma na usina, para o E. Guineensis e o Híbrido Interspecífico E.O.xE.G. para o ano 2018.

• Produção de amêndoa

Outros dos indicadores importantes na produção das usinas de extração e os indicadores que se utilizaram para a ACV, é a extração de amêndoa. Na Figura 67 apresenta o comportamento para o ano de 2018 da extração de óleo de palmiste por uma tonelada de CFF e um comparativo com a extração de amêndoa por tonelada do CFF, observando-se que essa última tem um comportamento entre 2,64 até 4,29%, o anterior é devido ao processamento misturado entre o genótipo Guineensis e do genótipo híbrido, já que o híbrido tem menor teor de amêndoa e de óleo de palmiste que o Guineensis. Numa usina normal, o teor de óleo de palmiste por tonelada de CFF é da ordem de 2%, mas nessa usina tem-se um máximo 1,33% de teor de óleo por CFF. Por outro lado, o teor de torta de palmiste na amêndoa é da ordem de 48 até 63%, como se observa na Figura 68.

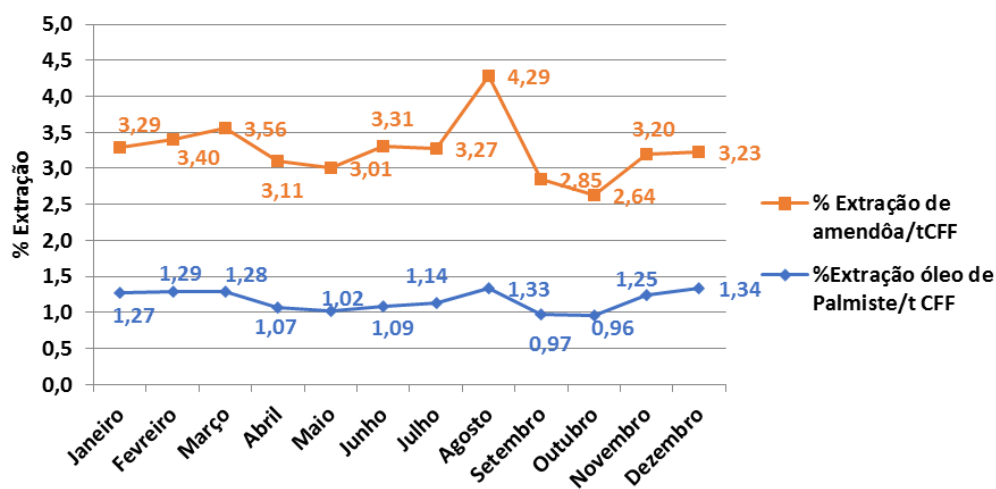


Figura 67. Comportamento da extração de óleo de palmiste e da amêndoa na usina para o ano 2018.

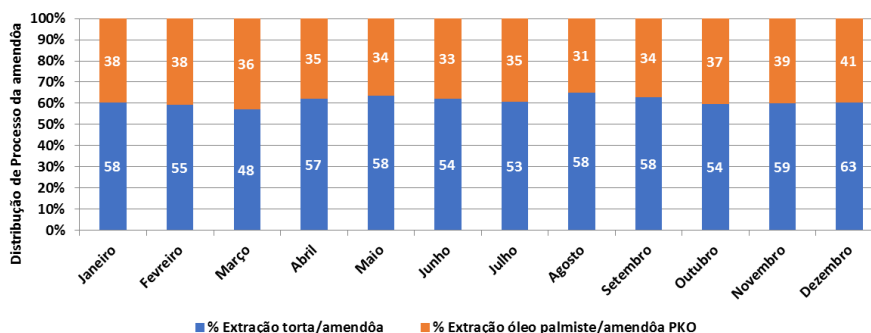


Figura 68. Comportamento da distribuição da extração de óleo de palmiste e torta de palmiste para o ano 2018.

- **Consumo de Combustíveis**

O consumo de combustíveis foi analisado para o ano de 2018, encontrando-se uma relação direta entre o consumo de ACPM e de CFF processados. Na Figura 69 apresenta-se os galões consumidos mês a mês, que estão numa faixa de 2000 até 40.000 litros de ACPM por mês, e indicadores de consumo de 0,04 até 0,9 litros por toneladas de CFF processados.

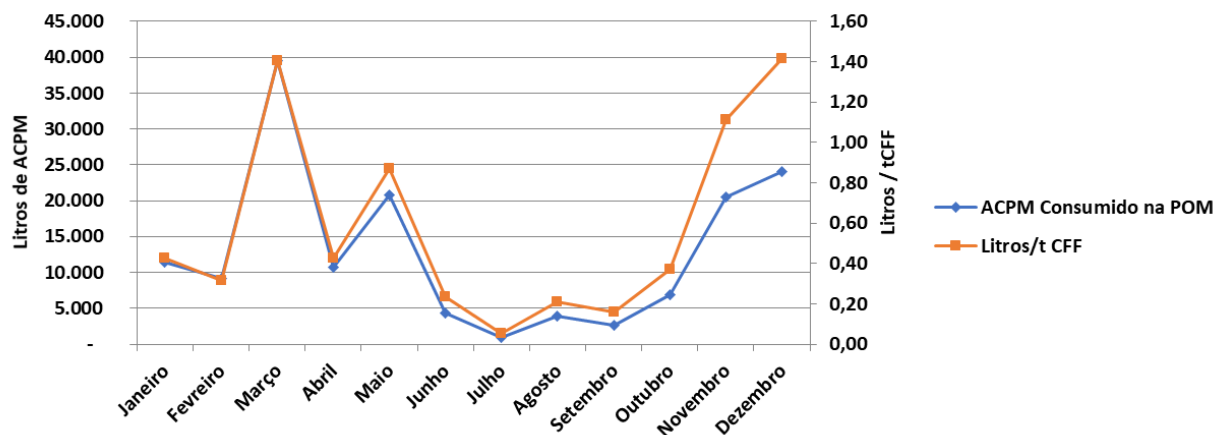


Figura 69. Indicadores de consumo de combustíveis em galões e sua relação ao processamento de CFF para o ano 2018.

- **Consumo de água na usina**

Para essa usina de extração de óleo, encontra-se valores coerentes de consumo de água para a POM, com valores que estão numa faixa de 0,92 até 1,32 m³ por tonelada de cachos de fruta fresca processada (Figura 70).

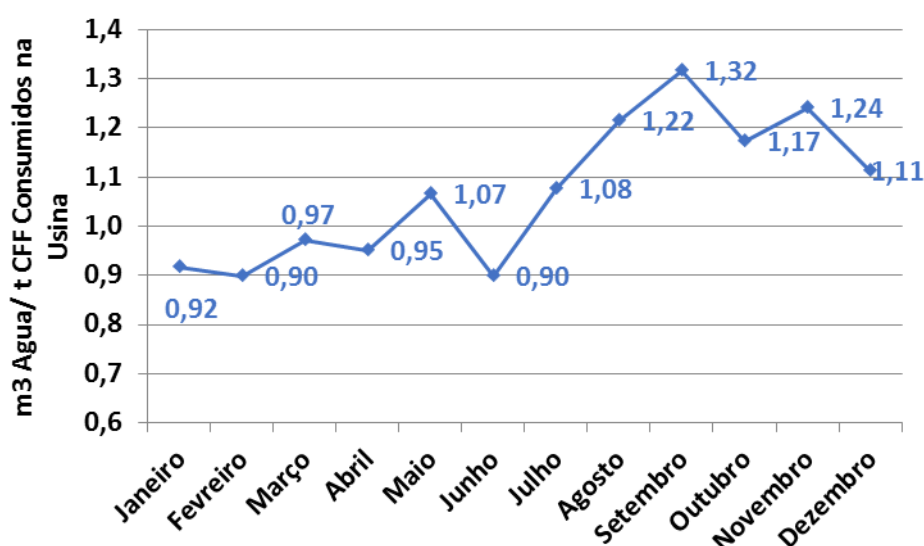


Figura 70. Consumo de água em m³ da usina de extração de óleo de palma para o ano 2018.

• Geração da Energia na Usina

Na usina onde foi feita a pesquisa do campo, no ano de 2018, geraram-se um total de 7.613.129 kWh, dos quais aproximadamente geraram-se 4.303.609 kWh num motor a gás de marca *Jenbacher* a partir do biogás, por outra fonte foram gerados 2.835.032 kWh a partir do vapor numa turbina *Dresser-Ram*, e por último, foram gerados 474.488 kWh num motor de combustão interna de marca *Caterpillar C27* que consome diesel para a geração de energia. As especificações técnicas dos motores e turbinas encontram-se nos anexos desse documento. A usina pesquisada não tem energia da rede nacional, o que a obriga a ser autossustentável. Na Figura 71, apresenta o comportamento mês a mês, de cada uma das fontes de geração de energia para essa usina, observando que os kWh gerados a partir de biogás e do vapor, apresentando uma relação direta com as toneladas de CFF processados mês a mês, e que os kWh gerados na Caterpillar são muito baixo e estáveis mês a mês.

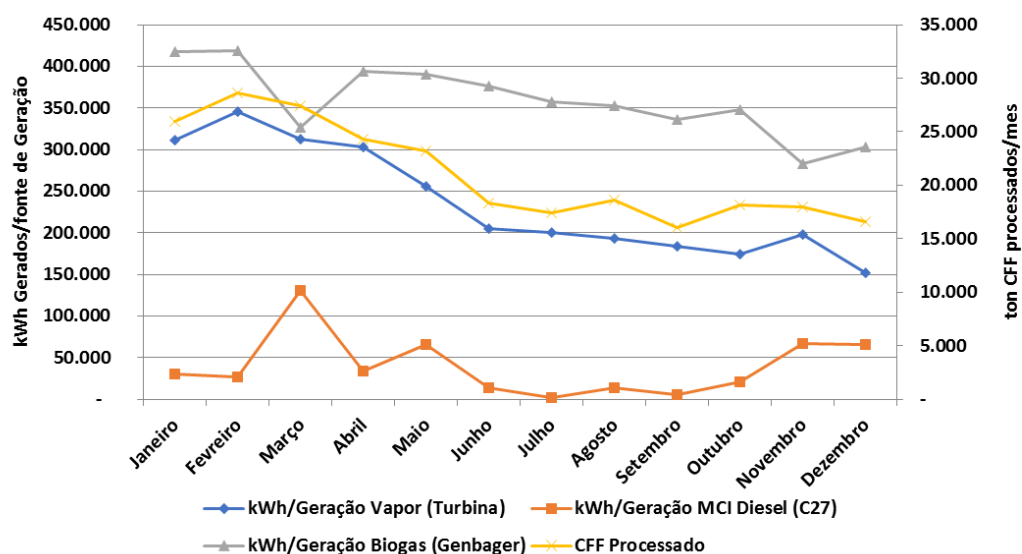


Figura 71. Comportamento da geração de energia elétrica na usina de extração para o ano 2018.

Adicionalmente ao apresentado na Figura 71, na Figura 72 observa-se a distribuição de consumo de energia da usina. 30.1 kWh/ t CFF são consumidos no total na média de todo o ano 2018, dos quais 57% são gerados com o biogás, o que representa 17 kWh/t CFF. Em segundo lugar, encontra-se a geração de vapor, com uma representação de 37%, que equivale a 11.2 kWh / t CFF, e por último, para quando a usina precisa dar início na produção ou fazer manutenção, utiliza-se um motor de combustão interna a diesel cuja geração representa 6%, equivalente a 1.9 kWh/t CFF.

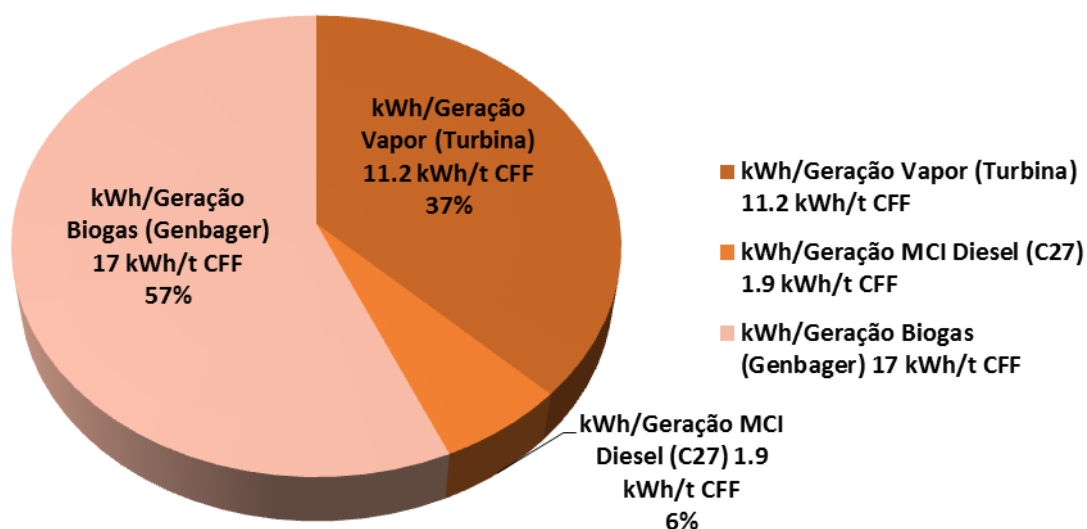


Figura 72. Distribuição de Geração da energia da Usina de extração do óleo para o ano 2018.

Consequentemente ao anterior, na Figura 73 analisou-se o comportamento de kWh mês a mês como indicador de consumo de kWh/t CFF, o qual tem variações na faixa de 27,66 até 32,84 kWh/t CFF, produto das mudanças de processamento entre o E. Guineensis e o Híbrido interespecífico E.O. x E. G.. Adicionalmente, como se falou anteriormente, existe uma relação direta no total dos kWh gerados e o processamento de CFF.

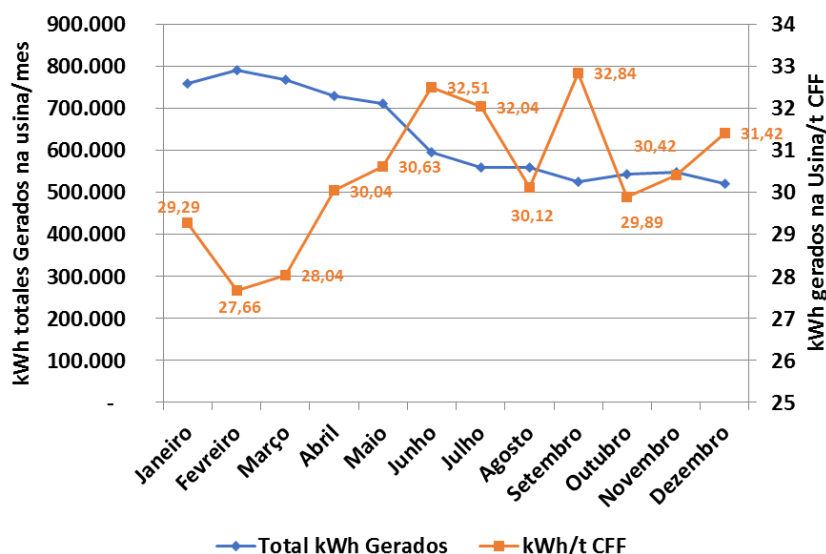


Figura 73. Comportamento da geração da energia elétrica total na usina versus o indicador de consumo de kWh/t CFF.

Por último, na geração de energia a partir do biogás, produto do afluente da usina POME, apresenta-se na Tabela 31 o comportamento da produção de m^3 do biogás nas lagoas consumidos no motor *Jenbacher* mês a mês, assim como os kWh gerados a partir desse biogás, encontrando valores médios de indicadores de consumo, como $0,53 \text{ m}^3$ de biogás por kWh gerados, o que significa que se geram 1,88 kWh por 1 m^3 de biogás. Observa-se que nessa máquina, é possível gerar energia com uma eficiência de consumo de $10,25 \text{ m}^3$ de biogás por cada tonelada de CFF processada.

Tabela 31. Geração de energia a partir do biogás, fluxos mensais e indicadores.

Mês	t CFF Processadas	m^3 Biogás	kWh Gerados	m^3 Biogás/kWh	kWh Gerado/ m^3	m^3 Biogás /t CFF	kWh/t CFF
Janeiro	25.936	189.072	417.944	0,45	2,21	7,29	16,11
Fevereiro	28.597	252.893	418.530	0,45	2,21	6,61	14,64
Março	27.446	178.087	326.494	0,58	1,73	6,89	11,90
Abril	24.290	243.244	393.756	0,48	2,08	7,78	16,21
Mai	23.230	245.054	389.950	0,48	2,06	8,14	16,79
Junho	18.316	235.234	376.802	0,50	1,99	10,32	20,57
Julho	17.440	239.362	357.038	0,53	1,89	10,84	20,47
Agosto	18.574	249.630	352.241	0,54	1,86	10,18	18,96
Setembro	16.009	233.499	336.549	0,56	1,78	11,81	21,02
Outubro	18.192	232.080	347.916	0,54	1,84	10,39	19,13
Novembro	17.999	181.606	283.386	0,67	1,50	10,50	15,74
Dezembro	16.574	307.978	303.003	0,62	1,60	11,41	18,28
TOTAL	252.605	2.787.739	4.303.609				
Mediana				0,53	1,88	10,25	17,53

4.5. Produção de Biodiesel

Para o inventário do biodiesel, referenciou-se os valores obtidos da revisão bibliográfica, assim como do livro de sustentabilidade para a produção de biodiesel (LEE; OFORI-BOATENG, 2013). Ver numeral 2.5.2.

4.6. Inventário consolidado

Os dados do LCI para a etapa agrícola das duas espécies foram obtidos em uma empresa cujo nome será mantido em sigilo, localizada no município de Villanueva, estado de Casanare, Colômbia. O ciclo de vida econômica de uma plantação de palma *Elaeis guineensis* é de 25 anos e para híbrido Interspecífico (OxG) é de 30 anos, sendo posteriormente renovado com novas mudas de palmeira.

As principais entradas adotadas para esta etapa são mostradas na Tabela 32 O CFF é então transportado por estrada para uma usina extratora localizada a aproximadamente 50 km da plantação. A extração de óleo (Tabela 33) é realizada por processo mecânico, exigindo água, vapor e energia. No entanto, é fato que uma percentagem de fibra e casca (como especificado na seção 2.2.1) são queimadas para geração de energia (Tabela 34) e usadas para atender os requisitos energéticos do processo de extração. Assim, o inventário do ciclo de vida dessa etapa considerou apenas água e uma pequena quantidade de diesel como recursos materiais necessários para iniciar o processo. Antes do processo de conversão da transesterificação, o óleo vegetal deve atender às especificações de qualidade para garantir o desempenho da unidade industrial. Portanto, também foi considerada uma etapa de refino (

Tabela 35), incluindo o transporte de OCP por caminhão para uma instalação localizada no município de Facatativa, estado de Cundinamarca, a aproximadamente 200 km de distância. Ressalte-se que a usina de transesterificação encontra-se anexa a usina de refinação, as entradas para esta etapa são mostradas na Tabela 36, correspondendo a dados experimentais que incluem o uso de biodiesel, vapor, eletricidade e diesel.

Tabela 32. LCI do estágio de cultivo (por ha · ano).

Fase de Cultivo	<i>Elaeis guineensis</i>	Híbrido Interspecífico (OxG)	Unidade	Referências
<i>Entradas</i>				

Produtividade	25.08	30.55	kg	
N	143.85	162.83	kg	
P ₂ O ₅	74.31	68.79	kg	
K ₂ O	277.38	280.92	kg	
S	23.42	21.40	kg	
M _g O	104.02	88.43	kg	Pesquisa de campo
B ₂ O ₃	3.03	0.89	kg	
Ca	71.46	35.39	kg	
Glifosato	3.66	2.79	kg	
Diesel	3.10	2.73	L	
Gasolina	8.66 x 10 ⁻⁰³	5.40 x 10 ⁻⁰³	L	
Lubrificantes	1.66 x 10 ⁻⁰²	1.26 x 10 ⁻⁰²	L	

Tabela 33. LCI da etapa de extração de óleo (por t de óleo bruto).

Fase de Extração de óleo	<i>Elaeis guineensis</i>	<i>Híbrido Interespecífico (OxG)</i>	Unidade	Referências
<i>Entradas</i>				
CFF	4366.81	5056.11	kg	<i>Pesquisa</i>
Diesel para transporte CFF	35.48	46.01	kg	
Bioelectricidade	130.98	169.35	kWh	
Vapor	2245.4	2831	kg	<i>De campo</i>
<i>Saídas</i>				
OCP	1,000	1,000	kg	<i>Pesquisa de Campo</i>
CPKO	117	50	kg	
PKC	147	0.076	kg	
EFB	959	1.054	kg	
Fibra	600	759	kg	
Cascas	339	364	kg	
Óleo Extraído	22	19.78	%	
<i>Emissões para o ar e a água</i>				
CO ₂	132	152.84	g	

CO	62.3	72.14	<i>g</i>
NOx	4.82×10^{-1}	5.58×10^{-1}	<i>g</i>
SOx	1.87×10^{-1}	2.16×10^{-1}	<i>g</i>
Material particulado	2.38×10^{-1}	2.75×10^{-1}	<i>g</i>

Tabela 34. LCI do sistema de cogeração (por 1 kWh produzido).

Sistema de cogeração	<i>Elaeis guineensis</i>	<i>Híbrido Interespecífico (OxG)</i>	Unidade	Referências
<i>Entradas</i>				
Fibra	1.05	1.15	<i>kg</i>	
Casca	0.40	0.56	<i>kg</i>	
Consumo de água para Caldeira		6.94	<i>kg</i>	<i>Cálculos</i>
Bioeletricidade para bombeamento de água		0.01	<i>kWh</i>	<i>Feitos pelo autor</i>
<i>Saídas</i>				
Bioeletricidade		1	<i>kWh</i>	<i>Cálculos</i>
Vapor (3.5 bar, saturado)		6.94	<i>kg</i>	<i>Feitos pelo autor</i>
<i>Emissões para o ar</i>				
CO	34.41	40.58	<i>g</i>	
NOx	3.91	4.61	<i>g</i>	
SOx	0.12	0.14	<i>g</i>	
Material particulado	8.42	9.93	<i>g</i>	
Carbono orgânico total (TOC)	0.31	0.36	<i>g</i>	

Tabela 35. LCI do estágio de refino de óleo (por t de óleo refinado)

		Híbrido	Referências
Estágio de refino de óleo	<i>Elaeis guineensis e</i>	<i>Interespecífico</i> (OxG)	Unidade
<i>Entradas</i>			
OCP	0.984		<i>kg</i>
Água de Processo	0.105		<i>kg</i>
Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)	5.08 x 10 ⁻⁴		<i>kg</i>
Terra branqueada	9.15 x 10 ⁻³		<i>kg</i>
Diesel para transporte OCP	68.21		<i>kg</i>
Eletricidade	94.76		<i>kWh</i>
Vapor (3.5 bar, 310 °C)	0.981		<i>kg</i>
<i>Saídas</i>			
RBD	1,000		<i>kg</i>
PFAD	0.123		<i>kg</i>
Terra branqueada gasta	8.25 x 10 ⁻³		<i>kg</i>
<i>Emissões para o ar e a água</i>			
CO ₂	165		<i>g</i>
CO	85.6		<i>g</i>
NO _x	4.11 x 10 ⁻¹		<i>g</i>
SO _x	1.84 x 10 ⁻¹		<i>g</i>
Material Particulado	1.62 x 10 ⁻¹		<i>g</i>

Tabela 36. LCI do estágio de transesterificação de óleo (por t de biodiesel)

Estágio de transesterificação de óleo	<i>Elaeis guineensis</i>	<i>Híbrido Interespecífico (OxG)</i>	Unidade	Referências
<i>Entradas</i>				
RBD		0.999	kg	Pesquisa de Campo
Água de processo		0.149	kg	
Ácido clorídrico (HCL)		3.4 x 10 ⁻²	kg	
NaOH		8.63 x 10 ⁻³	kg	
Metanol (CH ₃ OH)		9.4 x 10 ⁻²	kg	
Eletricidade		0.416	kWh	
Vapor (3.5 bar, 310 °C)		0.462	kg	
<i>Saídas</i>				
Biodiesel		1,000	kg	Pesquisa de Campo
Glicerina (C ₃ H ₈ O ₃)		0.124	kg	
Água residual		0.171	kg	
<i>Emissões para o ar e a água</i>				
CO ₂		172	g	
CO		62.9	g	
NOx		4.86 x 10 ⁻¹	g	
SOx		1.84 x 10 ⁻¹	g	
Material Particulado		2.33 x 10 ⁻¹	g	

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS

Foi realizada uma ACV comparativa da produção de Biodiesel a partir dos genótipos *Elaeis guineensis* e *híbrido interespecífico (OxG)* para um caso de estudo na Colômbia. Primeiro, foram feitos balanços de massa e energia, levando em consideração a distribuição da biomassa residual obtida em processos intermediários, e os índices de desempenho foram calculados considerando a primeira lei da termodinâmica. Logo, é analisada a contribuição potencial de cada genótipo na produção de biocombustível para o aquecimento global e foi discutida por meio da emissão equivalente de CO₂ por unidade de energia do biocombustível produzido (gCO₂ eq MJ_{BDPO}⁻¹). Finalmente, são apresentados os resultados das categorias de impacto e dano, bem como os indicadores de *razão de energia líquida* – NER_{total} e *Relação de energia fóssil* – FER. Emissões de longo prazo e processos de infraestrutura foram excluídos da análise.

5.1. Balanço de massa e energia da produção de biodiesel

5.1.1. Balanço de massa e energia da produção de biodiesel a partir de cachos de fruta fresca da variedade Guineensis

Considerando as condições de operação e as produtividades de cada processo que compõem o sistema proposto, os quais foram descritos na seção 2, foi elaborado um balanço energético e mássico para os genótipos avaliados. Na Figura 74. Balanço de massa e de energia da produção de 1 tonelada do Biosiesel a partir do genótipo *Elaeis Guineensis* No qual pode ser observada a

demanda de energia (térmica e elétrica) de cada processo analisado, é do genótipo *E.guineensis*, obtindo um consumo energético da usina de extração de 1 MW_{ter} (pressão do vapor é de 350 kPa) e 0,14 MW_{ele}. A usina de biodiesel (usina de refinação e transesterificação) demanda 1,22 MW_{ter} (pressão do vapor é de 350 kPa) e 0,13 MW_{ele}. Ressalta-se que a energia demandada pela usina de biodiesel é obtida de processos externos ao sistema avaliado. O POME obtido da POM é encaminhado para uma lagoa anaeróbica coberta, visando a obtenção de biogás por meio da digestão anaeróbica, produzindo, assim, 131,89 m³/hora. O biogás obtido desta forma é usado para geração de eletricidade através da implementação de um motor de combustão interna (MCI), com o qual se tem duas vantagens: redução da emissão dos gases de efeito estufa, que poderiam ser produzidos se fossem utilizadas lagoas abertas para o tratamento dos efluentes, e o aproveitamento desses efluentes para a geração de eletricidade. Portanto, uma fração do biogás produzido (42,24 m³) é utilizado para gerar 0,11 MW_{ele}, o que resta é queimado numa tea localizada perto das lagoas de oxidação. Nos balanços apresentados a continuação também observasse um remanente de Biogás que não faz retorno ao processo de extração, para o *guineensis* representa 89,65 m³ e para o híbrido 77,45 m³, os quais não foram assumidos no análise de ciclo de vida do presente estudo, pois o limite de estudo vá até o portão da lagoa.

Além disso, uma fração da fibra (71,4%) e casca (48,5%), gerada pela extração de OCP, é queimada em um sistema de co-geração, o qual fornece uma fração da energia elétrica (37%) demanda pela POM e supre totalmente a energia térmica exigida pela mesma. Na Figura 74 encontram-se resumidos os parâmetros operacionais considerados para o genótipo *E.guineensis*.

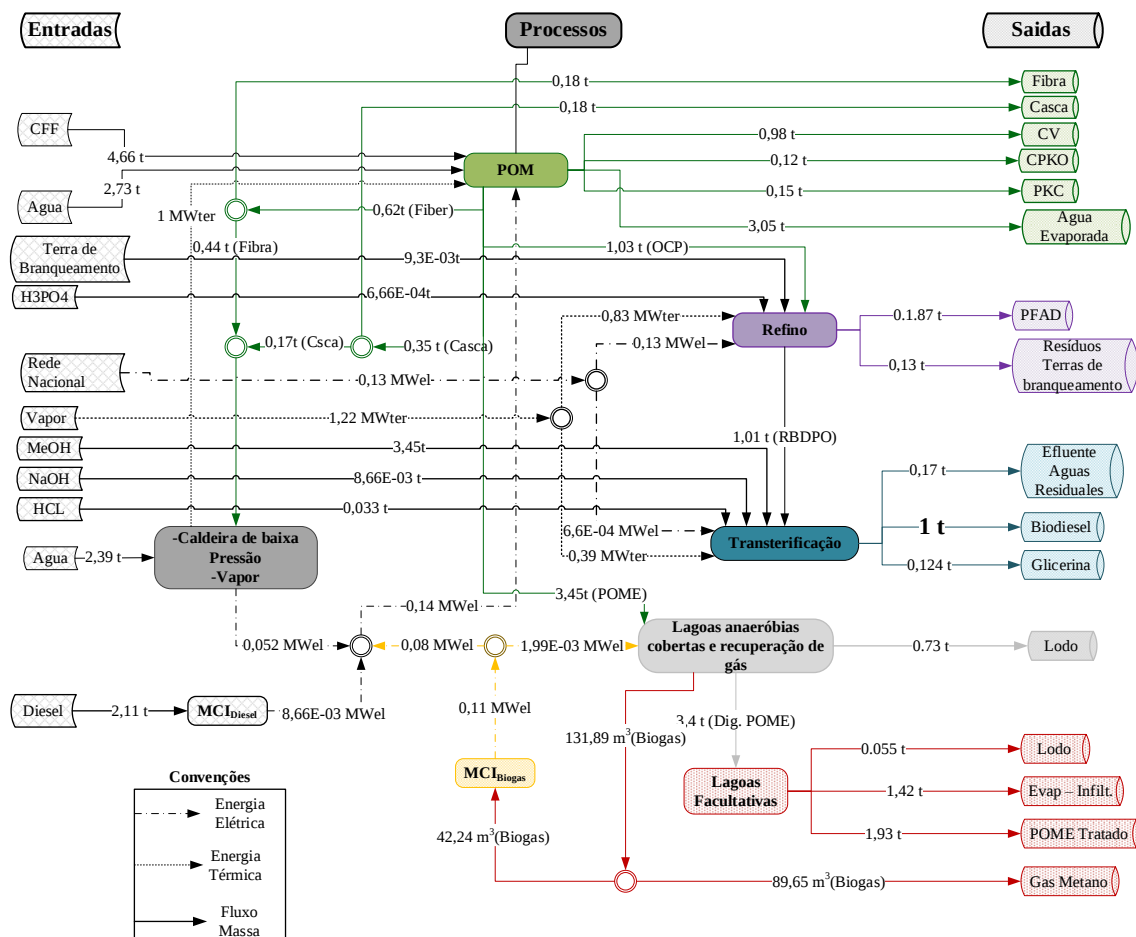


Figura 74. Balanço de massa e de energia da produção de 1 tonelada do Biodiesel a partir do genótipo *Elaeis Guineensis*

5.1.2. Balanço de massa e energia da produção de biodiesel a partir de cachos de fruta fresca da variedade Híbrido

Já na Figura 75, apresenta-se o balanço energético e mássico do genótipo híbrido interespecífico (*E. Oleífera* x *E. Guineensis*). Destaca-se que a quantidade de fruto processado para esse tipo de genótipo é maior do que para o *E. Guineensis*. Isso se deve a suas qualidades físico-químicas (destacadas na seção 2.1), sendo um fator preponderante a baixa existência de noz nos CFF do híbrido (9,7% em massa dos CFF), fator que influi de forma negativa nos equipamentos mecânicos encarregados da extração, dado que precisam de um maior tempo de processamento para a obtenção de OCP. Por tais fatos, a demanda energética (térmica e elétrica) exigida pela usina

extratora do fruto híbrido é maior, obtendo-se consumos de energia entorno de 1,21 MW_{ter} e 0,17 MW_{ele}, onde a energia elétrica é suprida pelo sistema de co-geração (37%), MCI a biogás (57%) e MCI a diesel (6%), mas toda a energia térmica é gerada pelo sistema de co-geração, o qual demanda 75% e 79% da fibra e casca total produzida, respectivamente.

O POME gerado (4,05 ton h⁻¹) é aproveitado da mesma forma que no caso do genótipo do E.Guineensis, obtendo-se assim uma produção de 146,69 m³ de biogás, em que 47,2% do biogás produzido é queimado em um MCI para gerar 0,13 MW_{ele}. Na Figura 75 encontram-se resumidos os parâmetros operacionais considerados para o genótipo híbrido.

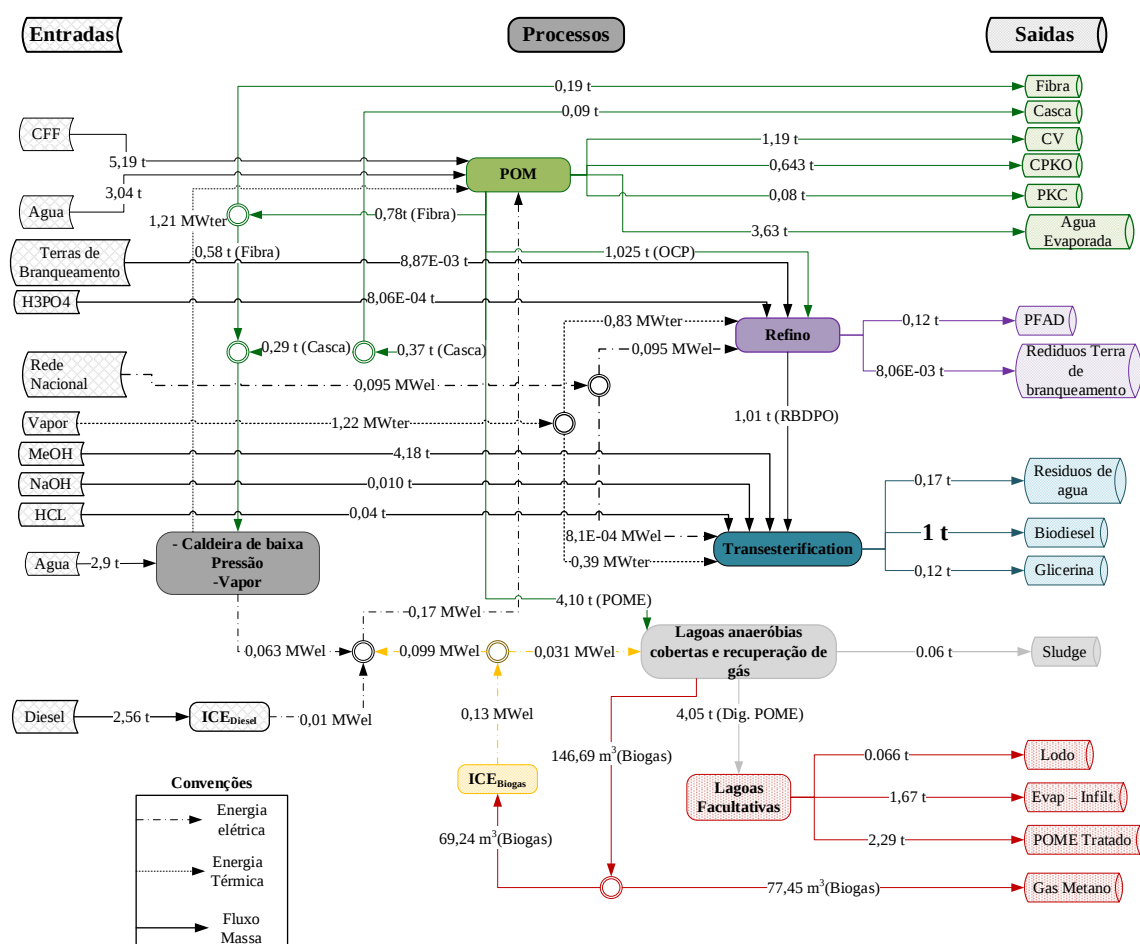


Figura 75. Balanço de massa e de energia da produção de 1 tonelada do Biodiesel a partir do genótipo Híbrido interespecífico (E.O. x E.G.).

A usina de biodiesel (usina de refinação e transesterificação) demanda $1,22 \text{ MW}_{\text{ter}}$ (pressão do vapor é de 350 kPa) e $0,095 \text{ MW}_{\text{ele}}$. Ressalta-se que a energia demandada pela usina de biodiesel é adquirida da rede.

Depois de consolidar os dos balanços de massa e de energia observasse nas Figura 74 e Figura 75 que para produzir uma tonelada de biodiesel se requer maiores consumos de entradas em (CFF, Água, terras de branqueamento, H_3PO_4 , energia elétrica, vapor, NaOH, HCl e Diesel) para o híbrido quando é comparado com o guineensis. Observa-se na Figura 74 que no processo de extração para o Híbrido consome mais quantidades de CFF (0,53t), assim como mas agua para a usina em 0,31t.

Se comparando com o sistema guineensis, o híbrido possui uma demanda elétrica maior (21%). Da Figura 75 pode-se observar que o sistema de cogeração teve maiores consumos de biomassa quando processa fruto híbrido, a cogeração no guineensis teve consumo de Fibra (0,44 t) e de casca(0,17t) e no híbrido de Fibra (0,58 t) e casca (0,29t), tendo maiores consumo em 32% da fibra e 41% na casca. O anterior se explica pelos teores energéticos da biomassa de cada material, assim como também a maior demanda energética na mudança de material, apresentando uma variação de 1 MW_{el} em Guineensis para $1,21 \text{ MW}_{\text{el}}$ quando processa-se com CFF híbrido, isso representa maios demanda energética na usina de extração de 21%.

5.1.3. Análise comparativa dos balanços de eficiência global do sistema e a produtividade energética por hectare.

Percebe-se que a eficiência líquida de geração de eletricidade do ciclo é baixa (mais de 5%, para o guineenses e híbrido, com relação ao fluxo de energia na biomassa alimentada nas caldeiras) para os dos genótipos. Isto pode-se explicar pelo fato de o ciclo de geração operar com 50% da vazão mássica do vapor produzido na caldeira (vapor super aquecido a 30 bar e eficiência de 70%), sendo que 50% restante do vapor é extraído de uma caldeira que possui uma eficiência de 62% e gera vapor saturado a 3.5 bar. Outro aspecto relacionado com a baixa eficiência líquida do ciclo de geração refere-se às baixas pressões de operação das caldeiras (30 bar e 3.5 bar) e o tipo de turbina empregada neste ciclo (BPT com eficiência de 75%) em comparação com as utilizadas num ciclo convencional de geração, as quais operem com caldeiras de 60 bar (com eficiência de 90%) e

turbinas condensação-extração (CEST) que possuem eficiências isentrópicas maiores ou iguais a 85%.

Nas Figura 76 e Figura 77, apresenta-se a eficiência global do sistema (η_{glo}) e a produtividade energética do sistema (σ_{palm}) para os genótipos estudados, observa-se que a η_{glo} no caso do *E. guineenses* é maior que o híbrido *interespecífico* (OxG), dado que este apresenta um acréscimo de 8.2% e 10.2% no consumo de energia térmica e elétrica para processar os CFF da palma híbrida, respetivamente. Por outro lado, a σ_{palm} do híbrido é melhor, isto atribui-se o fato da maior produtividade de palma per hectare (30.55 ton CFF ha.ano⁻¹), ou seja, a partir da mesma área disponível para os dois genótipos, o híbrido produz 18% a mais de CFF, isso se traduz em um incremento de mais do 4% da produção de óleo de palma per hectare ano (5.04 ton OCP ha.ano⁻¹).

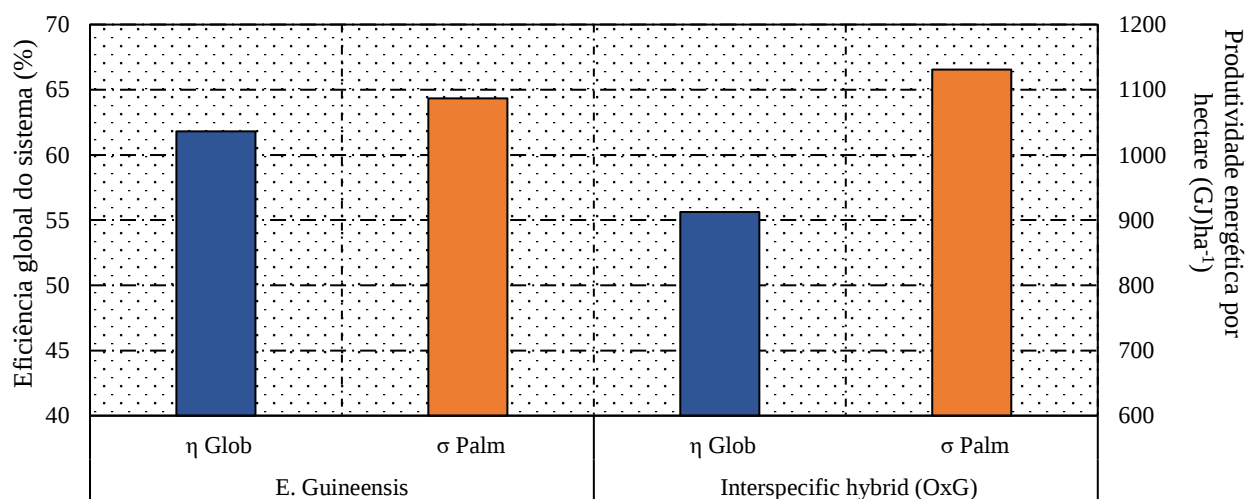


Figura 76. Indicadores da 1ª lei da termodinâmica da produção total de BD de *E. guineenses* e híbrido interespecífico (OxG).

5.2. Aquecimento global

De acordo com os resultados obtidos, percebe-se que os estágios com a maior parcela de emissões de CO_{2eq} nos casos avaliados são os processos agrícolas e industriais (Figura 77a), como visto na literatura (De Souza et al., 2010; Mata et al., 2011; Pleanjai and Gheewala, 2009; Ramirez-Contreras et al., 2020; Yáñez Angarita et al., 2009). A Figura 77 mostra as emissões de CO_{2eq}, o CO₂ capturado (créditos de carbono) e a pegada de carbono que acompanha o ciclo de produção de

biodiesel a partir de óleo de palma. As emissões correspondem à parte positiva da barra e os créditos às negativas (Figura 77b). Identifica-se que o principal fator nas emissões se deve diretamente ao CO₂ liberado nos diferentes processos (combustão, instalações e outros) e principalmente aos fertilizantes químicos utilizados na agricultura (39% para a espécie *E.guineensis* e 42% para *Híbrido Interespecífico OxG*). A quantidade total de CO_{2eq} liberada na atmosfera do campo é de 106.73 kg t⁻¹ de CFF para o *E.guineensis* e de 120.57 kg t⁻¹ de CFF para o *Híbrido Interespecífico(OxG)*. Enquanto o CO_{2eq} capturado pelo CFF devido à fotossíntese é de 1.45 t t⁻¹ de CFF (*E.guineensis*) e 1.3 t t⁻¹ de CFF (*Híbrido InterespecíficoOxG*), portanto, a pegada de carbono (em CO_{2eq}) do biodiesel produzida a partir da espécie *E.guineensis* é de -0.96 t t⁻¹ de CFF e -0.76 t t⁻¹ de CFF para o produzido a partir do *Híbrido Interespecífico(OxG)*.

O fechamento de carbono:

Levando em consideração o carbono sequestrado bruto e o carbono sequestrado líquido mostrado na Figura 77 podemos dizer que o fechamento do ciclo do carbono do biodiesel é de 65.83% e 57.87% para o *E.guineensis* e *Híbrido Interespecífico(OxG)*, respectivamente. Esses dados saem da seguinte equação e correspondem a cálculos feitos com dados estimados da Figura 77b, ver o seguinte:

$$\text{Fechamento Carbono Guineensis} = \frac{-758.03}{-1309.82} * 100 = 57.87\%$$

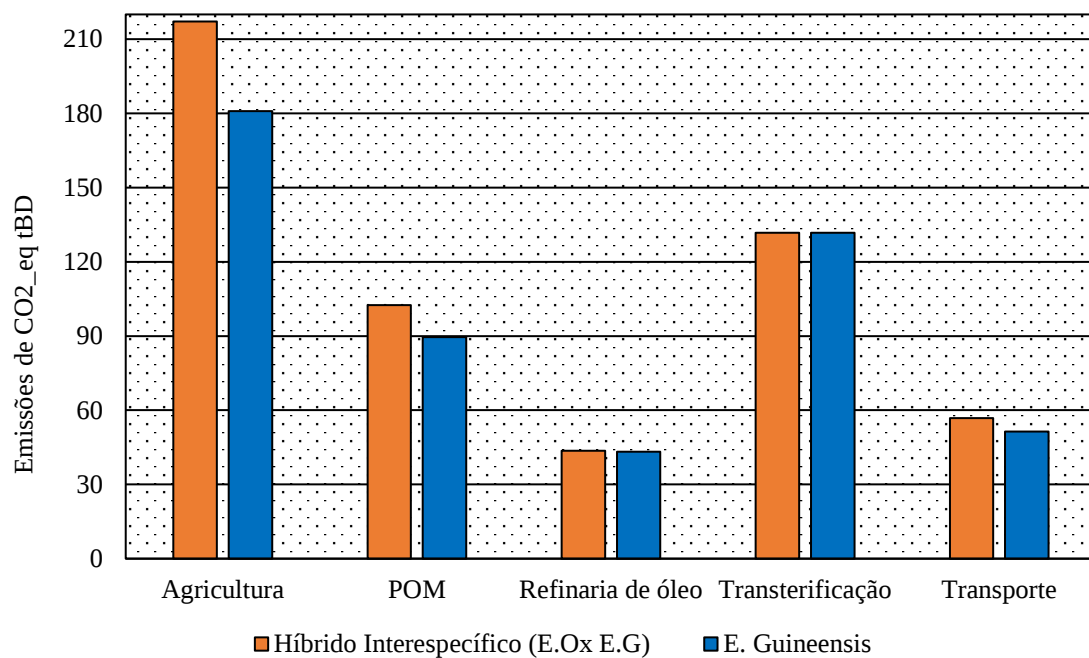
$$\text{Fechamento Carbono Híbrido} = \frac{-957.31}{-1454.09} * 100 = 65.83\%$$

Implementar o híbrido implica uma perda de sustentabilidade de captura neta do CO₂ de 21% de frente ao referente que é o *Guineensis*. O que o mesmo dizer um incremento na pegada do carbono de 21% do híbrido com referência ao *Guineensis*. Em outras palavras o *guineensis* é 26% melhor em captura de carbono

$$\text{Capture de Carbono Guineensis referente ao híbrido} = \frac{(957.31) - (758.03)}{758.03} * 100 = 26\%$$

$$\text{Capture de Carbono híbrido referente ao guineensis} = \frac{(957.31) - (758.03)}{957.31} * 100 = 21\%$$

a)



b)

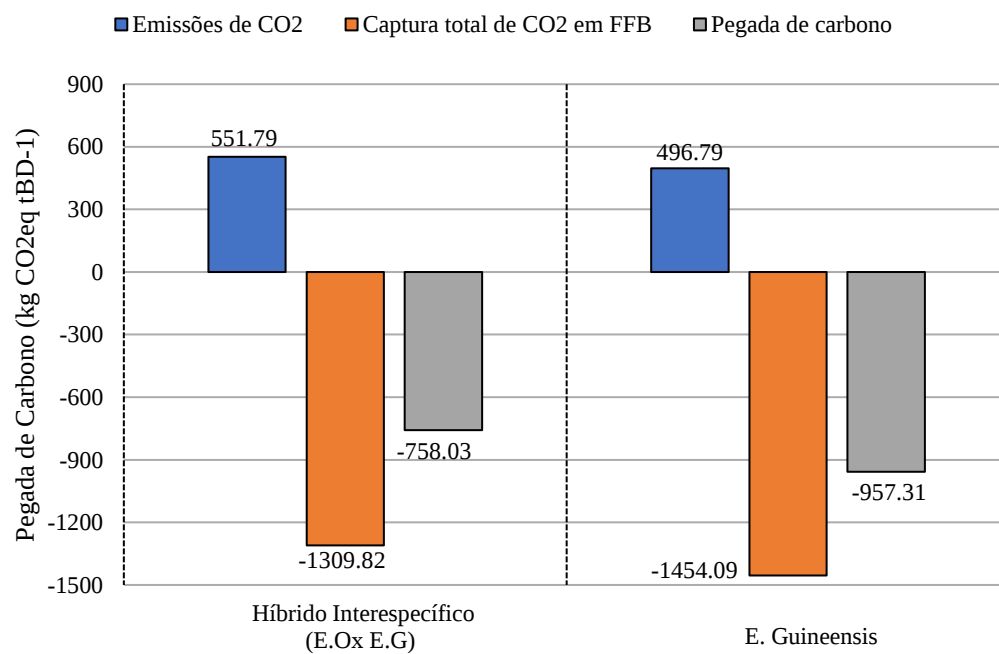


Figura 77. GEE do sistema: a) Estratificação das emissões (kg CO2eq tBD-1). b) Pegada de carbono (g CO2eq tBD-1).

Observa-se que a produção de biodiesel a partir do *Híbrido Interespecífico(OxG)* possui maiores emissões que o *E.guineensis*, dado que precisa de um maior consumo de fertilizantes no cultivo (13.2% N e 3.27% K₂O mais) e diesel no transporte (29.67% mais), além de uma maior demanda energética (2.54% de energia elétrica e 8.95% de energia térmica) para a produção de uma tonelada de óleo de palma. No entanto, a contribuição de emissões advinda pelo uso de pesticidas e inseticidas é 23.77% menor que o de *E.guineensis* (genótipo com maior suscetibilidade a pragas).

O impacto das emissões de CO_{2eq} do biodiesel a partir do óleo de palma nos estudos analisados varia de 4.34×10^{-2} kg CO_{2eq}MJ_{BD}⁻¹ (Angarita et al. 2009) até 1.21×10^{-2} CO_{2eq}MJ_{BD}⁻¹ (Souza et al. 2010) (Figura 78). O sistema de biodiesel de óleo de palma apresentou baixos valores de CO_{2eq} (em média 7,1 g CO_{2eq}MJ_{BD}⁻¹), devido ao alto rendimento agrícola (em média 18.4 ton CFF ha⁻¹) e ao uso de resíduos agrícolas para gerar energia e vapor para os processos. No entanto, destaca-se que as emissões provenientes da agricultura obtidas nesta pesquisa (4.45 e 5.45 g CO_{2eq}MJ_{BD}⁻¹ para *E.guineensis* e *Híbrido Interespecífico(OxG)*, respetivamente), são menores as reportadas na literatura, isto é devido ao fato do retorno ao campo de 28.6 % da fibra e 100% do EFB obtido na usina extratora

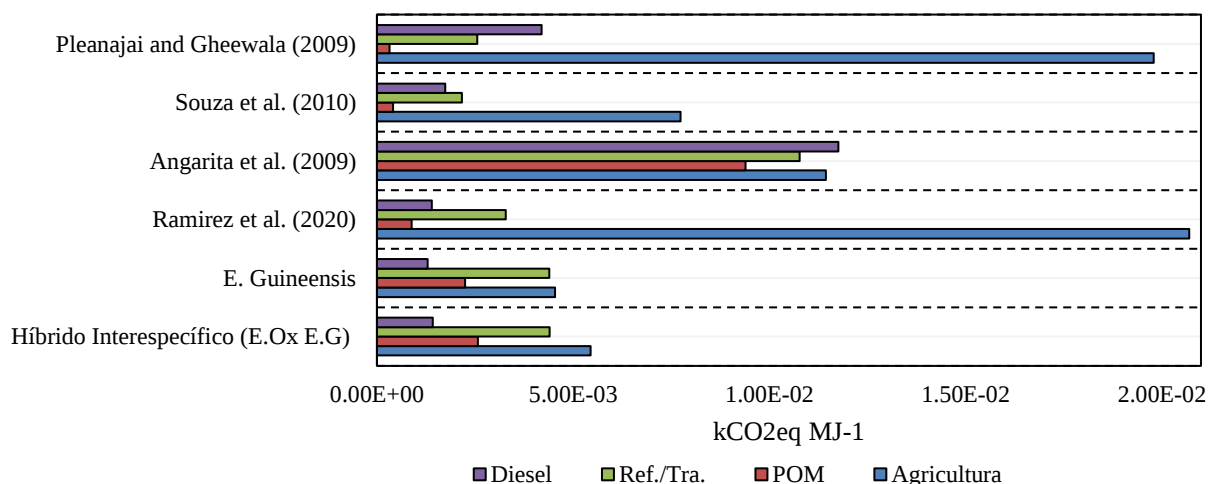


Figura 78. Comparação das emissões de CO_{2eq} produzidas nesta pesquisa com outros trabalhos da literatura (kgCO_{2eq} MJ⁻¹).

A degradação da biomassa é um dos principais contribuintes para a liberação de CO_{2eq}, seguido pelas emissões durante a combustão de fibras e casca nas caldeiras. Essas duas fontes de emissões

geralmente não são consideradas com muita frequência nos estudos de ACV no agronegócio de óleo de palma (Garcia-Nunez et al., 2016a) porque o CO_{2eq} liberado vem do carbono (C) armazenado no CFF. No entanto, neste documento, todas as emissões associadas foram levadas em consideração devido ao ciclo de retorno dos produtos de volta ao campo.

5.3. Avaliação da categoria de impacto

Conforme declarado na seção 3.4, sete categorias de mid-point foram avaliadas para a produção de biodiesel a partir de duas espécies de palma, considerando 1 MJ de biocombustível produzido como unidade funcional. Conforme observado na Tabela 37 todas as categorias alcançaram maiores emissões no genótipo *Híbrido Interspecífico (OxG)*, em comparação com *E.guineensis*. Isto é consequência da maior demanda de: nitrogênio (13.2%) e óxido de potássio (3.27%) na fertilização, diesel para o transporte da fruta até a extratora (acrécimo de 29.67%) e da energia térmica (26.1%) e elétrica (29.3%) para o processamento da fruta.

Tabela 37. Categorias de impacto para produção de biodiesel (1,0 MJ) de híbrido Interspecific (OxG) e E.Guineensis.

Categorias de impacto	Unidade	E.Guineensis	E.OxE.G
Inorgânicos respiratórios	g PM _{2.5 eq}	2.05 x 10 ⁻²	3.92 x 10 ⁻²
Destruição da camada de ozônio	g CFC-11 eq	4.08 x 10 ⁻⁰⁶	4.26 x 10 ⁻⁰⁶
Ácido / nutri terrestre	g SO _{2eq}	0.62	0.75
Acidificação aquática	g SO _{2eq}	0.12	0.14
Eutrofização aquática	g PO ₄ P-lim	7.14 x 10 ⁻³	8.14 x 10 ⁻³
Aquecimento global	g CO _{2 eq}	-23.2	-18.9
Energia não-renovável	MJ _{primaria}	0.22	0.24

Nota-se na Figura 79 que algumas categorias associadas à qualidade do ecossistema no genótipo híbrido, como eutrofização aquática, acidificação terrestre e aquática, aumentaram seus valores em 12.2%, 17.5% e 14.0%, respectivamente. Esse aumento pode ser explicado pela liberação

de compostos como fosfato, NH_3 , NO_x , SO_x e P nos corpos do solo e da água, durante a combustão da biomassa em um sistema combinado de cogeração de calor e potência (CHP), para suprir as necessidades de energia do processo de extração do óleo de palma. As emissões do material particulado ($\text{PM}_{2.5}$), enxofre (S) e óxidos de nitrogênio (NO_x) relacionados ao consumo de diesel no transporte, tiveram impacto nos inorgânicos respiratórios e na depleção da camada de ozônio, representando um aumento de cerca de 47.6% e 4.3% em ambas categorias, respectivamente. Além do mais, o acréscimo apresentado no consumo do diesel para o transporte da fruta até a extratora, impacta diretamente na categoria de uso de energia não renováveis (8.4%) e no decréscimo de sequestro de carbono na categoria aquecimento global (18.6%). Resumindo o Guineensis deu melhores em todos os indicadores estimados e no aquecimento global, particularmente o híbrido apresentou o maior impacto e o que reduz é o guineensis, o guineensis tem maiores benefícios é dizer tem uma maior captura de carbono, e na real o híbrido esta perdendo capacidade de captura, na Figura 79 pode-se observar que o Guineensi da -100% de capture e o híbrido tem -82%.

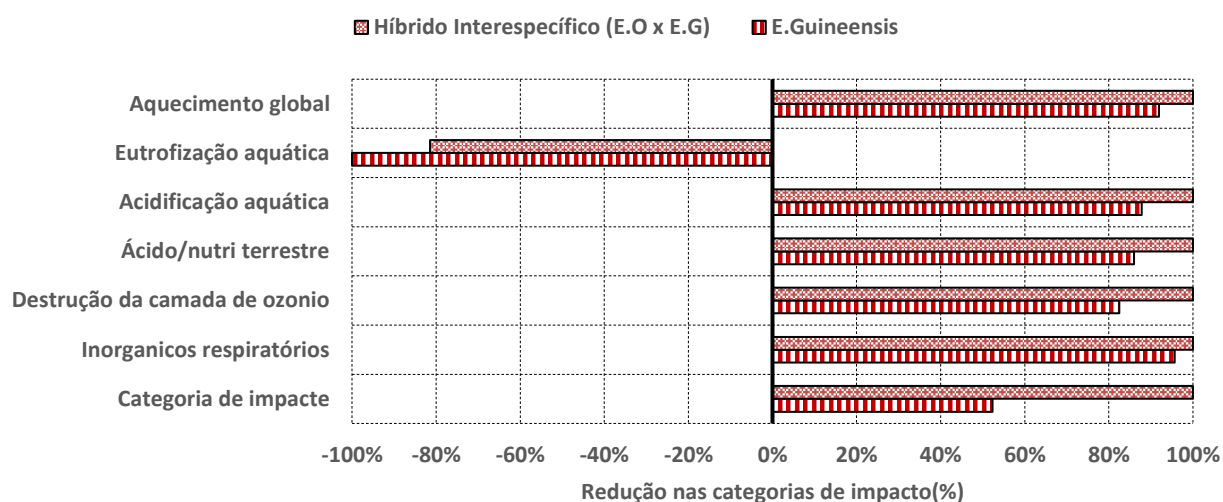


Figura 79. Comparação das categorias de impacto de híbrido interespecífico e E. Guineensis

5.4. Avaliação de categorias de danos e indicadores de ciclo de vida

No método Impact 2002 +, as categorias de impacto mostradas na Tabela estão relacionadas a quatro categorias de danos (recursos, mudanças climáticas, qualidade do ecossistema e saúde humana) e os resultados obtidos nesta análise são mostrados na Figura 80. Nos resultados apresentados pode ser visto claramente que o dano à saúde humana foi o de maior contribuição (47.57%), isto é atribuído as emissões de PM, NO_x, SO_x e outros compostos orgânicos liberados durante o transporte, principalmente no transporte dos CFF até a usina extratora, onde o consumo de diesel é de quase 30% a mais que no caso do *E.guineensis*, visto que o racimo do fruto híbrido possui maior volume e isto afeta diretamente o número de viagens. Na Figura 80 pode se observar que o Guineensis fica com 100% em captura, o que permite dizer que o híbrido tem menor potencial de capture ficando a uma diferença de 18 pontos percentuais, e nos outros impactos também o guineensis tem melhor comportamento de indicadores.

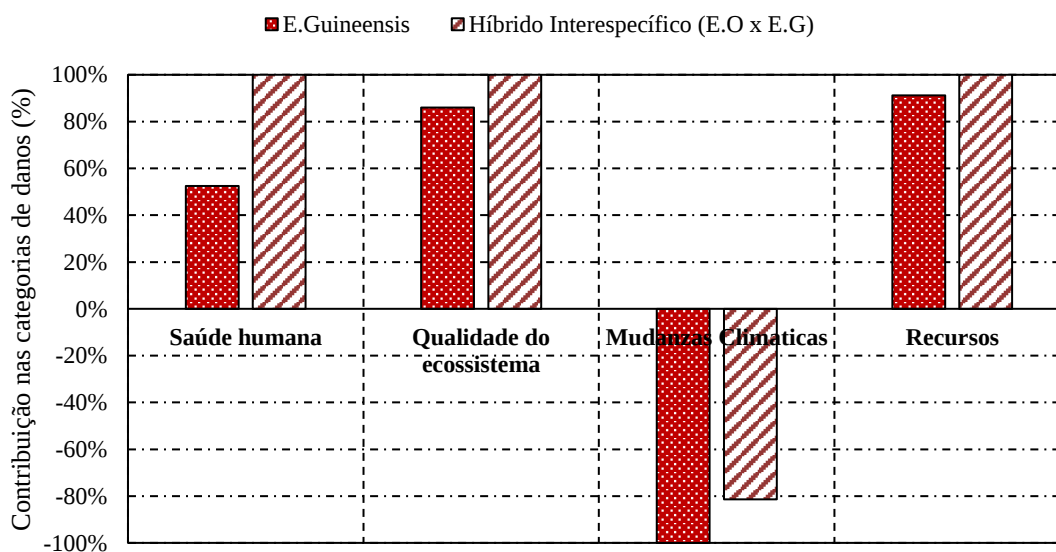


Figura 80. Parcela de impacto da categoria de danos para cenários de produção de BD.

O indicadores NER_{Total} e FER foram estimados para toda a produção alternativa de biocombustível/bio-produtos e os resultados são apresentados nas Figura 81 e Figura 82. A relação do NER_{Total} para os genótipos (*E. Guineensis* e *Híbrido Interspecífico O x G*) avaliados em nosso estudo resultou em 3.86 e 2.82 unidades energéticas (BD, methan gas, glycerin, CPKO, PKC and

PFAD), respetivamente. Esse resultado demonstrou que o rendimento energético da produção de biodiesel é cerca de 4 e 3 (*E.Guineensis* e *Híbrido InterespecíficoOxG*) vezes maior que o aporte de energia em sua produção. Os valores de NER_{Total} relatados na literatura para a cadeia BD na Tailândia, Malásia, Indonésia, Colômbia e no Brasil estão entre 1.63 e 3.98 (Figura 81) – considerando biocombustíveis e bio-produtos. No entanto, uma comparação do balanço de energia, incluindo todos os produtos e subprodutos, mostra que o valor potencial de NER_{Total} é maior. Em uma análise de vários produtos de base biológica do óleo de palma, o NER varia de 17.7 a 22.9 (Garcia-Nunez et al., 2016 and Ocampo et al. 2020). Observa-se que o NER_{Total} calculado para o *E.Guineensis* e *Híbrido InterespecíficoOxG* é maior se comparado com o NER_{Total} do ciclo de produção de diesel fóssil convencional (0.19), ou seja, pela mesma unidade energética consumida são produzidas 1:4 e 1:3 unidades energéticas, a partir dos genótipos *E.Guineensis* e *Híbrido InterespecíficoOxG*, respetivamente. Enquanto que o diesel fóssil a partir de uma unidade energética consumida produz 1:0.19 unidades de energia.

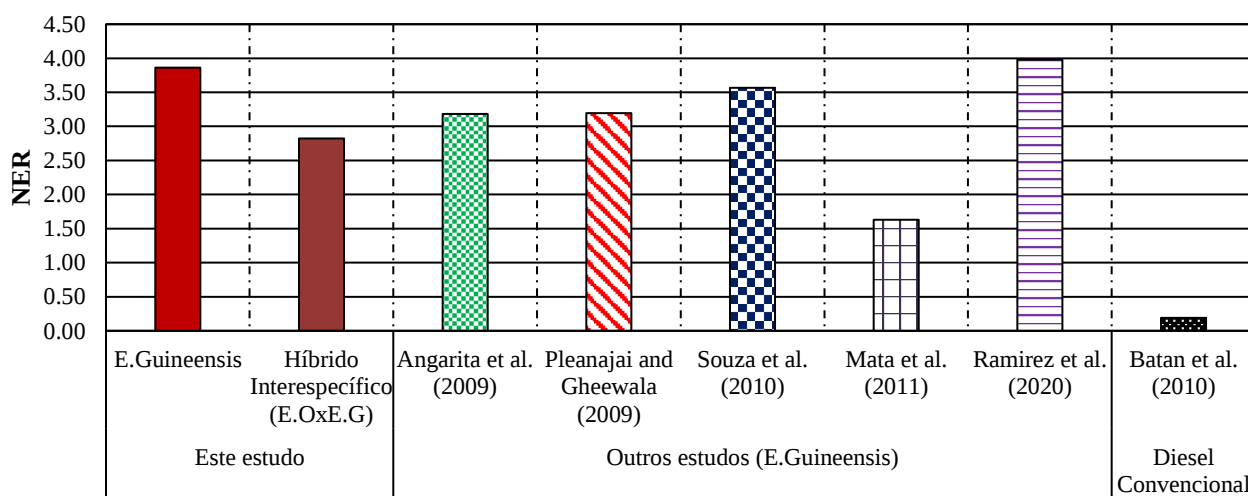


Figura 81. Comparação do NER obtido com outros relatados na literatura e diesel convencional.

Um FER total de 5.58 e 4.48 (MJ_{out}/MJ_{in}) foi calculado para os genótipos *E.Guineensis* e *Híbrido Interespecífico(OxG)*, respetivamente (Figura 82). Esses resultados são comparáveis com estudos anteriores da produção de biodiesel a partir de óleo de palma (1.6 a 6.6 MJ_{out}/MJ_{in}). Os valores do FER reportados por Angarita et al. (2009); Souza et al (2010) e Ramirez et al. (2020), são maiores aos obtidos nesta pesquisa, dado que nesses trabalhos o sistema de cogeração operam

com caldeiras mais eficientes, possuem turbinas de condensação-extração (as quais tem produção de energia elétrica excedente) e a planta de refinação e transesterificação encontra-se anexa à POM.

Por outra parte, destaca-se que o genótipo *Híbrido Interespecífico(OxG)*, possui um maior consumo de energia fóssil que o genótipo *E.Guineensis*, isto é atribuído à maior demanda de fertilizantes, agroquímicos e diesel nas etapas de agricultura e transporte. No entanto, quando comparado com os FER obtidos nos trabalhos de Pleanjai and Gheewala (2009); Mata et al. (2013), percebe-se que o *Híbrido Interespecífico(OxG)* é 1 e 3 unidades energéticas mais renovável que *E.Guineensis* avaliados em essas pesquisas, respetivamente.

Da Figura 82 também pode-se dizer que o Biodiesel é sustentável, já que tem um índice de removibilidade maior a 1 por acima do diesel fóssil convencional que é menor a 1, no híbrido como no guineensis, porem o guineensis é ainda mais energeticamente sustentável já que apresenta um melhor comportamento com uma diferença de 1 ponto acima do híbrido. Dito em outras palavras o guineensis apresenta um maior potencial de saída de energia com respeito a energia consumida, quando é comparado com o híbrido.

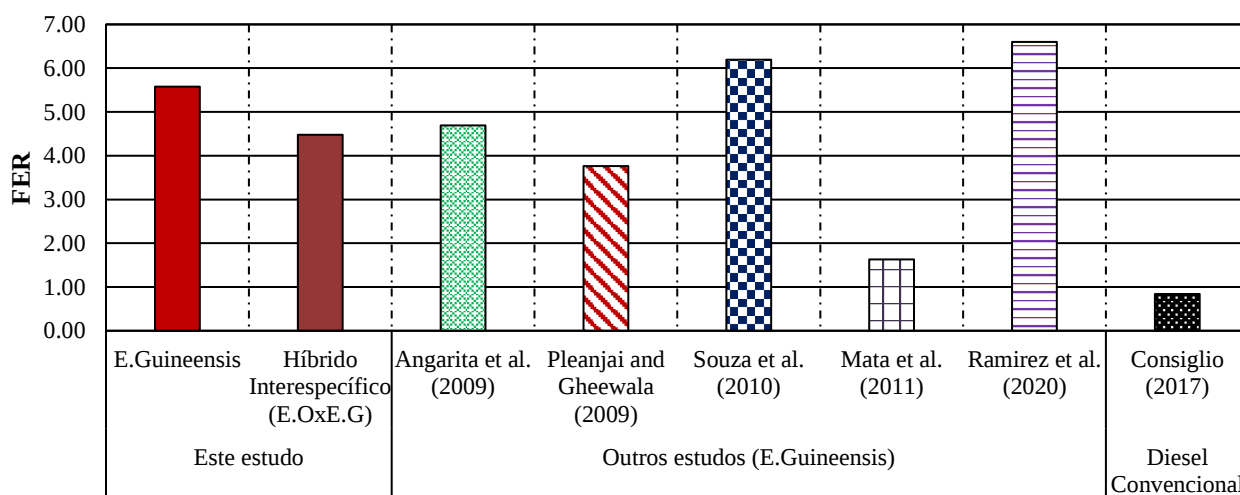


Figura 82. Comparação do FER obtido com outros relatados na literatura e diesel convencional.

Cabe ressaltar que os resultados apresentados neste estudo são representativos do caso colombiano e, portanto, variações podem ser esperadas sob diferentes condições geográficas. As reduções no consumo de energia fóssil nos cenários avaliados deste trabalho foram determinadas

pelas premissas adotadas relacionadas a limites do sistema, dados de inventário, método de alocação e capacidades tecnológicas. As cadeias de produção propostas foram baseadas nas condições atuais do país e dependem da produção agrícola e das capacidades instaladas. Além disso, o limite do sistema deste estudo de ACV exclui a utilização de CPKO, PKC, biodiesel, glicerina e biogás. Portanto, a análise geral do ciclo de vida do berço ao túmulo dos bio-produtos está além do escopo deste estudo.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

Nesse trabalho foi comparada a produção tradicional de biodiesel de óleo de palma, a partir do genótipo *E. guineensis* Jacq., com a produção do biocombustível mas a partir do genótipo *Híbrido Interespecífico*OxG para um caso na Colômbia. Os balanços de massa e energéticos, potenciais impactos ambientais, indicadores de energia e eficiência relacionados à produção de biocombustíveis de óleo de palma foram calculados por meio de um estudo comparativo fundamentado na 1ª lei da termodinâmica e no ACV. A seguir são sumarizadas as principais conclusões desta dissertação:

- O levantamento bibliográfico indicou que uma das estratégias de implementação do genótipo híbrido é procurar garantir a vida econômica e produtiva do cultivo da palma do dendê, e o híbrido é a alternativa para isso, no entanto o desempenho ambiental no presente trabalho deu um resultado alterado quando se compara com o cultivar tradicional guineensis.
- A abordagem na avaliação dos requerimentos do processo permitiu analisar que na cadeia do cultivar e na usina de extração de óleo de azeite de híbrido tem maiores consumos de entradas para a produção de 1 tonelada de óleo, também que a usina requer maiores consumos de energia o que faz que isso tenha contribuições nos impactos ambientais e energéticos.
- O Híbrido apresenta um maior impacto ambiental cumprindo a hipóteses planteado no início dessa pesquisa, embora o híbrido tem vantagens para continuidade da agroindústria da palma na Colômbia, o resultado desse estudo permite concluir que o Guineensis continua sendo melhor energética e ambientalmente falando, pela mínima diferença. Desde o Inventário do ciclo de vida elaborado para as duas culturas, observou-se que as diferenças ambientais das emissões são mais significativas no processo de cultivo e transporte de CFF de óleo (pois há consumo de combustível fóssil), porém no híbrido apresentou-se maiores impactos ambientais que no guineenses.
- A ACV de biocombustível produzidos a partir de óleo de palma (seja convencional ou híbrido) constata o potencial de redução do aquecimento global e a diminuição dos impactos gerados

por mudanças no uso da terra para o cenário do caso na Colômbia. As emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ do ciclo de vida do biodiesel com base na fruta tradicional foi de $12,5 \text{ g MJ}_{\text{BD}}^{-1}$, sem contar o sequestro de carbono. Em comparação, as emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ de biodiesel produzido pela fruta híbrida foi de $13,8 \text{ g MJ}_{\text{BD}}^{-1}$, um acréscimo de 10.4% nas emissões do ciclo de vida quando comparadas com a fruta tradicional, isto deve-se preponderantemente ao aumento do consumo de diesel no transporte (etapa do cultivo para a etapa de extração) e a maior demanda de biomassa no sistema de cogeração para suprir o sistema. Por tais fatos os indicadores de eficiência do ciclo de vida do biodiesel produzido pela fruta híbrida apresentaram valores menores ao do biodiesel convencional, reduções de 26.9% e 19.7% no $\text{NER}_{\text{Total}}$ e FER, respetivamente. Porém, se comparado com a produção biodiesel de outros pesquisas de palma observa-se um melhor aproveitamento de energia de até 1.2 unidades energéticas, assim como uma maior renovabilidade de até 3 unidades energéticas.

- Por outra lado, análise de mudanças no uso da terra para o biodiesel convencional e híbrido, identificou que quando as emissões (devido à mudança no uso da terra) e o sequestro de carbono são considerados no ciclo de vida da palma, a pegada de carbono é de $-23.2 \text{ g MJ}_{\text{BD}}^{-1}$ e $-18.9 \text{ g MJ}_{\text{BD}}^{-1}$, respetivamente. Assim, podemos estimar um fechamento do ciclo do carbono do biodiesel produzido através de *E.guineensis* e *Híbrido InterespecíficoOxG* de 65.83% e 57.87%, respetivamente. Em outras palavras o guineenses é 26% melhor em captura de carbono. Estes valores são consequentes às hipóteses adotadas nestas pesquisas como são o ciclo comercial adotado, plantações estabelecidas em terras degradadas e não-florestadas (ou terras com baixa biomassa vegetal) ou pastagens.
- Foram avaliados os requerimentos do processo para os dois genótipos, achando que o genótipo híbrido precisa mais consumos energéticos na usina de extração em comparação com o genótipo guineensis. Desde o ponto de vista energético o Guineensis apresenta um NER maior que o Híbrido, o que faz que seja mais sustentável, assim como o FER também reafirma essa conclusão. Os índices de desempenho energético calculados para cada genótipo comprovaram que na avaliação de 1ª lei a produção de biodiesel a partir de *Híbrido InterespecíficoOxG* apresenta uma redução de 6.2% na eficiência global do sistema, se comparado com o biodiesel oriundo do *E. guineensis Jacq.*, fato atribuído à ineficiência dos subsistemas mecânicos da planta extratora (esterilização, separação, prensado, trituração, etc.), dado que na atualidades

estes sistemas só se encontram projetados para o processamento eficiente da fruta *E. guineensis* Jacq. Contudo, a fruta híbrida evidenciou um potencial de mais de 4% na produtividade energética por hectare (σ_{palm}), sem modificação alguma nos processos mecânicos da extratora, isto é atribuído à excelente produtividade que é de 30.55 ton CFF ha.ano⁻¹, superando em mais de 21% a produtividade da fruta convencional.

- Pelos fatos expostos, pode-se concluir que o genótipo *Híbrido InterespecíficoOxG* possui um potencial latente à produção de energia, combustíveis e alimentos, com baixos impactos ambientais. Porém, ainda precisa de mais estudos e melhoras técnicas, para assim quantificar como maior precisão os potenciais ganhos desta espécie em Colômbia, como em outros países da região.
- Tem maior produtividade de energia no híbrido pela biomassa no cultivo, mas quando a gente fez o balanço na toda a cadeia o balanço energético e ambiental é melhor no guineensis.
- O cultivo híbrido é necessário já que é tolerante a doença que faz morrer a palma do dendê na Colômbia, e ele representa a continuidade da agroindústria nesse país, a mudança de cultivares guineenses para o híbrido garante que muitas famílias continuem no negócio da palma do dendê com impacto positivo no econômico e no social, porem deve-se considerar os leves incrementos ambientais que foram achados no presente trabalho, que não são tão significativas, mas que sim garantem que a palma do dendê na Colômbia tenha continuidade como um negócio rentável.
- O estudo conclui que ante a necessidade de garantir que o cultivo da palma continue sua vida produtiva na Colômbia nesse objetivo cumpre e os novos cultivares de híbrido, de acordo aos resultados do presente trabalho mostraram que os impactos adicionais são leves aos impactos causados pelos atuais para o cultivar guineenses.
- O presente trabalho tem dois novidades muito importantes, o primeiro é o levantamento de um inventario de fonte primaria de dois genótipos, que não estava em nenhuma pesquisa, isso faz com que seja um estudo de referência para seguintes trabalhos; a outra novidade é que o estudo demonstra que as diferencias entre os dos genótipos são diferencias mínimas no ambiental e energético, e sim o benefício de continuidade com o híbrido são muito bons em frente ao social e o econômico. O benefício social e econômico não foi avaliado no presente trabalho, porem

os estudos demonstrados na literatura demonstram que a tendencia mundial é a migrar para o tipo de cultivares híbrido.

CAPITULO 7

7. RECOMENDAÇÕES

- O presente é um trabalho inicial de referência para logo desse, dar início a outras propostas de trabalhos para melhorar os balanços de massa e energéticos assim como no ACV do híbrido versus o guineenses de frente aos impactos ambientais, por exemplo dar usos ao 70% do Biogás que ainda não tem um benefício, melhorar os sistemas de caldeiras passando a sistemas de 60 barg, gerar mais eletricidade nos sistemas das usinas, todo isso com o objetivo de virar o híbrido mais sustentável.
- Incluir variáveis de impacto social e econômico nos próximos estudos, já que é uma necessidade social manter a produtividade de produção de aceite e do biodiesel que pode verse ameaçado na região
- Com relação a pegada de carbono com a produção do biodiesel, é importante ter presente que o presente estudo vá até o tanque do veículo, no entanto se faz necessário e importante em posterior estudos incluir os estudos de uso do biocombustível no qual o híbrido pode ter benefícios versus o guineenses. O grande potencial das emissões va no uso de biocombustíveis nos carros, la emissão correspondente de la estapa de biodiesel é o 20% de todo o ciclo, essa aqui é o analisis ate o tanque do vehiculo e pode se desenvolver um estudo com o uso nos carros e ai pode ter algum efeto positivo para o híbrido.
- Para melhorar o desempenho ambiental e energético do hibrido precisa melhorar as variáveis indústrias e também a procura de melhores transportes adequados para esse genótipo.

7.1. Trabalhos Futuros

Para seguir a linha de pesquisa deste trabalho, há dentre as alternativas:

- 1- Complementar o estudo de caso com uma análise econômica, para determinar os principais fatores que mais contribuem para a viabilidade de cada estudo e destacar são as diferenças no impacto da resistência a doenças vs as variáveis econômicas e financeiras.
- 2- Avaliar alternativas de otimização com a valorização da Biomassa com o fim de fazer integrações energética de diferentes processos procurando resultado com um melhor desempenho energético e ambiental, avaliando os excedentes de eletricidade.
- 3- A inclusão do uso do Biodiesel no veículo um estudo posterior vai ser muito importante, já que no uso é o verdadeiro potencial da mitigação do impacto do uso dos biocombustíveis.

REFERÊNCIAS

ACHTEN, Wouter M.J.; VANDENBEMPT, Pieter; ALMEIDA, Joana; MATHIJS, Erik; MUYS, Bart. Life cycle assessment of a palm oil system with simultaneous production of biodiesel and cooking oil in Cameroon. **Environmental Science and Technology**, vol. 44, no. 12, p. 4809–4815, 2010. <https://doi.org/10.1021/es100067p>.

AHMAD, Ashfaq; BUANG, Azizul; BHAT, A. H. Renewable and sustainable bioenergy production from microalgal co-cultivation with palm oil mill effluent (POME): A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 65, p. 214–234, 2016. DOI 10.1016/j.rser.2016.06.084. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.084>.

ALVARADO, A. ESCOBAR, R. HENRY, J. El híbrido OxG Amazon : una alternativa para regiones afectadas por Pudrición del cogollo en palma de aceite The Hybrid O x G Amazon : an Alternative for Regions Affected by Bud Rot in Oil Palm. **Fedepalma**, vol. 34, p. 305–314, 2013.

ARCHER, Sophie A.; MURPHY, Richard J.; STEINBERGER-WILCKENS, Robert. Methodological analysis of palm oil biodiesel life cycle studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 94, no. May, p. 694–704, 2018. DOI 10.1016/j.rser.2018.05.066. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.066>.

ARRIETA, F. R.P.; TEIXEIRA, F. N.; YÁÑEZ, E.; LORA, E.; CASTILLO, E. Cogeneration potential in the Columbian palm oil industry: Three case studies. **Biomass and Bioenergy**, vol. 31, no. 7, p. 503–511, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.016>.

ARVIDSSON, Rickard; PERSSON, Sara; FRÖLING, Morgan; SVANSTRÖM, Magdalena. Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil from rape, oil palm and Jatropha. **Journal of Cleaner Production**, vol. 19, no. 2–3, p. 129–137, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.008>.

AYALA, Mauricio; ROMERO, Mauricio. Cultivares Híbridos OxG y la reactivación productiva de zonas problema con AF. 2019. **XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite** [...]. [S. l.: s. n.], 2019. p. 39. Available at: https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2019/09/1.Ivan-Ayala-OxG-RTN-2019_compressed.pdf.

AZIZ, Nur Izzah Hamna A.; HANAFIAH, Marlia M. Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent. **Renewable Energy**, vol. 145, p. 847–857, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.084>.

AZIZ, Nur Izzah Hamna A.; HANAFIAH, Marlia M.; GHEEWALA, Shabbir H. A review on life cycle assessment of biogas production: Challenges and future perspectives in Malaysia. **Biomass and Bioenergy**, vol. 122, no. January, p. 361–374, 2019a. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.047>.

AZIZ, Nur Izzah Hamna A.; HANAFIAH, Marlia M.; GHEEWALA, Shabbir H. A review on life cycle assessment of biogas production: Challenges and future perspectives in Malaysia. **Biomass and Bioenergy**, vol. 122, no. February, p. 361–374, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.047>.

BREURE, K. Busqueda rendimiento en la palma de aceite, Principios Basicos. **Revista Palmas Especial, Tomo I**, vol. 37, p. 79–118, 2012. .

BRICEÑO ÁLVAREZ IVONNE CRISTINA, VALENCIA CONCHA JAIME FERNANDO, Posso Mauricio. Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en

Colombia Potential Power Generation of Oil Palm Agribusiness in Colombia. **Revista Palmas**, vol. 36, no. 3, p. 43–53, 2015. Available at: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/viewFile/11575/11567>.

CADENA, Tatiana; PRADA, Fausto; PEREA, Aidé; ROMERO, Hernán Mauricio. Lipase activity, mesocarp oil content, and iodine value in oil palm fruits of *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, and the Híbrido Interespecífico O×G (*E. oleifera* × *E. guineensis*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 93, no. 3, p. 674–680, 2013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5940>.

CALIMAN, Jean P; DUBOS, B; TAILLIEZ, B; ROBIN, P; BONNEAU, X; BARROS, I De. Manejo de nutrición mineral en palma de aceite : Situación actual y perspectivas Oil Palm Mineral Nutrition Management : Current Situation and Prospects. **Revista Palmas, Vol. 25 Nro Especial Conferencia internacional, Tommo I**, vol. 25, no. 1, p. 42–60, 2004. .

CASTANHEIRA, Érica; ACEVEDO, Helmer; FREIRE, Fausto. Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios. **Applied Energy**, vol. 114, p. 958–967, 2014. .

CASTILLA, Carlos E. Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. **Revista Palmas, Vol 25 No Especial, Conferencia internacional, Tommo II**, vol. 25, no. 2, p. 366–371, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2011.07.031>.

CENIPALMA. Selección de palmas de aceite élite en plantaciones comerciales de Colombia. **Fedepalma**, vol. 20, p. 368, 2006. .

CHOO, Yuen May; MUHAMAD, Halimah; HASHIM, Zulkifli; SUBRAMANIAM, Vijaya; PUAH, Chiew Wei; TAN, Yewai. Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach. **International Journal of Life Cycle Assessment**, vol. 16, no. 7, p. 669–681, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0303-9>.

CORLEY, R.H.V.; TINKER, P.B. **The Oil Palm**. Fifth Edit. [S. l.]: WORLD AGRICULTURE SERIES, 2016.

CUE, Consorcio. “Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia”. Capítulo II : Estudio ACV – Impacto Ambiental. **Bid**, , p. 203, 2012. .

CURRAN, Mary Ann. Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products. **Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products**, , p. 1990, 2012. <https://doi.org/10.1002/9781118528372>.

DAZA, Edison Steve. AVANCES SOBRE POLINIZACIÓN ARTIFICIAL CON ANA EN ELHÍBRIDO INTERESPECÍFICO O×G. 2019. .

DE SOUZA, Simone Pereira; PACCA, Sergio; DE ÁVILA, Márcio Turra; BORGES, José Luiz B. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. **Renewable Energy**, vol. 35, no. 11, p. 2552–2561, 2010. DOI 10.1016/j.renene.2010.03.028. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.028>.

ESTER, Rosélis; EDUARDO, Electo; LORA, Silva. The energy balance in the production of palm oil. Biodiesel – two case studies: Brazil and Colombia. **World bioenergy conference, Jonkoping**, no. 1998, p. 4–8, 2007. .

FABIANI, Claudia; PISELLO, Anna Laura; BARBANERA, Marco; CABEZA, Luisa F. Palm oil-based bio-AFM for energy efficient building applications: Multipurpose thermal investigation and life cycle assessment. **Journal of Energy Storage**, vol. 28, no. June 2019, p. 101129, 2020. DOI 10.1016/j.est.2019.101129. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101129>.

FEDEBIOCOMBUSTIBLES. Boletín Proceso de los Biocombustibles Política de Tratamiento de Datos. **Fedebiocombustibles**, , p. 1–4, 2019. .

FEDEBIOCOMBUSTIBLES. **Fedebiocombustibles**. Bogota, Colombia: [s. n.], 2020. Available at: <https://www.fedebiocombustibles.com/>.

FEDEPALMA. **Anuario Estadístico Anuario Estadístico 2018**. Bogota, Colombia: Fedepalma, 2018.

FEDEPALMA. INFORME GESTION FEDEPALMA 2006. **Fedepalma**, , p. 122, 2006. .

FEDEPALMA. **Mejores Prácticas agroindustriales del cultivo de la palma de aceite en Colombia**. Fedepalma. Bogota, Colombia: Fedepalma, 2016.

FEDEPALMA. **Statistical Yearbook**. [S. l.: s. n.], 2019. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

FORERO HERNÁNDEZ, Diana Carolina; HORMAZA MARTÍNEZ, Paola Andrea; MORENO CAICEDO, Leidy Paola; RUIZ ROMERO, Rodrigo. **Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite**. 1st ed. Bogota: Fedepalma, 2012.

GARCIA-NUNEZ, Jesus Alberto; RAMIREZ-CONTRERAS, Nidia Elizabeth; RODRIGUEZ, Deisy Tatiana; SILVA-LORA, Electo; FREAR, Craig Stuart; STOCKLE, Claudio; GARCIA-PEREZ, Manuel. Evolution of palm oil mills into bio-refineries: Literature review on current and potential uses of residual biomass and effluents. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 110, p. 99–114, 2016. DOI 10.1016/j.resconrec.2016.03.022. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.022>.

GARCIA-NUNEZ, Jesus Alberto; RODRIGUEZ, Deisy Tatiana; FONTANILLA, Carlos Andrés; RAMIREZ, Nidia Elizabeth; SILVA LORA, Electo Eduardo; FREAR, Craig Stuart; STOCKLE, Claudio; AMONETTE, James; GARCIA-PEREZ, Manuel. Evaluation of alternatives for the evolution of palm oil mills into biorefineries. **Biomass and Bioenergy**, vol. 95, p. 310–329, 2016a. DOI 10.1016/j.biombioe.2016.05.020. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.020>.

GARCIA-NUNEZ, Jesus Alberto; RODRIGUEZ, Deisy Tatiana; FONTANILLA, Carlos Andrés; RAMIREZ, Nidia Elizabeth; SILVA LORA, Electo Eduardo; FREAR, Craig Stuart; STOCKLE, Claudio; AMONETTE, James; GARCIA-PEREZ, Manuel. Evaluation of alternatives for the evolution of palm oil mills into biorefineries. **Biomass and Bioenergy**, vol. 95, p. 310–329, 2016b. DOI 10.1016/j.biombioe.2016.05.020. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.020>.

GOMES, Rui Alberto; GURGEL, Fabio de Lima; PEIXOTO, Leonardo de Azevedo; BHERING, Leonardo Lopes; DA CUNHA, Raimundo Nonato Vieira; LOPES, Ricardo; PINA, Antônio José de Abreu; VEIGA, Alexandre Sanz. Evaluation of interspecific hybrids of palm oil reveals great genetic variability and potential selection gain. **Industrial Crops and Products**, vol. 52, p. 512–518, 2014. DOI 10.1016/j.indcrop.2013.10.036. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.036>.

HANIFF, M H; ZURAIDAH, Y; ROSLAN, M M N. Oil Palm Root Study at a Northern Region in Peninsula Malaysia. vol. 3, no. 3, p. 3–7, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.07.003>.

HARRIS, Z. M.; SPAKE, R.; TAYLOR, G. Land use change to bioenergy: A meta-analysis of soil carbon and GHG emissions. **Biomass and Bioenergy**, vol. 82, p. 27–39, 2015. DOI 10.1016/j.biombioe.2015.05.008. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.008>.

HEMANDO, Luis; PENAGOS, Vanegas; SOSTENIBLE, Desarrollo; MARGARITA, Lourdes; NAVARRO, Molina; PRENSA, Jefe De; VILORIA, Donaldo Donaldo; PUBLICACIONES, Jefe De. INFORME DE GESTIÓN FEDEPALMA 2008. **Fedepalma**, , p. 163, 2008. .

HENSON, I. E. Modelling carbon sequestration and emissions related to oil palm cultivation and associated land use change in Malaysia. **MPOB Technology**, vol. 27, no. 27, p. 51, 2004. Available at: <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/1910997>.

HENSON, Ian E; RUIZ ROMERO, Rodrigo; ROMERO, Hernán Mauricio. The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia : a preliminary analysis . I . Carbon sequestration and carbon offsets Balance de los gases de efecto invernadero de la industria de. **Agronomía Colombia**, vol. 30, no. 3, p. 359–369, 2012a. .

HENSON, Ian E; RUIZ ROMERO, Rodrigo; ROMERO, Hernán Mauricio. The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia : a preliminary analysis . II . Greenhouse gas emissions and the carbon budget Balance de gases de efecto invernadero de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia : análisis preliminar. **Agronomía Colombia**, vol. 30, no. 3, p. 370–378, 2012b. .

HUSAIN, Z.; ZAINAL, Z. A.; ABDULLAH, M. Z. Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills. **Biomass and Bioenergy**, vol. 24, no. 2, p. 117–124, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00101-0).

IAFC. **Climate change and land grabbing**. [S. l.: s. n.], 2019. <https://doi.org/10.4337/9781784710644.00020>.

“ISO 14040 : MANAGEMENT. LIFE CYCLE ASSESSMENT. PRINCIPLES AND FRAMEWORK.” 2006. .

ISO 14067. INTERNATIONAL STANDARD of products — Requirements and. vol. 2018, 2018. .

JURADO, Cesar; BASTIDAS, Silvio. Análisis comparativo de los componentes del fruto en materiales de palma de aceite de diferente origen. **Palmas**, vol. 16, no. 1, p. 41–45, 1995. .

KAMAHARA, Hirotugu; HASANUDIN, Udin; WIDIYANTO, Anugerah; TACHIBANA, Ryuichi; ATSUTA, Yoichi; GOTO, Naohiro; DAIMON, Hiroyuki; FUJIE, Koichi. Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practice. **Biomass and Bioenergy**, vol. 34, no. 12, p. 1818–1824, 2010. DOI 10.1016/j.biombioe.2010.07.014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.07.014>.

KUSHAIRI, A., RAJANAIDU, N., Jalani. B. S. Respuesta de progenies de palma de aceite a diferentes dosis de fertilizantes Response of Oil Palm Progenies to Different Fertilizer Rates *. vol. 23, no. 2, p. 84–96, 2002. .

LEE, Keat Teong; OFORI-BOATENG, Cynthia. **Sustainability of biofuel production from oil palm biomass**. [S. l.: s. n.], 2013. vol. 138, . <https://doi.org/10.1007/978-981-4451-70-3>.

LOH, Soh Kheang. The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source. **Energy Conversion and Management**, vol. 141, p. 285–298, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.081>. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416307555>.

LÓPEZ, A. Efecto de la polinización asistida en la producción de aceite en los cultivares de palma híbrida. 1978. Santa Marta, Colombia: [s. n.], 1978.

LÓPEZ, Fredy. Polinización asistida en material Alto Oleico Elaeis Oleifera x Elaeis Guineensis. vol. 53, no. 9, p. 1689–1699, 2009. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

MANIK, Yosef; HALOG, Anthony. A Meta-Analytic Review of Life Cycle Assessment and Flow Analyses Studies of Palm Oil Biodiesel. **Integrated Environmental Assessment and Management**, vol. 9, no. 1, p. 134–141, 2012. [https://doi.org/10.1002/ieam.2012-024-OR.R1\(1362\)Notably](https://doi.org/10.1002/ieam.2012-024-OR.R1(1362)Notably).

MARTÍNEZ, Gerardo; SARRIA, G. A.; TORRES, Gabriel; VARÓN, Francia H.; DRENT, André; GUEST, David Ian. Nuevos hallazgos sobre la enfermedad de la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia: biología, detección y estrategias de manejo. **Fedepalm**, vol. 35, no. 1, p. 11–17, 2014. .

MARTÍNEZ, Gerardo; SARRIA, Greicy A; TORRES, Gabriel A; VARÓN, Francia. *Phytophthora palmivora* es el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite Palabras clave. **Palmas**, vol. 31, no. No. especial Tomo I, p. 334–344, 2010. .

MATA, Teresa M.; MARTINS, António A.; SIKDAR, Subhas K.; COSTA, Carlos A.V. Sustainability considerations of biodiesel based on supply chain analysis. **Clean Technologies and Environmental Policy**, vol. 13, no. 5, p. 655–671, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0346-9>.

MAYER, Flávio Dias; BRONDANI, Michel; VASQUEZ CARRILLO, Maria Cecilia; HOFFMANN, Ronaldo; SILVA LORA, Electo Eduardo. Revisiting energy efficiency, renewability, and sustainability indicators in biofuels life cycle: Analysis and standardization proposal. **Journal of Cleaner Production**, vol. 252, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119850>.

MENON, N Ravi; RAHMAN, Zulkifli Ab; BAKAR, Nasrin Abu. Empty Fruit Bunches Evaluation : Mulch in Plantation vs . Fuel for Electricity Generation. **Oil Palm Industry Economics Journal**, vol. 3 (2), p. 15–20, 2003. .

MEUNIER, J. Una posible solución genética para el control de la Pudrición de Cogollo en la Palma Aceitera. **Palmas**, , p. 39–42, 1991. .

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR); FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE (FEDEPALMA). PalmaSana: De la mano contra la AF. **Palma Sana**, no. 3, 2014. .

MORENO-CHACÓN, Andrés Leonardo; CAMPEROS-REYES, Jhonatan Eduardo; ÁVILA DIAZGRANADOS, Rodrigo Andrés; ROMERO, Hernán Mauricio. Biochemical and physiological responses of oil palm to bud rot caused by *Phytophthora palmivora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 70, p. 246–251, 2013. DOI 10.1016/j.plaphy.2013.05.026. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.026>.

MOSQUERA, Mauricio; CASTRO, Luis Enrique; LÓPEZ, Felipe; MUNÉVAR, Daniel. Seguimiento a los costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma 2018: Para 23 empresas de más de 500 hectareas. Bogota, Colombia, 2018. .

MOZZON, Massimo; PACETTI, Deborah; LUCCI, Paolo; BALZANO, Michele; FREGA, Natale Giuseppe. Crude palm oil from Híbrido Interespecífico *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*: Fatty acid regiodistribution and molecular species of glycerides. **Food Chemistry**, vol. 141, no. 1, p. 245–252, 2013. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.03.016. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.016>.

MUNEVAR, Fernando. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. **Revista Palmas Vol. 22 Nro 4**, vol. 22, no. 4, p. 9–17, 2001. .

NASUTION, Muhammad Ansori; WIBAWA, Dhani S.; AHAMED, Tofael; NOGUCHI, Ryozo. Comparative environmental impact evaluation of palm oil mill effluent treatment using a life cycle assessment approach: A case study based on composting and a combination for biogas technologies in North Sumatera of Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, vol. 184, p. 1028–1040, 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.02.299. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.299>.

NELSON, P.; HUTH, M. I; BANABAS, M.; WEBB, M. J.; GOODRICK, I. Ciclos de carbono y nitrógeno en plantaciones de palma de aceite: claves para la productividad y la sostenibilidad. **Revista Palmas Vol. 37 Nro. Especial Tomo I. Conferencia Internacional**, vol. 37, no. Especial, Tomo I, p. 214–224, 2016. .

NIETO, Diego. Validación de la relación óptima aceite/agua en el licor de prensas y el mejor rango de composición del recuperado de centrifuga con relación a sus procesos de decantación estática. **Universidad popular del cesar facultad de ingenierías y tecnologías departamento de ingeniería agroindustrial**, vol. 53, no. 9, p. 287, 2007. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

NIETO, Diego Ignacio. Experiencias en el procesamiento industrial de racimos de fruta fresca de la palma de aceite Alto Oleico interespecíficos OxG (E. oleífera x E. guineensis). **XI Reunión Técnica Nacional de Palma de aceite**, Bogota, Colombia, , p. 39, 2013. .

NIETO, Diego; YAÑEZ, Edgar; GARCÍA, Jesús Alberto. Experiences in the Industrial Processing of Fresh Fruit Bunches of the Oil Palm Híbrido Interespecífico OxG (E. oleífera x E. guineensis). **14th AOCS Latin American Congress and Exhibition on Fats and Oils**, 2011. .

OCAMPO BATLLE, Eric Alberto. Avaliação Termodinâmica e Ambiental de Complexos Integrados de Biorrefinarias que utilizam Cana e Palma . **UNIFEI**, 2019. .

OCAMPO BATLLE, Eric Alberto; CASTILLO SANTIAGO, York; VENTURINI, Osvaldo José; ESCOBAR PALACIO, José Carlos; SILVA LORA, Electo Eduardo; YEPES MAYA, Diego Mauricio; ALBIS ARRIETA, Alberto Ricardo. Thermodynamic and environmental assessment of different scenarios for the insertion of pyrolysis technology in palm oil biorefineries. **Journal of Cleaner Production**, vol. 250, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119544>.

OCHOA, I.E. Desarrollo y maduración de frutos en palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.) e híbrido OxG (E. oleífera x E. guineensis) de Unipalma S.A. **Revista Palmas**, vol. 34, p. 326–336, 2013. .

PAPILO, Petir; MARIMIN; HAMBALI, Erliza; SITANGGANG, Imas S. Sustainability index assessment of palm oil-based bioenergy in Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, vol. 196, p. 808–820, 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.06.072. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.072>.

PAPONG, Seksan; CHOM-IN, Tassaneewan; NOKSA-NGA, Soottivan; MALAKUL, Pomthong. Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand. **Energy Policy**, vol. 38, no. 1, p. 226–233, 2010. DOI 10.1016/j.enpol.2009.09.009. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.009>.

PATTHANAISARANUKOOL, Withida; POLPRASERT, Chongchin; ENGLANDE, Andrew J. Potential reduction of carbon emissions from Crude Palm Oil production based on energy and carbon balances. **Applied Energy**, vol. 102, p. 710–717, 2013. DOI 10.1016/j.apenergy.2012.08.023. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.08.023>.

PLEANJAI, S; GHEEWALA, S H; GARIVAIT, S. Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. **Asian j. energy environ.**, vol. 8, no. 1, p. 15–32, 2007. .

PLEANJAI, Somporn; GHEEWALA, Shabbir H. Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. **Applied Energy**, vol. 86, no. SUPPL. 1, p. S209–S214, 2009. DOI 10.1016/j.apenergy.2009.05.013. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.013>.

PLEANJAI, Somporn; GHEEWALA, Shabbir H.; GARIVAIT, Savitri. Greenhouse gas

emissions from production and use of used cooking oil methyl ester as transport fuel in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, vol. 17, no. 9, p. 873–876, 2009. DOI 10.1016/j.jclepro.2009.01.007. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.01.007>.

PRADA, Fausto; ROMERO, Hernán Mauricio. **Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía para facilitadores**. [S. l.: s. n.], 2012.

PRAPASPONGSA, Trakarn; MUSIKAVONG, Charongpun; GHEEWALA, Shabbir H. Life cycle assessment of palm biodiesel production in Thailand: Impacts from modelling choices, co-product utilisation, improvement technologies, and land use change. **Journal of Cleaner Production**, vol. 153, p. 435–447, 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.03.130. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.130>.

QUEIROZ, A. G.; FRANÇA, L.; PONTE, M. X. The life cycle assessment of biodiesel from palm oil (“ dendê”) in the Amazon. **Biomass and Bioenergy**, vol. 36, p. 50–59, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.007>.

RAMIREZ CONTRERAS, Nidia Elizabeth; MUNAR FLOREZ, David Arturo; GARCIA NUÑEZ, Jesús Alberto; MOSQUERA MONTOYA, Mauricio; FAALJ, André P.C. The GHG emissions and economic performance of the Colombian palm oil sector; current status and long-term perspectives. **Journal of Cleaner Production**, vol. 258, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>.

REIJNDERS, L.; HUIJBREGTS, M. A.J. Palm Oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. **Cleaner Production**, vol. 16, no. 1–2, p. 447–482, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.054>.

RINCÓN, Milena; MARTÍNEZ, Daniel. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. **Revista Palmas**, vol. 30, no. 2, p. 11–24, 2009. Available at: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1432>.

RINCÓN, Sandra Milena; HORMAZA, Paola Andrea; MORENO, Leidy Paola; PRADA, Fausto; PORTILLO, Daysy Jazmín; GARCÍA, Jesús Alberto; ROMERO, Hernán Mauricio. Use of phenological stages of the fruits and physicochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil palm interspecific OxG hybrid fruits. **Industrial Crops and Products**, vol. 49, p. 204–210, 2013. DOI 10.1016/j.indcrop.2013.04.035. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.035>.

RIVERA MENDEZ, Yurany Dayana; RODRÍGUEZ, Deisy Tatiana; ROMERO, Hernán Mauricio. Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia. **Cleaner Production**, vol. 149, p. 743–750, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.149>.

ROSETO, G; SANTACRUZ, L; CRSITANCHO, A. Caracterización de las variables de crecimiento , niveles foliares y de rendimiento en dos materiales genéticos de palma OxG y DxP en diferentes edades de desarrollo. **Palmas**, vol. 34, no. 4, p. 99–108, 2013. .

RSPO. **Interpretación Nacional para Colombia del Estándar RSPO 2018 de Principios y Criterios (P&C) para la Producción de Aceite de Palma Sostenible**. [S. l.: s. n.], 2018.

SANTACRUZ, Libardo. Contraste de los contenidos y reservas foliares de la palma comercial (DxP) y del híbrido (OXG) alto oléico Contrast of the contents and leaf reserves of commercial. **Palmas**, vol. 32, no. 4, 2011. .

SASONGKO, Nugroho Adi; NOGUCHI, Ryozi; AHAMED, Tofael. Environmental load assessment for an integrated design of microalgae system of palm oil mill in Indonesia. **Energy**,

vol. 159, p. 1148–1160, 2018. DOI 10.1016/j.energy.2018.03.144. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.144>.

SCHMIDT, J. Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil, Ph.D. thesis Part 1, Aalborg University. **Aalborg University**, 2007. .

SERNA, Alexandra Mondragón; BETANCOURT, Catalina Pinilla. Aceite de palma alto oleico: propiedades fisicoquímicas y beneficios para la salud humana. **Revista Palmas**, vol. 36, no. 4, p. 57–66, 2015. Available at: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11645>.

SHARVINI, Siva Raman; NOOR, Zainura Zainon; CHONG, Chun Shiong; STRINGER, Lindsay C.; GLEW, David. Energy generation from palm oil mill effluent: A life cycle assessment of two biogas technologies. **Energy**, vol. 191, p. 116513, 2020. DOI 10.1016/j.energy.2019.116513. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116513>.

SILALERTRUKSA, Thapat; GHEEWALA, Shabbir H. Environmental sustainability assessment of palm biodiesel production in Thailand Oil palm production. **Energy**, vol. 43, no. 1, p. 306–314, 2012. DOI 10.1016/j.energy.2012.04.025. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.025>.

SILVA LORA, Electo Eduardo; ESCOBAR PALACIO, José Carlos; GARCÍA NÚÑEZ, Jesús Alberto;; BARRERA HERNANDEZ, Juan Camilo . Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite*. **Palmas**, vol. 37, no. Especial Tomo II, p. 290–294, 2016. DOI 10.1016/j.egypro.2017.03.304. Available at: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11928/11921>.

STICHNOTHE, Heinz; SCHUCHARDT, Frank. Life cycle assessment of two palm oil production systems. **Biomass and Bioenergy**, vol. 35, no. 9, p. 3976–3984, 2011. DOI 10.1016/j.biombioe.2011.06.001. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.001>.

TORRES, Enrique. Comportamiento del híbrido interespecífico OxG, Coari x La Mé en Palmeras del Ecuador*. **Revista Palmas Vol. 37 Nro. Especial Tomo I. Conferencia Internacional**, vol. 37, p. 294–298, 2016. .

TORRES V., Marcelo; REY B., Leonardo; GELVES R., Fabio; SANTACRUZ A., Libardo H. Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos elaeis oleífera x Elaeis guineensis, en la plantación de Guaicaramo S. A. **Revista Palmas - Vol 25 No. Especial, Tomo II, 2004**, vol. 25, no. especial, tomo 2, p. 350–357, 2004. Available at: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1099>.

VALBUENA, Luz; DELGADO, Tulia; RINCÓN, Alvaro; MOLINA, Diego; BELTRAN, Jorge Alonso; MOSQUERA, Mauricio. Requerimiento nutricional del híbrido interespecífico OxG Nutritional Requirement of Interspecific OxG Hybrid Plants during. **Fedepalma**, vol. 39, no. 4, p. 13–23, 2018. .

VALDERRAMA, Martha Lucia. Análise comparativa de métodos tradicionais e termoeconômicos de alocação de encargos ambientais na avaliação do ciclo de vida de uma biorrefinaria de palma de azeite. , p. 168, 2018. .

VASKAN, Pavel; PACHÓN, Elia Ruiz; GNANSOUNOU, Edgard. Techno-economic and life-cycle assessments of biorefineries based on palm empty fruit bunches in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, vol. 172, p. 3655–3668, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.218>.

WICKE, Birka; DORNBURG, Veronika; JUNGINGER, Martin; FAAIJ, André. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. **Biomass and Bioenergy**, vol. 32, no. 12, p. 1322–1337, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.001>.

YÁÑEZ ANGARITA, Edgar Eduardo. Avaliação do impacto energético e ambiental da cogeração no balanço energético e no ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma africana. **Juno.Unifei.Edu.Br**, , p. 0–253, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672010000100030>.

YÁÑEZ ANGARITA, Edgar Eduardo; SILVA LORA, Electo Eduardo; DA COSTA, Rosélis Ester; TORRES, Ednildo Andrade. The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. **Renewable Energy**, vol. 34, no. 12, p. 2905–2913, 2009a. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.007>.

YÁÑEZ ANGARITA, Edgar Eduardo; SILVA LORA, Electo Eduardo; DA COSTA, Rosélis Ester; TORRES, Ednildo Andrade. The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. **Renewable Energy**, vol. 34, no. 12, p. 2905–2913, 2009b. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.007>.

YUSNIATI; PARINDURI, Luthfi; SULAIMAN, Oris Krianto. Biomass analysis at palm oil factory as an electric power plant. **Journal of Physics: Conference Series**, vol. 1007, no. 1, 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1007/1/012053>.

YUSOFF, S; HANSEN, S B. Feasibility study of performing an life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, vol. 12, no. 1, p. 50–58, 2007. <https://doi.org/10.1065/lca2005.08.226>.

ZAMBRANO, Jorge E. Los híbridos interespecíficos elaeis oleífera HBK. x Elaeis guineensis Jacq. : una alternativa de renovación para la Zona Oriental de Colombia. **Revista Palmas - Vol 25 No. Especial, Tomo II, 2004**, vol. 25, no. especial, p. 339–349, 2004. Available at: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098>.

ZAMBRANO, Jorge E.; AMBLARD, Philippe. Results of Interspecific Hybrid Cultivation Elaeis oleifera x Elaeis. **Palmas**, vol. 28, 2007. .

APÊNDICE A

 INGEOMINAS INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA República de Colombia	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ENSAYOS Y SERVICIOS	GLQ - 617
		18-08-2010
		Página 1 de 2

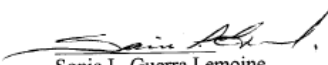
REMITENTE	CENILPAMA mgualdron@cenipalma.org
DIRECCIÓN	Calle 20A No. 43A-50 Bogotá, D. C.
TELÉFONO	2086300
TIPO DE MUESTRA	Carbón
PROCEDENCIA	No indicada
SOLICITUD No.	432 de 11-08-2010

F-LAB-PES-006 V.2

MUESTRA REFERENCIA	18751-E Cáscara Híbrido	18752-E Almendro Híbrido	NORMA ASTM D
<u>Resultados en la muestra como se recibe:</u>			
Humedad residual, % masa	13,17	6,23	3173-03(07)
Materia volátil, % masa	66,75	83,83	3175-07(07)
Cenizas, % masa	1,34	2,19	3174-04(07)
Carbono fijo (calculado), % masa	18,74	7,75	Por diferencia
Azufre, % masa	0,02	0,22	4239-05(07)
Poder calorífico, Btu/lb	7867	11071	5865-07a
Poder calorífico, J/g	18330	25795	5865-07a
Carbono, % masa	47,50	57,34	5373-07(07)
Hidrógeno, % masa	6,40	8,59	5373-07(07)
Nitrógeno, % masa	0,44	1,44	5373-07(07)
Oxígeno (calculado), % masa	44,30	30,22	5373-07(07)

Notas

- Los resultados del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida y no a otro material de la misma procedencia.
- El Laboratorio no se hace responsable de las posibles interpretaciones surgidas por la reproducción parcial del informe.


 Sonia L. Guerra Lemoine
 Química, MPQ-0112

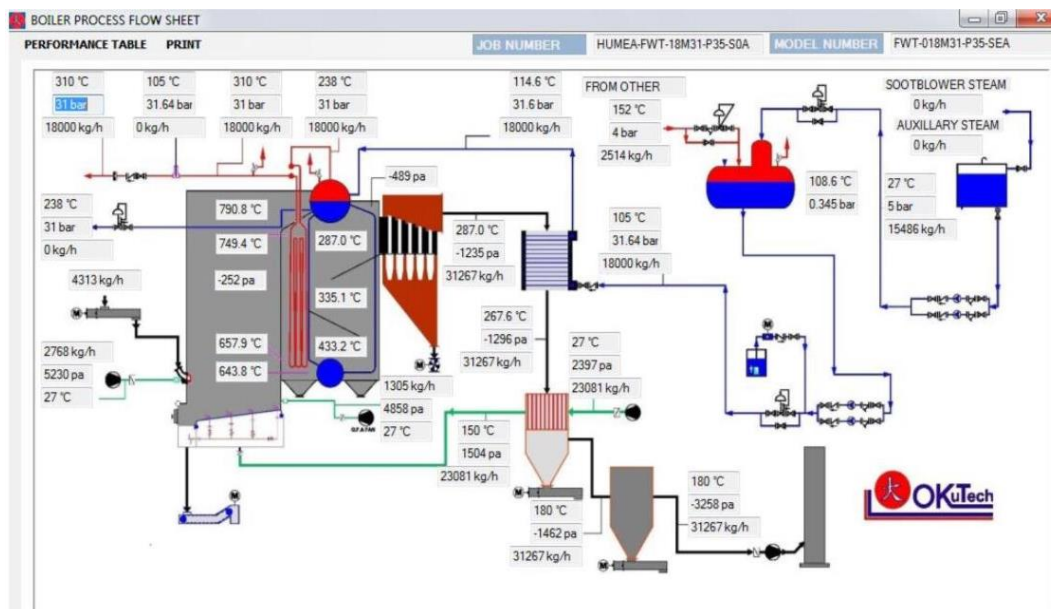
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - INGEOMINAS
 Diagonal 53 No 34 - 53, Bogotá, D. C. Teléfonos 220 02 52 - 220 02 56
 www.ingecolombiana.gov.co

Especificações da Turbina

Serial Number	11D8599
Turbine Frame	703E
Driven Machine	Synchronous Generator
Number of Stages	One Curtis
Turbine Rating	1341HP (1000 KW) at 5400 RPM
Turbine Rotation (Viewed from Governor End)	Counterclockwise
Inlet Steam Conditions	30 BARG at 300°C
Exhaust Pressure	3.5 BARG at 177°C
Casing Material:	Cast Steel
Shaft Packing:	Carbon Rings
	Steam End
	Exhaust End
	Five
	Five
Speed Governor:	Woodward 505
Speeds	<u>Turbine</u>
Maximum	5616 RPM
Normal	5400 RPM
Minimum	5184 RPM
1st Critical	7700 RPM
2nd Critical	
NOTE: Magnetic Pickup Gear Has 30 Teeth	
Turbine Weights:	See Outline Drawing, 6100698 Figure A-3

POWER HP KW	SPEED (RPM)	P Inlet PSIG BARG	T Inlet °F °C	P Exhst. PSIG BARG	STEAM RATE LB/HP*HR KG/KW HR	No. of Hand Valves Open	No. of Hand Valves Closed
1341	5400	435.1	572	50.8	34.2	2	0
1000		30	300	3.5	20.8		
1298	5400	435.1	572	50.8		0	2
968		30	300	3.5			
874	5400	435.1	572	50.8		0	2
652		30	300	3.5			
689	5400	435.1	572	50.8		0	2
514		30	300	3.5			
1298	5400	290.1	572	50.8		2	0
968		20	300	3.5			
874	5400	290.1	572	50.8		0	2
652		20	300	3.5			
689	5400	290.1	572	50.8		0	2
514		20	300	3.5			

Especificações da Caldeira



Cat® C27

Diesel Generator Sets



Image shown may not reflect actual configuration

Bore – mm (in)	137.2 (5.4)
Stroke – mm (in)	152.4 (6.0)
Displacement – L (in³)	27.03 (1649.47)
Compression Ratio	16.5:1
Aspiration	TA
Fuel System	MEUI
Governor Type	ADEM™ A4

Standby 60 Hz kW (kVA)	Prime 60 Hz kW (kVA)	Standby 60 Hz kW (kVA)	Prime 60 Hz kW (kVA)	Emissions Performance
750 (937)	680 (850)	800 (1000)	725 (906)	Optimized for Low Fuel Consumption

Standard Features

Cat® Diesel Engine

- Designed and optimized for low fuel consumption
- Reliable performance proven in thousands of applications worldwide

Generator Set Package

- Accepts 100% block load in one step and meets other NFPA 110 loading requirements
- Conforms to ISO 8528-5 G3 load acceptance requirements
- Reliability verified through torsional vibration, fuel consumption, oil consumption, transient performance, and endurance testing

Alternators

- Superior motor starting capability minimizes need for oversizing generator
- Designed to match performance and output characteristics of Cat diesel engines

Cooling System

- Cooling systems available to operate in ambient temperatures up to 50°C (122°F)
- Tested to ensure proper generator set cooling

EMCP 4 Control Panels

- User-friendly interface and navigation
- Scalable system to meet a wide range of installation requirements
- Expansion modules and site specific programming for specific customer requirements

Warranty

- 24 months/1000-hour warranty for standby and mission critical ratings
- 12 months/unlimited hour warranty for prime and continuous ratings
- Extended service protection is available to provide extended coverage options

Worldwide Product Support

- Cat dealers have over 1,800 dealer branch stores operating in 200 countries
- Your local Cat dealer provides extensive post-sale support, including maintenance and repair agreements

Financing

- Caterpillar offers an array of financial products to help you succeed through financial service excellence
- Options include loans, finance lease, operating lease, working capital, and revolving line of credit
- Contact your local Cat dealer for availability in your region

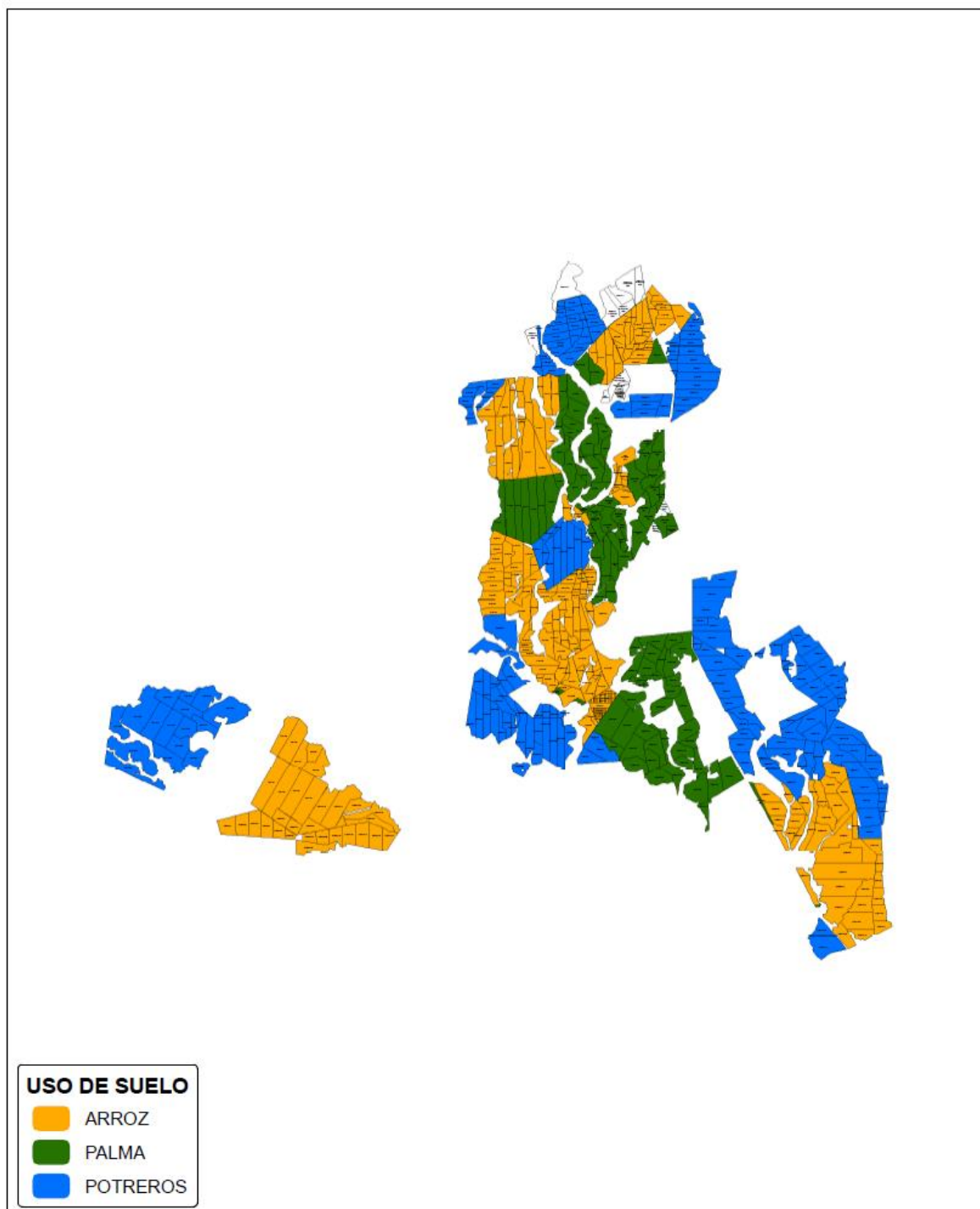
C27 Diesel Generator Sets Electric Power



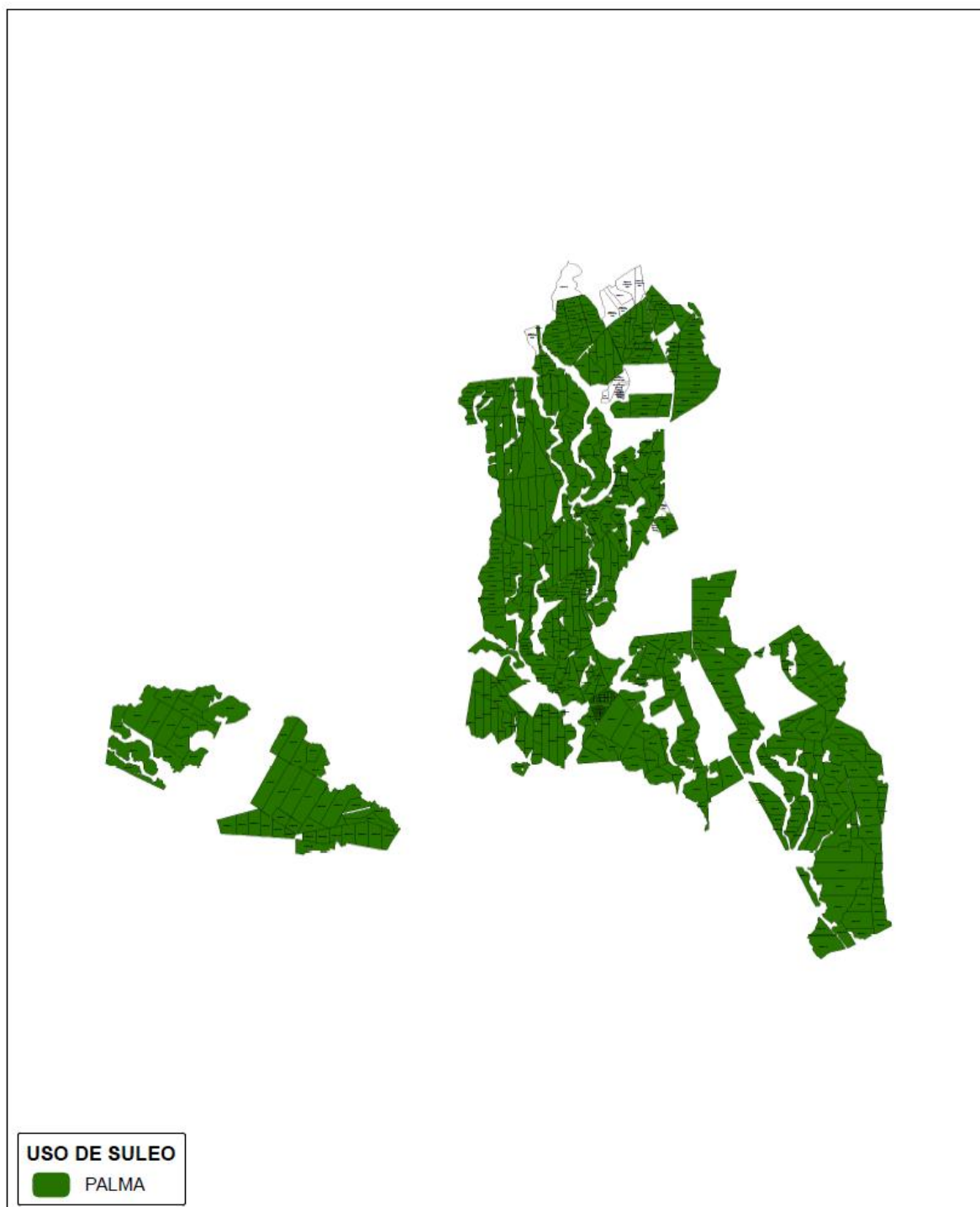
Package Performance

Performance	Standby	Prime	Standby	Prime
Frequency	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Gen set power rating with fan	750 ekW	680 ekW	800 ekW	725 ekW
Gen set power rating with fan @ 0.8 power factor	937 kVA	850 kVA	1000 kVA	908 kVA
Emissions	Low Fuel	Low Fuel	Low Fuel	Low Fuel
Performance number	DM9072-01	DM9074-02	DM9068-01	DM9070-02
Fuel Consumption				
100% load with fan – L/hr (gal/hr)	200.3 (52.9)	183.1 (48.4)	213.3 (56.3)	196.2 (51.8)
75% load with fan – L/hr (gal/hr)	154.4 (40.8)	141.6 (37.4)	164.6 (43.5)	150.4 (39.7)
50% load with fan – L/hr (gal/hr)	111.2 (29.4)	102.9 (27.2)	117.3 (31.0)	108.3 (28.6)
25% load with fan – L/hr (gal/hr)	69.1 (18.3)	64.8 (17.1)	72.0 (19.0)	67.5 (17.8)
Cooling System				
Radiator air flow restriction (system) – kPa (in. water)	0.12 (0.48)	0.12 (0.48)	0.12 (0.48)	0.12 (0.48)
Radiator air flow – m ³ /min (cfm)	1200 (42377)	1200 (42377)	1200 (42377)	1200 (42377)
Engine coolant capacity – L (gal)	55.0 (14.5)	55.0 (14.5)	55.0 (14.5)	55.0 (14.5)
Radiator coolant capacity – L (gal)	41.0 (10.0)	41.0 (10.0)	41.0 (10.0)	41.0 (10.0)
Total coolant capacity – L (gal)	96 (24.5)	96 (24.5)	96 (24.5)	96 (24.5)
Inlet Air				
Combustion air inlet flow rate – m ³ /min (cfm)	55.0 (1942.9)	52.0 (1835.4)	58.2 (2055.3)	56.2 (1984.1)
Exhaust System				
Exhaust stack gas temperature – °C (°F)	515.9 (960.6)	503.0 (937.4)	523.6 (974.4)	506.5 (943.6)
Exhaust gas flow rate – m ³ /min (cfm)	150.2 (5303.8)	139.0 (4907.9)	160.3 (5661.7)	151.6 (5351.4)
Exhaust system backpressure (maximum allowable) – kPa (in. water)	6.7 (27.0)	6.7 (27.0)	6.7 (27.0)	6.7 (27.0)
Heat Rejection				
Heat rejection to jacket water – kW (Btu/min)	334 (19012)	316 (17959)	350 (19909)	330 (18760)
Heat rejection to exhaust (total) – kW (Btu/min)	713 (40526)	651 (37011)	765 (43510)	708 (40287)
Heat rejection to aftercooler – kW (Btu/min)	121 (6855)	105 (5998)	140 (7966)	129 (7319)
Heat rejection to atmosphere from engine – kW (Btu/min)	109 (6208)	96 (5477)	105 (5950)	93 (5285)
Heat rejection from alternator – kW (Btu/min)	47 (2673)	41 (2337)	57 (3213)	50 (2866)
Emissions (Nominal)				
NOx mg/Nm ³ (g/hp-h)	3359.5 (6.74)	3178.9 (6.37)	3371.2 (6.20)	2847.5 (5.71)
CO mg/Nm ³ (g/hp-h)	119.8 (0.24)	118.0 (0.23)	137.1 (0.25)	120.2 (0.24)
HC mg/Nm ³ (g/hp-h)	6.9 (0.02)	8.7 (0.02)	7.7 (0.02)	9.4 (0.02)
PM mg/Nm ³ (g/hp-h)	7.7 (0.02)	7.5 (0.02)	5.0 (0.01)	4.4 (0.01)
Emissions (Potential Site Variation)				
NOx mg/Nm ³ (g/hp-h)	4085.0 (8.15)	3846.5 (7.71)	4079.2 (7.51)	3445.5 (6.91)
CO mg/Nm ³ (g/hp-h)	224.0 (0.45)	220.6 (0.44)	256.4 (0.48)	224.8 (0.45)
HC mg/Nm ³ (g/hp-h)	13.0 (0.03)	16.5 (0.04)	14.6 (0.03)	17.7 (0.04)
PM mg/Nm ³ (g/hp-h)	15.0 (0.04)	14.7 (0.04)	9.8 (0.02)	8.7 (0.02)

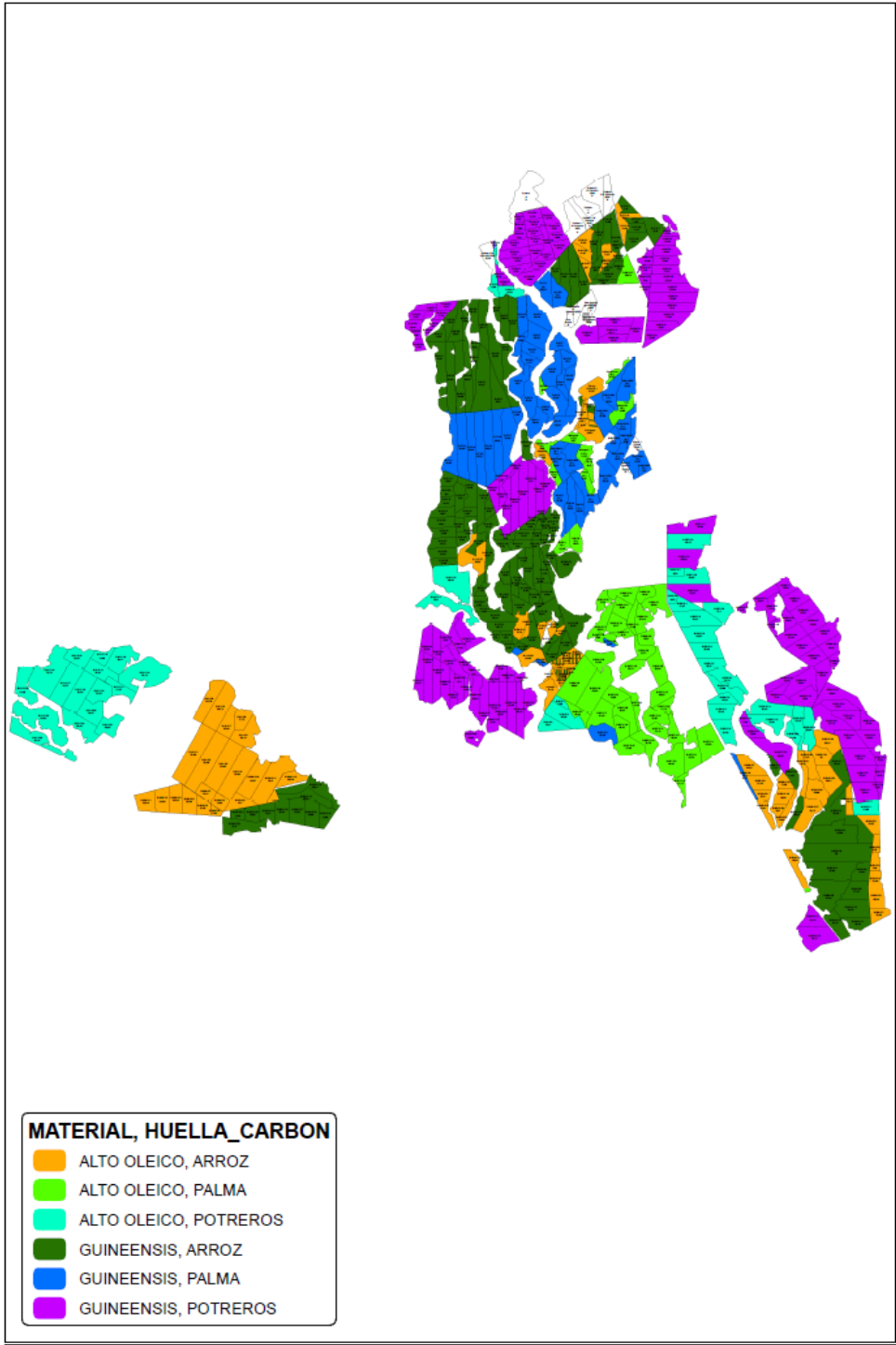
USO DA TERRA ANTES



USO DA TERRA DEPOIS



USO DA TERRA POR MATERIAL E PEGADA DO CARBONO



**FORMULÁRIO DE INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA
PARA PRODUÇÃO DE CACHOS DE FRUTAS FRESCAS COM ALTO TEOR
DE OLEICO.**

Edad da Palma	año	2018	Observaciones
Hectáreas actuales sembradas con palma	ha		
Variedad específica, o código (Especificación variedad)	n.a		
Edad del cultivo (ha)	ha < 5 años		
	ha: 5 -15 años		
	ha:15 – 25 años		
	ha > 25 años		
Producción de RFF	t RFF/año		
Densidad de Siembra	Palmas/ha		Especificar todas las edades de siembra con sus respectivas ha sembradas hasta el año 2018
Precipitación anual	mm/año		
Riego	m ³ /ha		
Consumo diésel en campo	Galones/año		
Consumo de diésel para el establecimiento del cultivo	Galones/ha		
Consumo Lubricantes	Galones/año		
Consumo Gasolina	Galones /año		
Histórico de productividad anual últimos 25 años (Lotes con riego)	ton RFF/há/año		Lotes sin riego (ingresar el valor de productividad año a año desde el primer año de cosecha)
Histórico de productividad anual últimos 25 años (Lotes sin riego)	ton RFF/há/año		Lotes con riego (ingresar el valor de productividad año a año desde el primer año de cosecha)
Consumo energía en campo	Kwh/año		
Consumo de Polen	Kg/año		

Agroquímicos			
Nombre	Tipo (Insecticida, plaguicidas...)	Cantidad al año (kg/año o l/año)	Adjuntar ficha técnica del producto

Fertilizantes			
Nombre comercial	Composición Nutrimento (N,P,K...)	Cantidad (kg/año)	Adjuntar ficha técnica del producto

Fertilización orgánica								
Biomasa	Cantidad (kg/año)	Área aplicada (ha)	Composición (%)					
			N	P	K	Ca	Mg	Humedad
Tusa								
Tusa prensada								
Fibra								
Efluentes								
Compostaje								
Lodos lagunas								

Cambio de uso del suelo (25 AÑOS)	
Cobertura inicial	Hectáreas (ha)
pastos y cultivos de bajo porte	
vegetación natural y cultivos de alto porte	
vegetación herbácea y arbustiva	
áreas abiertas	
cuerpos de agua, drenajes y áreas encharcadas	
sin información	
Otros (especifique)	

Transporte		
Densidad de Fruto	kg/m3	
Consumo combustible de camión descargado	galones/km	
Consumo combustible de camión cargado de RFF	galones/km	
Consumo combustible de camión cargado de Tusas	galones/km	
Los camiones regresan cargados de Tusa o vacíos	galones/km	
Kilometro promedio cultivo a planta	km	

Transporte de racimos de fruto fresco			
Tipo de vehículo	Capacidad máxima (toneladas)	Distancia promedio recorrida (km)	Consumo de diésel al año (galones/año)
Camión			
Tractor			