



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



LUIZ FELIPE DE SOUZA DOS SANTOS

METODOLOGIA INTEGRADA PARA CÁLCULO DE
EMISSÕES POR FONTE ENERGÉTICA: APLICAÇÃO NO
SETOR AGROINDUSTRIAL

Uberlândia, MG

2025

LUIZ FELIPE DE SOUZA DOS SANTOS

METODOLOGIA INTEGRADA PARA CÁLCULO DE EMISSÕES
POR FONTE ENERGÉTICA: APLICAÇÃO NO SETOR
AGROINDUSTRIAL

Projeto de Monografia de graduação apresentado à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Química.

Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Engenharia Química

Curso de Graduação em Engenharia Química

Orientador: Sérgio Mauro da Silva Neiro

Uberlândia, MG

2025

LUIZ FELIPE DE SOUZA DOS SANTOS

**METODOLOGIA INTEGRADA PARA CÁLCULO DE EMISSÕES
POR FONTE ENERGÉTICA: APLICAÇÃO NO SETOR
AGROINDUSTRIAL**

Projeto de Monografia de graduação apresentado à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Química.

Trabalho aprovado. Uberlândia, MG, 30 de Setembro de 2025:

Sérgio Mauro da Silva Neiro
Orientador - FEQUI-UFU

Libia Diniz Santos
Professora Doutora - FEQUI UFU

Rubens Gedraite
Professor Doutor - FEQUI UFU

Uberlândia, MG

2025

“São as perguntas que não sabemos responder que mais nos ensinam.”.

Patrick Rothfuss, O Temor do Sábio

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Eva Ferreira e Jaime Arruda que me apoiaram desde o momento da aprovação no curso até este momento, nas conquistas e nos desafios. Se cheguei até aqui, foi pelo apoio de vocês.

Ao meu irmão, João Paulo, por ter sido o primeiro a acreditar na decisão de cursar Engenharia Química em outro estado e por me lembrar sempre que devemos buscar e ir atrás do que desejamos, independente das circunstâncias.

A minha noiva, Ana Luísa, que sempre me forneceu suporte e apoio nos momentos difíceis e que me ensinou que devemos comemorar todas as vitórias, desde as grandiosas até as mais modestas. Obrigado por estar sempre comigo nesta jornada.

Também gostaria de agradecer todas as grandes amizades que fiz neste caminho. Em especial agradeço a Ana Vitória, Janderson Lucas, Felipe Schultz, Yasmin, João Vicente, Lucas Isaías, Julia Peres e Rodrigo Cunha. E também agradeço aos amigos de infância Brian Pires e Luiz Miguel.

E, por fim, agradeço aos docentes do curso de Engenharia Química, pela generosidade em compartilhar conhecimento.

RESUMO

Este trabalho apresenta a quantificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), expressas em *CO₂ equivalente* (tCO₂e), a partir dos consumos anuais de combustíveis e eletricidade de unidades de uma corporação do setor agroindustrial e alimentício na América Latina. Adotou-se o *GHG Protocol Corporate Standard* para a definição de fronteiras organizacionais e operacionais, com foco nos Escopos 1 (emissões diretas) e 2 (emissões indiretas da eletricidade adquirida). A metodologia consolidou fatores de emissão por gás (CO₂, CH₄ e N₂O), padronizou as diferentes fontes energéticas para megawatt-hora (MWh) e calculou as emissões por fonte e por unidade, garantindo comparabilidade temporal e entre locais.

Os resultados foram sintetizados em um *dashboard* interativo, que permite identificar os maiores consumidores de energia, os principais emissores e a contribuição relativa de cada fonte. Observou-se predominância de emissões associadas a gás natural, eletricidade e diesel, enquanto combustíveis de base biomassa apresentaram intensidades inferiores dentro das hipóteses adotadas. O uso de indicadores normalizados (por produção ou por energia útil) mostrou-se crucial para priorizar ações de eficiência, substituição de combustíveis e mitigação operacional.

Como limitações, destacam-se a dependência da qualidade dos dados primários e a variabilidade de fatores de emissão por país e por combustível. Ainda assim, o estudo entrega um procedimento replicável, transparente e alinhado a referenciais reconhecidos, oferecendo suporte objetivo à tomada de decisão, ao atendimento regulatório e ao acompanhamento de metas corporativas de descarbonização.

Palavras-chave: emissões de GEE; fatores de emissão; descarbonização; consumo de energia; agroindústria; *dashboard* analítico.

ABSTRACT

This work presents the quantification of greenhouse gas (GHG) emissions, expressed as *carbon dioxide equivalent* (tCO₂e), based on annual consumption of fuels and electricity across units of a corporation in the agro-industrial and food sector in Latin America. The *GHG Protocol Corporate Standard* was adopted to define organizational and operational boundaries, focusing on Scope 1 (direct emissions) and Scope 2 (indirect emissions from purchased electricity). The methodology consolidated gas-specific emission factors (CO₂, CH₄, and N₂O), standardized diverse energy sources to megawatt-hour (MWh), and computed emissions by source and by site, ensuring temporal and cross-location comparability.

Results were summarized in an interactive dashboard that highlights the largest energy consumers, the main emitters, and the relative contribution of each source. A predominance of emissions associated with natural gas, electricity, and diesel was observed, whereas biomass-based fuels showed lower intensities under the adopted assumptions. The use of normalized indicators (per production or per useful energy) proved crucial to prioritize efficiency measures, fuel switching, and operational mitigation.

Limitations include dependence on primary data quality and the variability of emission factors by country and fuel. Even so, the study delivers a replicable and transparent procedure aligned with recognized references, providing objective support for decision-making, regulatory compliance, and tracking corporate decarbonization targets.

Keywords: GHG emissions; emission factors; decarbonization; energy consumption; agribusiness; analytical dashboard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Captura de tela do dashboard preparado para auxilio	20
Figura 2 – Emissões totais versus intensidade por divisão de negócios e país.	22
Figura 3 – Emissões totais versus intensidade por localidade e país.	23
Figura 4 – Gráfico com principais localidades emissoras com demarcação de localidades responsáveis por 80% das emissões totais	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poder Calorífico Inferior dos Combustíveis de Estudo	6
Tabela 2 – Consolidado dos fatores de emissão de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O de diferentes combustíveis	8
Tabela 3 – Fatores médios de emissão de eletricidade por país.	10
Tabela 4 – Valores de Potencial de Aquecimento Global relativo a CO ₂	11
Tabela 5 – Consolidação do Consumo Total de energia e energias em megawatt-hora	18
Tabela 6 – Consolidação do Consumo Total de Combustível	18
Tabela 7 – Consolidação das Emissões de CO ₂ e Totais por Combustível	19
Tabela 8 – Consolidação das Emissões de CO ₂ e Totais por Divisão de Negócio	20
Tabela 9 – Consolidação das Emissões de CO ₂ e Totais por País	21
Tabela 10 – Emissões anuais por combustível: Divisão <i>Nutrição Animal</i> do México	25
Tabela 11 – Emissões totais de tCO ₂ e das Localidades do Paraguai.	26
Tabela 12 – Emissões totais de tCO ₂ e por energia das Localidades OIL-BRA-002 e OIL-BRA-051	26
Tabela 13 – Consolidação do Consumo de Combustíveis e energia por localidade	35
Tabela 14 – Consolidação do Consumo Total de Combustível e energias em megawatt-hora	39
Tabela 15 – Consolidação de Emissões Por Localidade em Toneladas de CO ₂ e	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Relatório de Avaliação do IPCC (citado como: AR4, AR5 e AR6)
BI	<i>Business Intelligence</i> (Inteligência de Negócios)
CBAM	<i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i> (Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira)
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
EIA	<i>Energy Information Administration</i> (Administração de Informações de Energia)
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental)
ETS	<i>Emissions Trading System</i> (Sistema de Comércio de Emissões)
GEE	Gases de efeito estufa
GHG	<i>Greenhouse Gases</i> (gases de efeito estufa)
GJ	Gigajoule
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global)
MJ	Megajoule
MWh	Megawatt-hora
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Óxidos de nitrogênio
O ₂	Oxigênio
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões
TJ	Terajoule
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i> (Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável)
WRI	<i>World Resources Institute</i> (Instituto de Recursos Mundiais)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	PADRÃO CORPORATIVO DO PROTOCOLO GEE	4
2.2	PODER CALORÍFICO INFERIOR E PODER CALORÍFICO SUPERIOR	5
2.3	PADRONIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA	6
2.3.1	PODER CALORÍFICO INFERIOR PARA PADRONIZAÇÃO	6
2.4	EMISSIONES DE CO ₂ , CH ₄ E N ₂ O NA COMBUSTÃO	7
2.5	FATORES DE EMISSÃO	7
2.5.1	FATORES DE EMISSÃO DE COMBUSTÍVEIS CONSUMIDOS (ESCOPO 1)	7
2.5.2	FATORES DE EMISSÃO DE ELETRICIDADE CONSUMIDA (ESCOPO 2)	8
2.6	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP)	10
2.7	CONVERSÃO PARA CO ₂ EQUIVALENTE (CO ₂ E)	11
2.8	MICROSOFT EXCEL	12
2.9	MICROSOFT POWER BI	13
3	METODOLOGIA	14
3.1	OBJETO DE ESTUDO E CONTEXTO ORGANIZACIONAL	14
3.2	ESCOPO, PERÍODO E LIMITES DO SISTEMA	14
3.3	FONTES DE DADOS E PRÉ-PROCESSAMENTO	14
3.4	CONVERSÃO DE CONSUMO EM ENERGIA	15
3.5	CÁLCULO DAS EMISSIONES	15
3.6	NORMALIZAÇÃO, RANKINGS E INDICADORES	16
3.7	VISUALIZAÇÃO ANALÍTICA	16
3.8	CONTROLE DE QUALIDADE, INCERTEZAS E PREMISAS	17
3.9	ÉTICA, CONFIDENCIALIDADE E REPRODUTIBILIDADE	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
4.1	VISUALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EM <i>DASHBOARD</i>	19
4.2	EMISSIONES POR DIVISÃO DE NEGÓCIOS E PAÍS	20
4.3	LOCALIDADES COM MAIOR CONTRIBUIÇÃO DE EMISSIONES.	22
4.4	ESTUDO DE EMISSIONES E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO EM SETORES ESTRATÉGICOS.	23
4.4.1	NUTRIÇÃO ANIMAL NO MÉXICO.	23

4.4.2	LOCALIZAÇÕES DO PARAGUAI.	25
4.4.3	OLEOGINOSAS NAS LOCALIZAÇÕES DO BRASIL	26
5	CONCLUSÕES	28
	REFERÊNCIAS	30
	APÊNDICES	33
	APÊNDICE A – TABELAS DE COMBUSTÍVEIS CON- SUMIDOS E RESULTADOS OBTIDOS	34

1 INTRODUÇÃO

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) referem-se à liberação desse gás para a atmosfera por processos naturais e, sobretudo, por ação humana como a queima de combustíveis fósseis, mudanças de uso da terra e processos industriais. O CO₂ é um gás de efeito estufa capaz de absorver e reemitir radiação infravermelha, contribuindo para o desequilíbrio do balanço radiativo do sistema climático (IPCC, 2021). A literatura científica consolidada pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) indica, com alto grau de confiança, que o aumento da concentração atmosférica de CO₂ desde o período pré-industrial decorre predominantemente de atividades humanas e é o principal motor das mudanças climáticas contemporâneas (IPCC, 2021).

A trajetória das emissões de CO₂ acompanha a evolução do sistema energético desde a Primeira Revolução Industrial (meados do século XVIII), quando o carvão sustentou a mecanização e o transporte a vapor. A Segunda Revolução Industrial (final do século XIX e início do XX) agregou eletricidade, petróleo e processos químicos em escala, ampliando a intensidade energética das cadeias produtivas. No pós-guerra, diversos indicadores socioeconômicos como a industrialização, a urbanização e o comércio e, também, de indicadores como concentrações de GEE, passaram a crescer de forma sincronizada, fenômeno sintetizado como "Grande Aceleração" a partir de aproximadamente 1950 (STEFFEN et al., 2015). Esse período marca uma inflexão no ritmo das emissões globais, vinculada à expansão de infraestrutura, consumo e cadeias globais de suprimentos. Embora inovações em eficiência, eletrificação e fontes renováveis venham reduzindo a intensidade de carbono em alguns setores, a escala absoluta de produção e consumo mantém a relevância da mitigação (IPCC, 2021).

Para medir, gerenciar e reportar emissões com consistência entre organizações e setores, o *Greenhouse Gas Protocol* (Protocolo de Gases de Efeito Estufa) tornou-se referência internacional, desenvolvido pelo *World Resources Institute* (WRI) e pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) (WRI; WBCSD, 2004). O *Corporate Accounting and Reporting Standard* (Padrão Corporativo de Contabilidade e Relato) define princípios e limites organizacionais e operacionais e, sobretudo, a classificação das emissões em três escopos: Escopo 1 (emissões diretas), Escopo 2 (emissões indiretas associadas a eletricidade, vapor, aquecimento e resfriamento adquiridos) e Escopo 3 (outras emissões indiretas na cadeia de valor, *upstream/downstream*) (WRI; WBCSD, 2004).

A motivação para o cálculo sistemático de emissões corporativas não é apenas ambiental, é econômica e regulatória. A precificação de carbono, por meio de impostos sobre carbono e sistemas de comércio de emissões (ETS, "*emissions trading systems*"), expandiu-se globalmente. Em 2025, o relatório *State and Trends of Carbon Pricing* do Banco Mundial estimou cerca de

28% das emissões globais cobertas por um preço direto de carbono e mais de US\$ 100 bilhões em receitas públicas em 2024 ([World Bank, 2025b](#); [World Bank, 2025a](#)). Na União Europeia, o *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM — Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira) encontra-se em fase transitória desde 1º de outubro de 2023, com reporte trimestral obrigatório até 31 de dezembro de 2025; a fase definitiva inicia-se em 1º de janeiro de 2026, quando passa a haver obrigação financeira associada à compra e entrega de certificados ([European Commission, 2025](#)).

No Brasil, a Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024, institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE (SBCE), criando a base legal para um mercado regulado com limites de emissões e ativos transacionáveis ([Brasil, 2024](#); [Presidência da República, 2024](#)). A combinação de instrumentos regulatórios (CBAM, mercados de carbono, requisitos de reporte) e exigências de compradores internacionais por transparência de emissões incorporadas reforça a necessidade de inventários robustos e padronizados como competência-chave de conformidade e competitividade.

A mensuração confiável exige padronizar dados, métodos e unidades. Em inventários corporativos, é prática converter consumos energéticos para uma base comum (por exemplo, MWh) e aplicar fatores de emissão consistentes por combustível e por atividade. Para fontes de combustão, as *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Diretrizes do IPCC para Inventários Nacionais de GEE) — 2006 e a *2019 Refinement* (Refinamento 2019) — fornecem metodologias por níveis (*tiers*) que vão de fatores médios (Tier 1) a abordagens específicas baseadas em dados medidos (Tier 2/3) ([IPCC, 2006](#); [IPCC, 2019](#)). Para eletricidade adquirida, as abordagens *location-based* e *market-based* requerem a seleção transparente de fatores (médias de rede, instrumentos contratuais), com documentação das hipóteses e das fontes ([WRI; WBCSD, 2004](#)).

Outra decisão crítica é a escolha do conjunto de GWP (por exemplo, valores do AR6 vs. AR5/AR4); a consistência temporal e a declaração explícita do conjunto adotado são essenciais para reprodutibilidade e comparabilidade ([IPCC, 2021](#)). Além disso, a qualidade dos dados depende de procedimentos de garantia e controle, rastreabilidade de origens (faturas, medições, sistemas supervisórios), tratamento de lacunas de dados, conversões de unidades e controle de versão de fatores de emissão, todos aspectos contemplados nas diretrizes do IPCC ([IPCC, 2006](#)).

O setor agroindustrial, na América Latina, opera com matrizes energéticas heterogêneas (biomassas sólidas, gás natural, diesel, eletricidade de redes com intensidades distintas), frequentemente distribuídas em múltiplas unidades e países. Essa diversidade acentua a importância da padronização e da correta aplicação de fatores de emissão específicos por combustível e por país, além da documentação clara das fronteiras organizacionais (controle operacional ou financeiro) e operacionais (escopos) ([WRI; WBCSD, 2004](#)). A consolidação de um inventário que integre as diversas fontes, normalize consumos para MWh e reporte em CO₂e oferece a linha de base necessária para identificar principais contribuintes, priorizar projetos de mitigação e antecipar

exigências regulatórias como CBAM e mercados de carbono nacionais.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho é de quantificar as emissões anuais de GEE (em tCO₂e) de unidades de uma empresa do setor agroindustrial e alimentício, a partir de dados de consumo de combustíveis e eletricidade, padronizando as diversas fontes energéticas para MWh e aplicando fatores de emissão reconhecidos internacionalmente. E para alcançar tal propósito, a pesquisa se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

- i) Estruturar uma base consolidada de consumos energéticos por unidade e por fonte, com garantias mínimas de qualidade e rastreabilidade.
- ii) Converter todos os consumos para uma unidade energética comum (MWh), documentando poderes caloríficos e hipóteses adotadas.
- iii) Aplicar fatores de emissão por combustível e por eletricidade, explicitando o conjunto de GWP utilizado.
- iv) Calcular e analisar emissões totais e normalizadas, identificando principais contribuintes e oportunidades de mitigação dentro do entendimento do contexto regulatório.
- v) Desenvolver um *dashboard* analítico para visualização e apoio à tomada de decisão gerencial, favorecendo transparência e governança de dados.

A estrutura do trabalho foi organizada para refletir essa progressão. Após esta Introdução, o [Capítulo 2](#), Revisão Bibliográfica, discute conceitos de emissões de GEE e metodologias de inventário. Em seguida, o [Capítulo 3](#), Metodologia, descreve a modelagem de dados, os critérios de padronização (MWh), a seleção de fatores de emissão e os procedimentos de cálculo. O [Capítulo 4](#), Resultados e Discussões, apresenta análises descritivas e comparativas entre unidades e fontes energéticas, destacando implicações operacionais e gerenciais. Por fim, no [Capítulo 5](#), Conclusões sintetizam achados, limitações e recomendações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PADRÃO CORPORATIVO DO PROTOCOLO GEE

O GHG Protocol Corporate Standard é o padrão internacional mais difundido para contabilização e relato corporativo de emissões de gases de efeito estufa. Desenvolvido conjuntamente pelo World Resources Institute (WRI) e pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) no final da década de 1990 ([WBCSD, 2025](#)), esse protocolo foi lançado oficialmente em 2001 e desde então tornou-se a principal referência (de fato) para inventários de emissões em empresas e demais organizações ([WBCSD, 2025](#)). Ele fornece requisitos e orientações para que as empresas quantifiquem suas emissões de GEE de forma consistente e padronizada, estabelecendo princípios (relevância, completude, consistência, transparência e exatidão) e procedimentos para a elaboração de um inventário corporativo de GEE ([WBCSD, 2025](#)). Um dos conceitos centrais introduzidos pelo GHG Protocol é a classificação das emissões em três categorias denominadas escopos ([WRI; WBCSD, 2004](#)):

Escopo 1: abrange todas as emissões diretas de GEE provenientes de fontes que pertençam à empresa ou estejam sob seu controle. Inclui, por exemplo, a combustão de combustíveis em caldeiras e veículos próprios, processos industriais internos e vazamentos de gases refrigerantes em equipamentos da organização ([WRI; WBCSD, 2004](#)). Em outras palavras, são as emissões geradas internamente pela própria empresa.

Escopo 2: refere-se às emissões indiretas associadas à geração da energia adquirida e consumida pela organização, tipicamente eletricidade comprada da rede (cujas emissões ocorrem na usina geradora) ou calor/vapor obtido de terceiros ([WRI; WBCSD, 2004](#)). A empresa reporta essas emissões separadamente, apesar de não ocorrerem em suas instalações, pois são consequência do consumo de energia pela organização.

Escopo 3: engloba todas as demais emissões indiretas que ocorrem ao longo da cadeia de valor da empresa, tanto a montante (upstream) quanto a jusante (downstream) de suas operações ([WRI; WBCSD, 2004](#)). Inclui até 15 categorias definidas, cobrindo, por exemplo, as emissões de fornecedores (na produção de matérias-primas, no transporte de insumos), viagens de negócios, deslocamento de funcionários, uso de produtos vendidos, tratamento de resíduos gerados, logística de distribuição, investimentos, entre outros. Em essência, o Escopo 3 abrange todas as fontes indiretas não contempladas no Escopo 2 e frequentemente representa a maior parcela da pegada de carbono de uma empresa ao longo do ciclo de vida de seus produtos.

Essa estruturação das emissões em escopos padroniza os limites organizacionais considerados e ajuda a evitar a dupla contagem de emissões. Por exemplo, a eletricidade consumida por uma empresa é contabilizada no Escopo 2 dessa empresa, mas ao mesmo tempo pertence ao

Escopo 1 da companhia geradora de energia elétrica. Para implementar o padrão GHG Protocol, as empresas devem inicialmente definir seus limites organizacionais (isto é, quais operações, unidades e ativos serão incluídos no inventário), em seguida coletar os dados de atividade pertinentes (consumo de combustíveis, uso de energia, etc.), aplicar os fatores de emissão apropriados e, por fim, reportar as emissões de cada escopo separadamente. A soma das emissões dos Escopos 1, 2 e 3 compõe o inventário total de GEE da organização. O GHG Protocol Corporate Standard também fornece orientações sobre ajustes retroativos (por exemplo, recalcular o inventário de base caso haja aquisições, desinvestimentos ou mudanças metodológicas), sobre o tratamento de compensações e reduções de emissões, além de prever que o relatório final seja auditável e transparente.

Esse protocolo serviu de base para diversos outros esquemas de contabilidade de emissões, como a norma ISO 14064-1 e vários programas de reporte voluntário e regulatório ao redor do mundo. Em resumo, o GHG Protocol Corporate Standard, desenvolvido pelo WRI/WBCSD, fornece às organizações um quadro robusto para quantificar e reportar suas emissões de GEE nos Escopos 1, 2 e 3 ([MASSON-DELMOTTE, 2021](#)), promovendo consistência e comparabilidade nos inventários corporativos de gases de efeito estufa em escala global.

2.2 PODER CALORÍFICO INFERIOR E PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O poder calorífico de um combustível corresponde à quantidade de energia liberada na sua combustão completa. São utilizadas duas definições principais para expressar essa energia: o Poder Calorífico Superior (PCS), que contabiliza todo o calor liberado, inclusive o proveniente da condensação da água formada na combustão, e o Poder Calorífico Inferior (PCI), que desconsidera esse calor latente da água ([Engecass, 2025](#)). Em outras palavras, assume-se no PCS que a água produzida pela queima se condensa (liberando calor adicional), enquanto no PCI considera-se que essa água permanece na fase vapor, não havendo recuperação do seu calor de vaporização ([Engecass, 2025](#)).

Consequentemente, o PCS é sempre maior que o PCI para um mesmo combustível. Em termos numéricos, o PCI geralmente corresponde a cerca de 90–95% do valor do PCS, variando conforme o teor de hidrogênio do combustível ([IPCC, 2006](#)). Por exemplo, em combustíveis líquidos e sólidos, como óleos e o carvão, o PCI fica aproximadamente 5% abaixo do PCS, enquanto para o gás natural a diferença é da ordem de 10% ([IPCC, 2006](#)). Nos cálculos de emissões de combustíveis, costuma-se adotar o PCI como base, pois nos processos de combustão usuais os gases de exaustão saem quentes e a água permanece em vapor (não havendo recuperação do calor de condensação) ([Engecass, 2025](#)). As diretrizes do IPCC para inventários de GEE, por exemplo, recomendam expressar o conteúdo energético dos combustíveis pelo valor calorífico inferior para garantir consistência nos fatores de emissão e nos cálculos de CO₂ ([IPCC, 2006](#)).

2.3 PADRONIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

Para o cálculo das emissões de CO₂ resultantes da queima de combustíveis, recomenda-se converter o consumo de combustível, originalmente medido em unidades físicas (como litros ou toneladas), em unidades de energia (por exemplo, megajoules (MJ) ou gigajoules (GJ)). Essa conversão baseia-se no poder calorífico de cada combustível e é fundamental porque os fatores de emissão de gases de efeito estufa usualmente são fornecidos por unidade de energia liberada na combustão (BERTOLINI; DUTTILO; LISI, 2025) (EIA, 2024). Como diferentes combustíveis possuem teores de carbono e valores caloríficos distintos, o uso da energia como referência comum assegura uma comparação consistente das emissões entre diversos tipos de combustível (EIA, 2024). Além disso, padronizar os dados de consumo em termos energéticos garante que o cálculo de CO₂ esteja em conformidade com metodologias de inventário (tais como as do IPCC e do GHG Protocol), as quais exigem uma base uniforme de referência (seja adotado o poder calorífico superior ou o inferior) entre a atividade de combustão quantificada e os fatores de emissão aplicados (GILLENWATER, 2005). Em síntese, ao converter o consumo em valores de energia, é possível aplicar corretamente os fatores de emissão e obter resultados mais comparáveis e confiáveis no inventário de emissões da organização.

2.3.1 PODER CALORÍFICO INFERIOR PARA PADRONIZAÇÃO

Os combustíveis considerados a seguir estão entre os mais comumente utilizados nas localidades de estudo (e.g., em caldeiras estacionárias). Para cada combustível, apresenta-se seu poder calorífico inferior (PCI) típico e a energia equivalente por unidade de consumo, usando unidades padronizadas. Vale ressaltar que, para maior precisão em casos específicos, recomenda-se determinar experimentalmente o poder calorífico do combustível em uso, pois variações de composição podem alterar o conteúdo energético. Na Tabela 1 é possível ver os PCIs já calculados.

Tabela 1 – Poder Calorífico Inferior dos Combustíveis de Estudo

Combustíveis	Valor	Unidade
Bagaço de Cana de Açúcar	2,477	MWh/Tonelada
Cavaco de madeira	2,477	MWh/Tonelada
Diesel	0,00987	MWh/L
Gasolina	0,00897	MWh/L
GLP	0,01291	MWh/kg
Gas Natural	0,27778	MWh/GJ

Fonte: Adaptado de EPE (2025).

2.4 EMISSÕES DE CO₂, CH₄ E N₂O NA COMBUSTÃO

Na queima de combustíveis fósseis, os principais GEE emitidos são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), porém em proporções muito distintas. O CO₂ é o produto majoritário da oxidação do carbono, de modo que sua emissão depende quase exclusivamente do teor de carbono do combustível e da quantidade consumida, sendo pouco influenciada pela tecnologia empregada, desde que a combustão seja eficiente (AMOUS, 2006).

O CH₄ e o N₂O são formados em quantidades muito menores e estão associados a imperfeições do processo. O metano surge em condições de combustão incompleta, como deficiência de oxigênio ou baixas temperaturas de chama, sendo praticamente irrelevante em sistemas industriais eficientes, mas mais relevante em queimas rudimentares (EPA, 1998). Já o N₂O origina-se do nitrogênio do ar ou do combustível, sendo favorecido em temperaturas intermediárias (800–1200 K), e tende a se decompor em NO_x em temperaturas mais elevadas (EPA, 1998).

Em cenários de combustão subótima, podem ocorrer simultaneamente aumentos de CH₄ e N₂O, mas, ainda assim, suas quantidades absolutas são pequenas frente ao CO₂, que normalmente representa mais de 98% dos GEE liberados (AMOUS, 2006). Contudo, devido ao elevado potencial de aquecimento global desses gases, mesmo pequenas emissões têm impacto significativo e devem ser incluídas nos inventários, aplicando fatores específicos para cada tipo de fonte (IPCC, 2006).

2.5 FATORES DE EMISSÃO

2.5.1 FATORES DE EMISSÃO DE COMBUSTÍVEIS CONSUMIDOS (ESCOPO 1)

Fatores de emissão são coeficientes que indicam a quantidade média de gases de efeito estufa (GEE) emitida por unidade de atividade ou por quantidade de combustível consumido (WBCSD, 2024). Em termos simples, um fator de emissão correlaciona a emissão de GEE (por exemplo, em kg de CO₂, CH₄ ou N₂O) com uma determinada quantidade de atividade emissora, como a queima de um combustível (por exemplo, um litro de diesel, um metro cúbico de gás natural, ou um megajoule de energia) ou outra fonte de emissão. Esses fatores permitem estimar emissões de GEE de forma indireta: multiplica-se o dado de atividade (por exemplo, a quantidade de combustível consumido) pelo fator de emissão correspondente para obter uma estimativa da emissão.

Diretrizes internacionais, como as do IPCC, fornecem fatores de emissão genéricos de nível “Tier 1” para diversos combustíveis e setores, baseados em médias globais. No caso do CO₂, os fatores de emissão dependem fundamentalmente do teor de carbono do combustível

e praticamente não variam com a tecnologia de combustão utilizada (IPCC, 2006). Em outras palavras, a combustão completa de 1 TJ de energia de um determinado combustível emitirá aproximadamente a mesma quantidade de CO₂ independentemente do tipo de caldeira ou motor, já que todo o carbono contido é oxidado a CO₂ (IPCC, 2006).

Por outro lado, para gases como CH₄ e N₂O, os fatores de emissão dependem fortemente do tipo de tecnologia e das condições operacionais (temperatura da chama, excesso de ar, sistemas de controle de emissões etc.), podendo variar significativamente entre diferentes equipamentos e situações (IPCC, 2006). Por esse motivo, o IPCC define fatores de emissão *default* de CH₄ e N₂O específicos para categorias de fontes (por exemplo, turbinas a gás, fornos industriais, motores veiculares), em vez de adotar um único valor por combustível, e incentiva o uso de fatores de emissão locais mais aprimorados (Tier 2 ou Tier 3) quando possível (IPCC, 2006).

Em inventários de emissões, os fatores de emissão são utilizados para converter os dados de atividade em estimativas de emissões. Em suma, os fatores de emissão constituem ferramentas essenciais para a estimativa e o relato de emissões de GEE de fontes fósseis (e de outras fontes), assegurando consistência e comparabilidade nos inventários nos casos em que não se dispõem de medições diretas.

Tabela 2 – Consolidado dos fatores de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O de diferentes combustíveis

Combustível	CO ₂ (ton/MWh)	CH ₄ (ton/MWh)	N ₂ O (ton/MWh)
Bagaço de Cana de açúcar	0,403	$1,08 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-5}$
Cavaco de madeira	0,403	$1,08 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-5}$
Diesel	0,267	$3,60 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-6}$
Gasolina	0,249	$3,60 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-6}$
GLP	0,227	$1,80 \times 10^{-5}$	$3,60 \times 10^{-7}$
Gas Natural	0,202	$1,80 \times 10^{-5}$	$3,60 \times 10^{-7}$

Fonte: Adaptado de EPE (2025) e Protocol (2025).

2.5.2 FATORES DE EMISSÃO DE ELETRICIDADE CONSUMIDA (ESCOPO 2)

A eletricidade consumida gera emissões indiretas de CO₂ equivalente associadas à produção dessa energia nas usinas. Segundo o GHG Protocol, essas emissões são classificadas no Escopo 2. O cálculo pode ser feito pelas abordagens location-based (fator médio da rede nacional) ou market-based (considerando contratos específicos e certificados de energia renovável). Neste trabalho adota-se a abordagem location-based, utilizando os fatores médios nacionais (tCO₂/MWh).

México

A matriz elétrica mexicana é majoritariamente termoeletrica, baseada em gás natural e óleo combustível. O fator médio foi de 0,435–0,438 tCO₂/MWh em 2022–2023, refletindo ainda

elevada dependência de fósseis, apesar da expansão recente de renováveis.([Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales \(SEMARNAT\), 2023](#))

Brasil

Com 88,5% da geração elétrica de fontes renováveis em 2023 (principalmente hidrelétrica, além de eólica e solar), o Brasil apresenta um dos menores fatores do mundo: 0,0385 tCO₂/MWh. Em anos de seca, contudo, o acionamento de termelétricas pode elevar substancialmente esse valor.([Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação \(MCTI\) — SIRENE, 2024](#))

Colômbia

A Colômbia mantém uma matriz cerca de 70% hídrica, complementada por gás e carvão. O fator médio de emissão em 2020 foi de 0,164 tCO₂/MWh, variando conforme o regime hidrológico. ([CÁLCULO... , 2020](#))

Panamá

O país combina geração hidrelétrica com termelétricas a óleo e gás. O fator oficial mais recente é de 0,150 tCO₂/MWh, redução significativa frente aos valores acima de 0,6 t/MWh registrados em 2014, devido à maior participação de renováveis.([FACTOR... , 2024a](#))

Granada

A geração elétrica é quase totalmente baseada em diesel e óleo combustível, resultando em um fator elevado de 0,803 tCO₂/MWh, praticamente sem contribuição de renováveis.([EPE, 2025](#))

Trinidad e Tobago

O sistema elétrico é quase integralmente movido a gás natural. O fator médio situa-se em 0,666 tCO₂/MWh, valor típico de redes dependentes de combustíveis fósseis.([HINOSTROZA; DESGAIN, 2015](#))

Jamaica

O país ainda depende majoritariamente de derivados de petróleo e gás, com participação limitada de renováveis. O fator médio foi de 0,783 tCO₂/MWh em 2022.([NELSON et al., 2022](#))

Paraguai

Com geração quase totalmente hidrelétrica, o Paraguai apresenta fator de emissão virtualmente nulo, próximo de 0,00 tCO₂/MWh, destacando-se como uma das matrizes mais limpas do mundo. ([UNEP United for Efficiency \(U4E\), 2022](#))

Equador

O país reduziu drasticamente sua intensidade de carbono após a entrada de grandes usinas hidrelétricas. Em 2023, o fator médio foi de 0,120 tCO₂/MWh, frente a valores próximos de 0,50 t/MWh na década anterior.([FACTOR... , 2024b](#))

Argentina

A Argentina possui uma matriz diversificada, mas ainda cerca de dois terços fóssil, principalmente gás natural. O fator foi de 0,288 tCO₂/MWh em 2021, inferior à média do G20, mas acima de

países mais renováveis da região.(CLIMATE... , 2022)

Belize

Belize combina geração hidrelétrica e biomassa com importação de energia do México. O fator médio situa-se em torno de 0,152 tCO₂/MWh, refletindo sua matriz parcialmente renovável.(HINOSTROZA; DESGAIN, 2015)

Barbados

Com geração elétrica quase totalmente baseada em óleo diesel, Barbados apresenta fator de 0,791 tCO₂/MWh, um dos mais altos da região.(HINOSTROZA; DESGAIN, 2015)

Na Tabela 3 é consolidado os valores anteriormente citados.

Tabela 3 – Fatores médios de emissão de eletricidade por país.

País	Fator de Emissão (tCO ₂ /MWh)
México	0,438
Brasil	0,0385
Colômbia	0,164
Panamá	0,150
Granada	0,803
Trinidad e Tobago	0,666
Jamaica	0,783
Paraguai	aprox. 0,0
Equador	0,120
Argentina	0,288
Belize	0,152
Barbados	0,791

2.6 POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP)

O Potencial de Aquecimento Global, usualmente referido pela sigla em inglês GWP (Global Warming Potential), é uma métrica definida pelo IPCC para comparar o impacto de aquecimento provocado por diferentes gases de efeito estufa. Formalmente, o GWP de um gás é calculado como o forçamento radiativo integrado no tempo pela emissão de 1 unidade de massa desse gás, comparado ao forçamento radiativo integrado causado pela emissão de 1 unidade de massa de CO₂, ao longo de um determinado horizonte temporal (MASSON-DELMOTTE, 2021). Em outras palavras, o GWP indica quanto calor adicional um dado gás aprisiona na atmosfera em relação ao CO₂, acumulando os efeitos durante um período específico (tipicamente 100 anos, no caso do GWP₁₀₀).

Por convenção, o CO₂ é tomado como gás de referência, com GWP = 1. Gases que causam um forçamento radiativo maior ou que permanecem mais tempo na atmosfera apresentam GWP maior que 1, o que significa que, por kg emitido, eles aquecem mais do que o CO₂. Por exemplo, o metano (CH₄) possui um GWP₁₀₀ em torno de 27 a 29 de acordo com os valores

mais recentes do IPCC (Relatório AR6) (PROTOCOL, 2024). Isso significa que, considerando um horizonte temporal de 100 anos, a emissão de 1 tonelada de CH₄ produz um aquecimento equivalente ao de aproximadamente 28 toneladas de CO₂. Já o óxido nitroso (N₂O) apresenta um GWP₁₀₀ da ordem de 273 no AR6 (em comparação a 265 no AR5) (PROTOCOL, 2024), refletindo seu efeito estufa muito intenso e sua longa vida atmosférica, ou seja, 1 tonelada de N₂O equivale a 273 toneladas de CO₂ em impacto de 100 anos.

Vale notar que o GWP depende do horizonte temporal escolhido para a análise. Em prazos mais curtos (por exemplo, GWP₂₀ para 20 anos), gases de vida mais curta como o CH₄ apresentam GWP muito mais elevado (por exemplo, cerca de 81 no caso do 4₂₀). Já em horizontes mais longos (como 500 anos), os valores de GWP dos gases tendem a diminuir em relação ao do CO₂, à medida que o efeito relativo desses gases se dilui ao longo do tempo. Os valores de GWP são periodicamente revisados pelos relatórios de avaliação do IPCC conforme o conhecimento científico avança, o AR6 (2021), por exemplo, trouxe valores atualizados que incluem a distinção entre o CH₄ de origem fóssil e o biogênico, além de considerar retroalimentações clima-carbono nos cálculos. Em inventários e políticas climáticas, convencionou-se utilizar o GWP₁₀₀ do IPCC como fator de conversão para CO₂ equivalente, conforme acordado internacionalmente. Por exemplo, o Acordo de Paris especifica o uso dos GWP₁₀₀ do IPCC AR5 nos relatórios nacionais, embora o AR6 já tenha fornecido valores mais recentes (PROTOCOL, 2024).

Tabela 4 – Valores de Potencial de Aquecimento Global relativo a CO₂.

Composto Químicos		AR4	AR5	AR6
Dioxido de carbono	CO2	1	1	1
Metano	CH4	25	28	27
Oxido nitroso	N2O	298	265	273

Fonte: Adaptado de Protocol (2024).

Em suma, o GWP é uma medida unificadora que quantifica o “poder de aquecimento” relativo de cada gás de efeito estufa, servindo de base para expressar diferentes emissões em uma métrica comum de impacto climático.

2.7 CONVERSÃO PARA CO₂ EQUIVALENTE (CO₂E)

A emissão expressa em dióxido de carbono equivalente (CO₂e) é uma forma padronizada de representar a contribuição dos diferentes gases de efeito estufa em uma única unidade comum, equivalente à massa de CO₂ que causaria o mesmo efeito de aquecimento. A conversão para CO₂e realiza-se multiplicando-se a massa emitida de cada gás pelo seu respectivo GWP e somando-se os resultados. Por exemplo, se uma fonte emite 1 kg de CH₄ (GWP = 28) e 1 kg de N₂O (GWP = 273), então, em termos de CO₂e, isso corresponde a aproximadamente 28 kg CO₂e + 273 kg CO₂e, totalizando 301 kg CO₂e. De forma geral, pode-se expressar a soma como representado na Equação 2.1.

$$CO_{2e} = \sum_i (m_i \times GWP_i) \quad (2.1)$$

Em que i representa cada gás de efeito estufa considerado.

Essa métrica é amplamente utilizada porque permite comparar e agregar emissões de gases distintos em um único inventário consolidado. Sem o uso do CO_{2e} , teríamos listas separadas para as emissões de CO_2 , CH_4 , N_2O etc., o que dificultaria a interpretação do impacto climático total. Ao converter tudo para CO_2 equivalente, obtém-se uma noção direta da pegada de carbono total de uma atividade ou organização. Por exemplo, afirmar que uma certa usina emite 100 mil toneladas de CO_2 e por ano resume, em um único número, o impacto combinado de todos os GEE que ela emite (CO_2 , somado às parcelas equivalentes de CH_4 , N_2O e eventualmente SF_6 , HFCs etc., se presentes). É importante destacar que a conversão para CO_{2e} depende da escolha do horizonte temporal e dos valores de GWP adotados. Por convenção internacional, costuma-se utilizar o GWP_{100} do relatório do IPCC mais recente disponível. Assim, a métrica de CO_{2e} padroniza a comparação entre diferentes gases de efeito estufa ao colocar todos eles na escala equivalente de CO_2 , o que facilita o estabelecimento de metas de redução, as transações de comércio de emissões e a comunicação de inventários (WBCSD, 2024). Em síntese, o cálculo das emissões em CO_2 equivalente é uma prática essencial em inventários e estudos sobre mudança do clima, pois fornece uma medida unificada do potencial de aquecimento global das emissões totais

2.8 MICROSOFT EXCEL

O Microsoft Excel é um software de planilha eletrônica amplamente utilizado para a organização, o cálculo e a análise de dados. Desenvolvido pela Microsoft, o programa permite criar tabelas com valores dispostos em linhas e colunas, viabilizando tanto operações aritméticas básicas quanto o emprego de fórmulas e funções avançadas de forma automatizada (MICROSOFT, 2025a). Com uma interface intuitiva, o Excel possibilita manipular grandes volumes de informações numéricas, além de gerar gráficos, tabelas-resumo e relatórios de maneira dinâmica. O programa também dispõe de recursos avançados, como tabelas dinâmicas (pivot tables) para análise multidimensional de dados e suporte a macros, scripts automatizados que agilizam tarefas repetitivas. Em virtude dessa versatilidade, o Excel consolidou-se como uma das ferramentas mais utilizadas em ambientes corporativos e acadêmicos para atividades que envolvem manipulação de números, listas, bancos de dados simples e elaboração de relatórios (MICROSOFT, 2025a). No contexto deste trabalho, o Excel será empregado para compilar e pré-processar os dados de consumo de combustíveis e das emissões correspondentes, realizando cálculos preliminares de forma rápida e confiável.

2.9 MICROSOFT POWER BI

O Microsoft Power BI é uma plataforma de business analytics e inteligência de dados desenvolvida pela Microsoft, voltada à criação de visualizações interativas e painéis informativos a partir de múltiplos conjuntos de dados. Lançado em 2015, o Power BI tem como objetivo disponibilizar capacidades de business intelligence (BI) por meio de uma interface amigável, permitindo que os usuários elaborem relatórios detalhados e dashboards personalizados para apoiar a tomada de decisões (MICROSOFT, 2025b). Essa plataforma destaca-se pela capacidade de integrar múltiplas fontes de informação (planilhas do Excel, bancos de dados, serviços em nuvem etc.) em um único ambiente, facilitando a combinação dos dados e a atualização das informações em tempo real. Com o Power BI, é possível transformar dados brutos em representações visuais claras e coerentes, gráficos, mapas, indicadores e outros elementos, que auxiliam na interpretação de resultados e na identificação de tendências. Além disso, a solução permite compartilhar relatórios interativos e painéis pela web ou internamente na organização, promovendo uma cultura de análise de dados colaborativa. Em resumo, o Power BI configura-se hoje como uma das ferramentas de BI mais utilizadas para converter grandes volumes de dados em insights acionáveis de forma visualmente atraente e de fácil compreensão (MICROSOFT, 2025b). No contexto de projetos de gestão ambiental e inventários de emissões, o Power BI pode ser empregado para criar dashboards que monitorem indicadores de desempenho – como, por exemplo, as emissões por unidade produtiva ou as tendências temporais –, facilitando a comunicação dos resultados e o acompanhamento das metas de sustentabilidade.

3 METODOLOGIA

3.1 OBJETO DE ESTUDO E CONTEXTO ORGANIZACIONAL

Este estudo analisa unidades operacionais de uma corporação multinacional do setor agroindustrial e alimentício, com presença em diferentes países da América Latina. O foco recai sobre o consumo anual de combustíveis e de eletricidade associado às operações industriais, em especial às demandas térmicas e de potência. Calor de processo e geração de vapor são supridos por caldeiras e equipamentos térmicos dedicados, alimentados por diferentes matrizes energéticas (biomassa e combustíveis fósseis), enquanto a energia elétrica é suprida pela rede local e, quando aplicável, por autogeração.

Para preservar a confidencialidade corporativa, os nomes das localizações, e de consumo de combustíveis foram anonimizados mediante códigos internos. As análises e comparações entre unidades consideram apenas métricas normalizadas e agregadas (por exemplo, MWh e tCO₂e), sem exposição de dados sensíveis.

3.2 ESCOPO, PERÍODO E LIMITES DO SISTEMA

O inventário compreende emissões diretas (*Escopo 1*) decorrentes da combustão de combustíveis nas instalações e emissões indiretas de eletricidade adquirida (*Escopo 2*). Emissões de outras naturezas (por exemplo, *Escopo 3*) não foram consideradas. O horizonte temporal é de um ano civil completo, conforme a disponibilidade e consolidação de dados de consumo.

Os limites do sistema incluem os equipamentos consumidores de energia das unidades avaliadas, com ênfase em caldeiras, utilidades térmicas e usos específicos de combustíveis (por exemplo, diesel para grupos geradores ou manobras internas). No caso de biomassa, o CO₂ de origem biogênica é reportado separadamente quando aplicável; as parcelas de CH₄ e N₂O provenientes da combustão são incorporadas ao total de tCO₂e.

3.3 FONTES DE DADOS E PRÉ-PROCESSAMENTO

Os dados de atividade consistem em consumos anuais consolidados por combustível e em consumo de eletricidade por unidade. O fluxo de preparação dos dados seguiu as etapas abaixo:

1. **Ingestão e padronização:** unificação de planilhas e registros internos; harmonização de unidades (por exemplo, t, kg, L, GJ, sm³); criação de dicionário de variáveis e mapeamento de combustíveis.

2. **Qualidade de dados (QA/QC):** validação de intervalos plausíveis, checagem de consistência temporal, reconciliação de totais e tratamento transparente de ausências ou outliers (com regras definidas para imputação quando estritamente necessário).
3. **Conversão energética preliminar:** cálculo de equivalentes em MWh a partir do poder calorífico inferior (PCI) e de fatores de conversão por combustível/unidade, conforme Seção 3.4.
4. **Integração analítica:** estruturação de tabelas fato-dimensão para exploração no *dashboard*, incluindo dimensões de período e localização.

3.4 CONVERSÃO DE CONSUMO EM ENERGIA

Para permitir comparação entre matrizes, todo consumo foi convertido para energia equivalente em MWh. Para cada combustível f , define-se:

$$E_{f,\text{MWh}} = Q_f \cdot \text{PCI}_f \cdot \kappa_f \quad (3.1)$$

em que Q_f é o consumo no ano (na unidade nativa do combustível), PCI_f é o poder calorífico inferior na base apropriada (por massa, volume ou energia), e κ_f é o fator de conversão para MWh, que contempla as conversões de unidade (por exemplo, MJ para MWh, L para kg pela densidade quando necessário, ou GJ para MWh). Quando o consumo já é fornecido em base energética (por exemplo, GJ), aplica-se apenas a conversão energética (1 MWh = 3.6 GJ).

Para eletricidade adquirida, o consumo já se encontra em MWh e não requer transformação adicional para a métrica energética.

3.5 CÁLCULO DAS EMISSÕES

As emissões por combustível foram calculadas por gás e posteriormente agregadas em CO_2e utilizando fatores de potencial de aquecimento global em horizonte de 100 anos. Para cada combustível f e gás $g \in \{\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}\}$:

$$E_{f,g} = A_f \cdot \text{FE}_{f,g} \quad (3.2)$$

em que A_f é a atividade na base compatível com o fator de emissão (massa, volume ou energia) e $\text{FE}_{f,g}$ é o fator de emissão do gás g para o combustível f . A conversão para CO_2e é dada por:

$$E_{f,\text{CO}_2\text{e}} = \sum_g E_{f,g} \cdot \text{GWP}_g \quad (3.3)$$

Para **eletricidade adquirida** (Escopo 2), adotou-se fator de emissão específico por país, refletindo a intensidade de carbono da matriz elétrica local:

$$E_{\text{elec},\text{CO}_2\text{e}} = E_{\text{elec},\text{MWh}} \cdot FE_{\text{elec},\text{pas}} \quad [\text{tCO}_2\text{e}/\text{MWh}] \quad (3.4)$$

No caso de **biomassa**, o CO₂ biogênico é reportado separadamente (não compõe o somatório de tCO₂e do inventário), enquanto as parcelas de CH₄ e N₂O são incorporadas ao total, conforme prática consolidada de inventários corporativos. Além disso, é importante ressaltar que os valores de GWP utilizados são referentes ao AR6, que podem ser vistos na Tabela 4. As emissões totais anuais por unidade são obtidas por soma das contribuições de todos os combustíveis e da eletricidade.

3.6 NORMALIZAÇÃO, RANKINGS E INDICADORES

Para análise comparativa entre unidades, foram adotados os seguintes artefatos:

- **Energia total (MWh)** por unidade e por combustível.
- **Emissões totais (tCO₂e)** por unidade e por combustível (Escopos 1 e 2).
- **Indicadores de intensidade**, quando disponíveis: tCO₂e/t de produto e tCO₂e/MWh.
- **Rankings** dos maiores consumidores de energia e dos maiores emissores, evidenciando que a ordem em MWh pode divergir da ordem em tCO₂e em função da intensidade carbônica das fontes e do fator elétrico por país.

Listagens consolidadas e versões completas por unidade são apresentadas nas tabelas e apêndices de resultados.

3.7 VISUALIZAÇÃO ANALÍTICA

Os resultados foram disponibilizados em um *dashboard* interativo para consulta gerencial e técnica. O modelo de dados foi estruturado com tabelas fato (consumos energéticos e emissões) e dimensões (localização e tipo de combustível), habilitando filtros por região, unidade e vetor energético. Foram incluídos cartões de indicadores (totais e intensidades), gráficos de tendência e participação por combustível e tabelas detalhadas para suporte a decisões de priorização.

3.8 CONTROLE DE QUALIDADE, INCERTEZAS E PREMIS- SAS

O controle de qualidade dos dados incluiu conferências cruzadas de totais, verificação de consistência entre bases e documentação explícita de premissas de conversão (densidade, PCI, unidade). Pontos de atenção:

1. **Fatores de emissão e PCI:** adotados por combustível e por país (no caso da eletricidade) conforme bases reconhecidas; eventuais lacunas foram tratadas por valores de referência tecnicamente justificáveis.
2. **Umidade e qualidade de biomassa:** quando ausentes medições diretas, assumiram-se valores médios realistas com base na operação; variações nestes parâmetros podem afetar tanto os MWh equivalentes quanto as emissões de CH₄ e N₂O.
3. **Horizonte temporal:** uso de um único ano pode não capturar sazonalidade e perturbações operacionais.

As incertezas não foram quantificadas formalmente; recomenda-se, para trabalhos futuros, incorporar análise de sensibilidade para densidades, PCI, fatores de emissão e fator elétrico por país.

3.9 ÉTICA, CONFIDENCIALIDADE E REPRODUTIBILIDADE

Os dados foram tratados de forma agregada e anonimizados por códigos de localização. O fluxo de cálculo (conversões, fatores, fórmulas) foi documentado e implementado de modo a permitir reprocessamento futuro com novas séries históricas ou atualização de fatores de emissão. A metodologia é replicável para outras unidades e países, mantendo a comparabilidade por meio da padronização em MWh e tCO₂e.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção sintetiza os resultados obtidos a partir do processamento de um ano completo de dados de consumo de combustíveis nas unidades analisadas. Inicialmente, consolidou-se o consumo total por localização e por tipo de combustível, preservando o nível de detalhes necessário para comparações entre plantas. A Tabela 5 apresenta a soma anual consumida de cada combustível, enquanto o Apêndice A traz o detalhamento do consumo por localidade.

Tabela 5 – Consolidação do Consumo Total de energia e energias em megawatt-hora

Fonte de Energia	Consumo	Unidade
Eletricidade	446.855,50	MWh
Bagaço de Cana de açúcar	9.956,57	Tonelada
Cavaco de madeira	368.529,93	Tonelada
Diesel	17.285.676,85	L
Gasolina	82.017,38	L
GLP	3.168.860,45	kg
Gas Natural	1.241.136,62	GJ

Em seguida, procedeu-se à conversão de todas as fontes energéticas para uma base comum (MWh), utilizando poderes caloríficos e fatores de conversão padronizados, presentes na Tabela 1, de modo a permitir a comparação direta entre combustíveis com diferentes densidades energéticas. Nessa perspectiva, a conversão do consumo de combustíveis e energia padronizados para Megawatts-hora (MWh) estão destacados na Tabela 6, e a relação integral de unidades e seus consumos energéticos anuais normalizados está apresentada no Apêndice A na Tabela 14.

Tabela 6 – Consolidação do Consumo Total de Combustível

Fonte de Energia	Consumo (MWh)
Eletricidade	446.855,50
Bagaço de Cana de açúcar	24.662,43
Cavaco de madeira	912.848,64
Diesel	170.609,63
Gasolina	735,70
GLP	40.909,99
Gas Natural	344.762,93

A Tabela 6 evidencia que o cavaco de madeira constitui a principal fonte de energia utilizada pelo conjunto de localidades em estudo, representando a maior parcela do consumo total. Em seguida, destacam-se o gás natural e a eletricidade, que também apresentam valores expressivos, reforçando a relevância dessas fontes na matriz energética avaliada. Esses resultados

indicam uma matriz fortemente dependente de biomassa e gás natural, com papel complementar da eletricidade e de combustíveis fósseis líquidos em menor escala.

As emissões anuais foram calculadas a partir dos consumos consolidados, aplicando-se os fatores de emissão específicos por combustível apresentados na Tabela 2. Já para a eletricidade, a conversão para tonelada de CO_{2e} e considerou a intensidade média de carbono do *grid* de cada país, dada a diferença entre matrizes elétricas nacionais, conforme os valores reunidos na Tabela 3.

Tabela 7 – Consolidação das Emissões de CO_{2e} Totais por Combustível

Fonte de Energia	Emissão (tCO _{2e})
Eletricidade	57.291,09
Bagaco de Cana de açúcar	816,11
Cavaco de madeira	30.207,23
Diesel	45.778,22
Gasolina	184,69
GLP	9.317,01
Gas Natural	69.829,70

A Tabela 7, quando comparada à Tabela 6, evidencia que a contribuição para as emissões de CO_{2e} não é proporcional ao consumo energético absoluto. Embora o cavaco de madeira apresente o maior consumo em megawatt-hora (MWh), suas emissões totais são inferiores às do gás natural e próximas às da eletricidade, refletindo o caráter renovável da biomassa e seu fator de emissão reduzido. O gás natural, por sua vez, apresenta emissões mais elevadas, confirmando sua maior intensidade carbônica relativa. Já o diesel, mesmo com consumo menor que o de eletricidade e gás natural, gera emissões expressivas, indicando a relevância de combustíveis fósseis líquidos nos inventários de GEE. Esses resultados ressaltam a necessidade de considerar simultaneamente o consumo e os fatores de emissão de cada combustível na avaliação ambiental da matriz energética.

4.1 VISUALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EM *DASHBOARD*

Com os dados deste trabalho foi criado um *dashboard* no Power BI para apoiar a análise dos resultados. A Figura 1 mostra a captura de tela do painel. O layout reúne, em uma única página, os principais indicadores: um gráfico de dispersão relaciona a intensidade de emissão com o total emitido; uma tabela detalha, por localidade, a energia consumida (MWh), as emissões de Escopo 1, Escopo 2 e o total em tCO_{2e}; um gráfico de barras compara as emissões entre as localidades;

Com os visuais criados, o resultado é uma maior facilidade para identificar possíveis pontos de oportunidade.

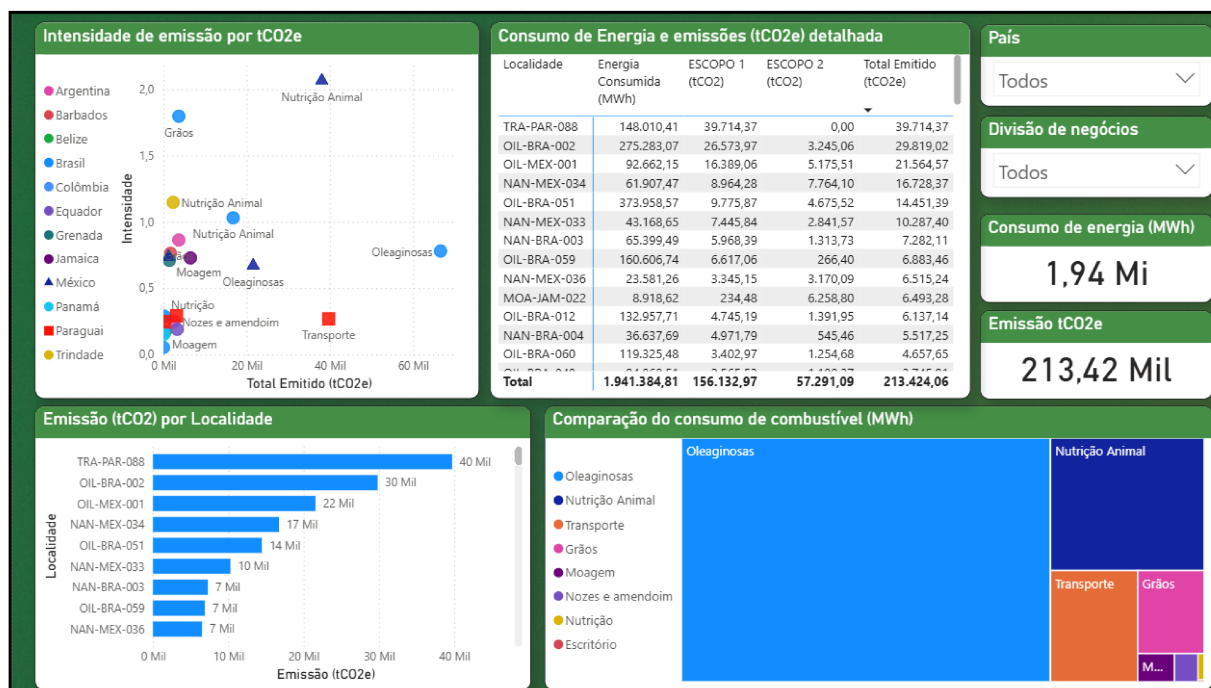


Figura 1 – Captura de tela do dashboard preparado para auxílio

4.2 EMISSÕES POR DIVISÃO DE NEGÓCIOS E PAÍS

Avaliando por divisão de negócios, como pode ser visto na Tabela 8, *Oleaginosas* usa cerca de 70,6% da energia e responde por 42,8% das emissões, com baixa intensidade (0,067 tCO2e/MWh), o que se justifica pelo maior uso de biomassa e/ou eletricidade com menor fator de emissão. Nutrição Animal consome 16,0% da energia e emite 28,4%, com intensidade mais alta (0,195 tCO2e/MWh). Transporte tem 7,6% do consumo e 18,6% das emissões (0,268 tCO2e/MWh), típico de maior uso de combustíveis fósseis líquidos. Moagem chama atenção: apenas 0,8% da energia, mas 4,7% das emissões, com intensidade muito elevada (0,644 tCO2e/MWh).

Tabela 8 – Consolidação das Emissões de CO2e Totais por Divisão de Negócio

Div. de Negócios	Qtd. de Localidades	Energia Consumida (MWh)	Emissão (tCO2e)	Intensidade de Emissão (tCO2e/MWh)
Oleaginosas	12	1.370.103,16	91.351,13	0,067
Nutrição Animal	20	310.523,40	60.537,29	0,195
Transporte	1	148.010,41	39.714,37	0,268
Grãos	44	84.410,73	8.883,24	0,105
Moagem	4	15.641,62	10.067,07	0,644
Nozes e amendoim	1	10.078,34	2.518,15	0,250
Nutrição	5	2.433,56	343,20	0,141
Escritório	1	183,58	9,60	0,052
Total	88	1.941.384,81	213.424,06	0,110

Já observando por país (Tabela 9), o Brasil concentra 70,4% da energia e 40,9% das

emissões, apresentando a menor intensidade (0,064 tCO₂e/MWh); isso é ocorre devido ao maior uso de uso de biomassa, e também ao consumo de eletricidade nacional, que é menos intensiva em carbono. México (0,255 tCO₂e/MWh) e Argentina (0,271 tCO₂e/MWh) têm menor consumo, mas intensidades mais altas. Países do Caribe exibem intensidades muito elevadas — Barbados (0,763), Grenada (0,710), Jamaica (0,728) e Trindade (0,487 tCO₂e/MWh). Cada um consome menos de 1% da energia total, mas, somados, respondem por cerca de 5,6% das emissões. Paraguai, Equador, Belize, Panamá e Colômbia ficam em faixa intermediária.

Tabela 9 – Consolidação das Emissões de CO₂e Totais por País

País	Qtd. de Localidades	Energia Consumida (MWh)	Emissão (tCO ₂ e)	Intensidade de Emissão (tCO ₂ e/MWh)
Brasil	51	1.367.349,76	87.346,62	0,064
Paraguai	12	273.432,99	43.121,98	0,158
México	11	238.721,69	60.851,76	0,255
Argentina	4	22.971,85	6.226,86	0,271
Equador	1	17.619,76	3.334,39	0,189
Jamaica	1	8.918,62	6.493,28	0,728
Trindade	2	4.810,73	2.344,47	0,487
Belize	1	2.449,39	420,52	0,172
Barbados	1	2.249,92	1.717,01	0,763
Grenada	1	2.023,69	1.436,26	0,710
Panamá	1	580,62	87,09	0,150
Colômbia	2	255,78	43,82	0,171
Total	88	1.941.384,81	213.424,06	0,110

As diferenças entre as divisões e os países se explicam mais pelo *mix* de energia do que pelo volume consumido. A forte presença de cavaco de madeira (Tabela 6 e 14) ajuda a manter intensidades baixas em Oleaginosas e no Brasil. Onde o uso de gás natural, diesel, GLP e/ou eletricidade com fator de emissão alto é maior (por exemplo, Moagem; México e Caribe), a intensidade sobe.

O gráfico de dispersão por divisão de negócios, presente na Figura 2, mostra dois comportamentos distintos: No Brasil, *Oleaginosas* concentra o maior *total emitido* com *intensidade* baixa a moderada (ponto grande em *x*, mas posicionado na parte inferior do eixo *y*); *Nutrição Animal* permanece em faixa intermediária de emissões e intensidade; *Grãos* tem emissões menores, porém aparece relativamente mais alto em *y* dentro do conjunto brasileiro. No México, as mesmas divisões migram para *intensidades* mais altas (pontos laranja mais elevados), destacando *Nutrição Animal* como o caso mais crítico (alto *y* com emissão de média para alta). No Paraguai, *Transporte* surge isolado no quadrante de *emissão alta* e *intensidade* também elevada. Em síntese, a escala explica os maiores valores de *x* (ex.: *Oleaginosas* BR), enquanto diferenças de *mix* e contexto local explicam a posição em *y* (ex.: México e *Transporte* no Paraguai).

O gráfico por localidades, na Figura 3 reforça a heterogeneidade interna às divisões.

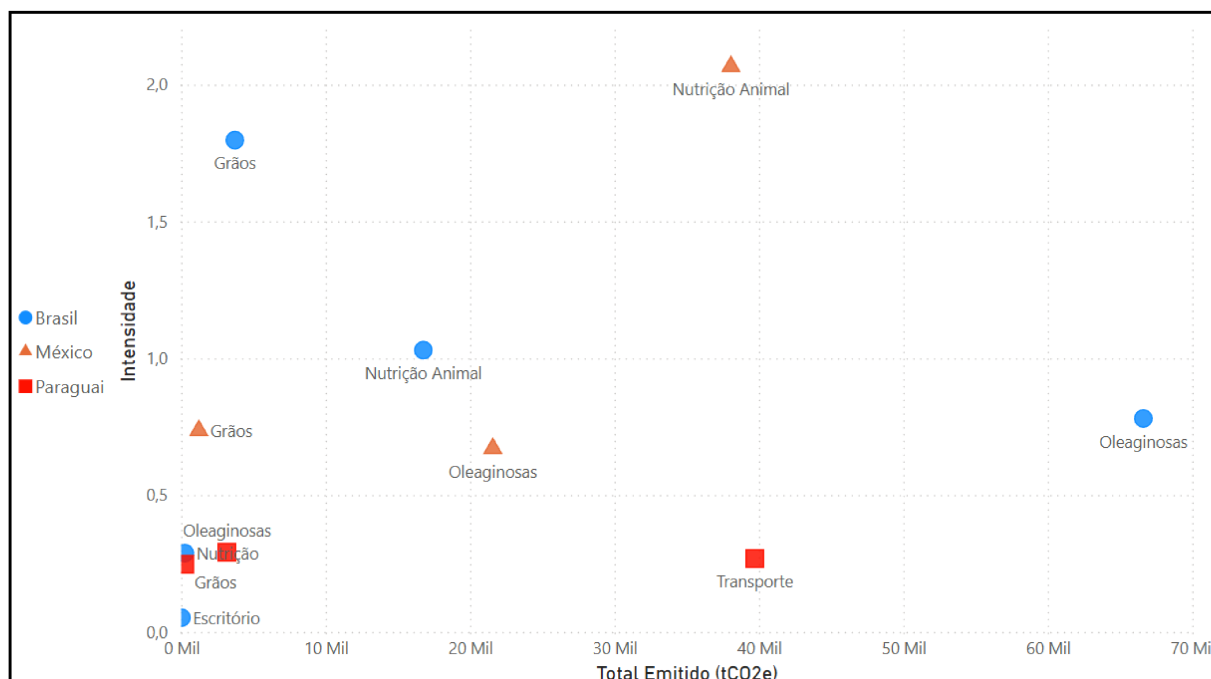


Figura 2 – Emissões totais versus intensidade por divisão de negócios e país.

Há um *outlier* claro no Paraguai (TRA-PAR-088) no quadrante *alta emissão & alta intensidade*. No Brasil, destaca-se OIL-BRA-002 com *emissão* elevada, porém *intensidade* baixa (grande escala com melhor desempenho relativo). No México, vários pontos aparecem com *intensidades* consistentemente mais altas (p. ex., NAN-MEX-034, OIL-MEX-001, NAN-MEX-033/036) e alguns com *y* muito elevado mesmo quando *x* é moderado (como OIL-MEX-009, NAN-MEX-037, GRÁ-MEX-071). A maioria dos pontos brasileiros forma um aglomerado de *baixa intensidade*, sugerindo padrão operacional/mix mais favorável.

As duas figuras mostram que *emissões totais* (tCO₂e) e *intensidade* (tCO₂e/MWh) não caminham necessariamente juntas: há casos de grande emissão com baixa intensidade (escala) e casos de emissão moderada com intensidade alta. Assim, os pontos de destaques visuais se concentram no Paraguai *Transporte* e no site TRA-PAR-088 e, também, em diversos sites no México, enquanto o Brasil aparece majoritariamente em faixa de *baixa intensidade*, com poucos desvios.

4.3 LOCALIDADES COM MAIOR CONTRIBUIÇÃO DE EMISSÕES.

O gráfico de barras, na Figura 4 apresenta a ordenação decrescente das emissões anuais por localidade (tCO₂e) e destaca, por meio do contorno tracejado em vermelho, o subconjunto responsável por aproximadamente 80% do total. Observa-se forte concentração em poucas unidades (cerca de uma dúzia de sites): TRA-PAR-088 (Paraguai); em seguida surgem OIL-BRA-002 (Brasil) e OIL-MEX-001 (México). Complementam o grupo NAN-MEX-034,

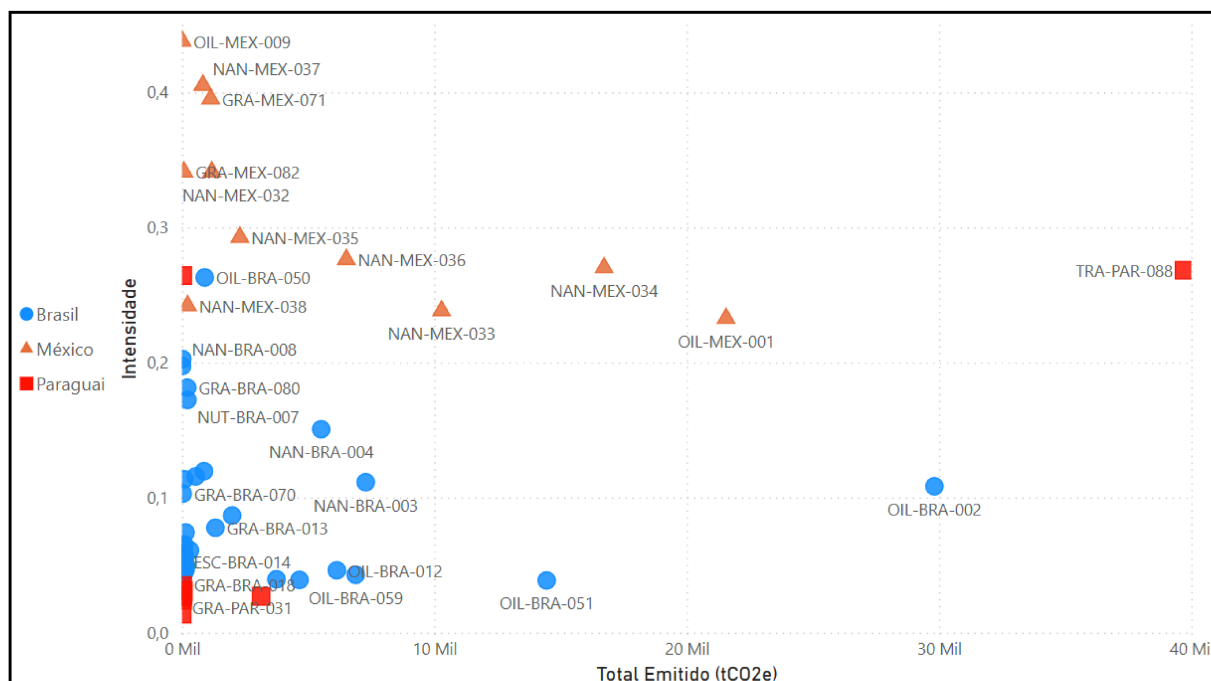


Figura 3 – Emissões totais versus intensidade por localidade e país.

OIL-BRA-051, NAN-MEX-033 e um bloco entre 6–7 mil tCO₂e (NAN-BRA-003, OIL-BRA-059, NAN-MEX-036, MOA-JAM-022, OIL-BRA-012 e NAN-BRA-004). Nota-se predominância de localidades do Brasil e do México nesse concentrado de maior contribuição, com participação de Paraguai e Jamaica.

A leitura é consistente com os gráficos nas Figuras 2 e 3: há locais com grande emissão por *escala* e intensidade relativamente baixa (por exemplo, OIL-BRA-002) e locais em que altas emissões se somam a intensidades elevadas (por exemplo, TRA-PAR-088 e algumas localidades mexicanas). O trecho fora do contorno vermelho configura a “cauda longa”, composta por diversos sites com emissões individuais inferiores a cerca de 5 mil tCO₂e que, somados, respondem pelos 20% remanescentes. Em síntese, a figura evidencia um comportamento típico de Pareto: poucas localidades explicam a maior parte das emissões totais, reforçando a importância analítica desse grupo para a compreensão do perfil emissor do portfólio.

4.4 ESTUDO DE EMISSÕES E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO EM SETORES ESTRATÉGICOS.

4.4.1 NUTRIÇÃO ANIMAL NO MÉXICO.

Em função dos resultados anteriores, que indicaram *intensidades* mais elevadas no México, com destaque para a divisão de *Nutrição Animal* e presença recorrente de suas localidades entre os maiores emissores, procede-se a um recorte específico para essa divisão, com foco na contribuição de cada combustível para as emissões anuais de tCO₂e, exposto na Tabela 10.

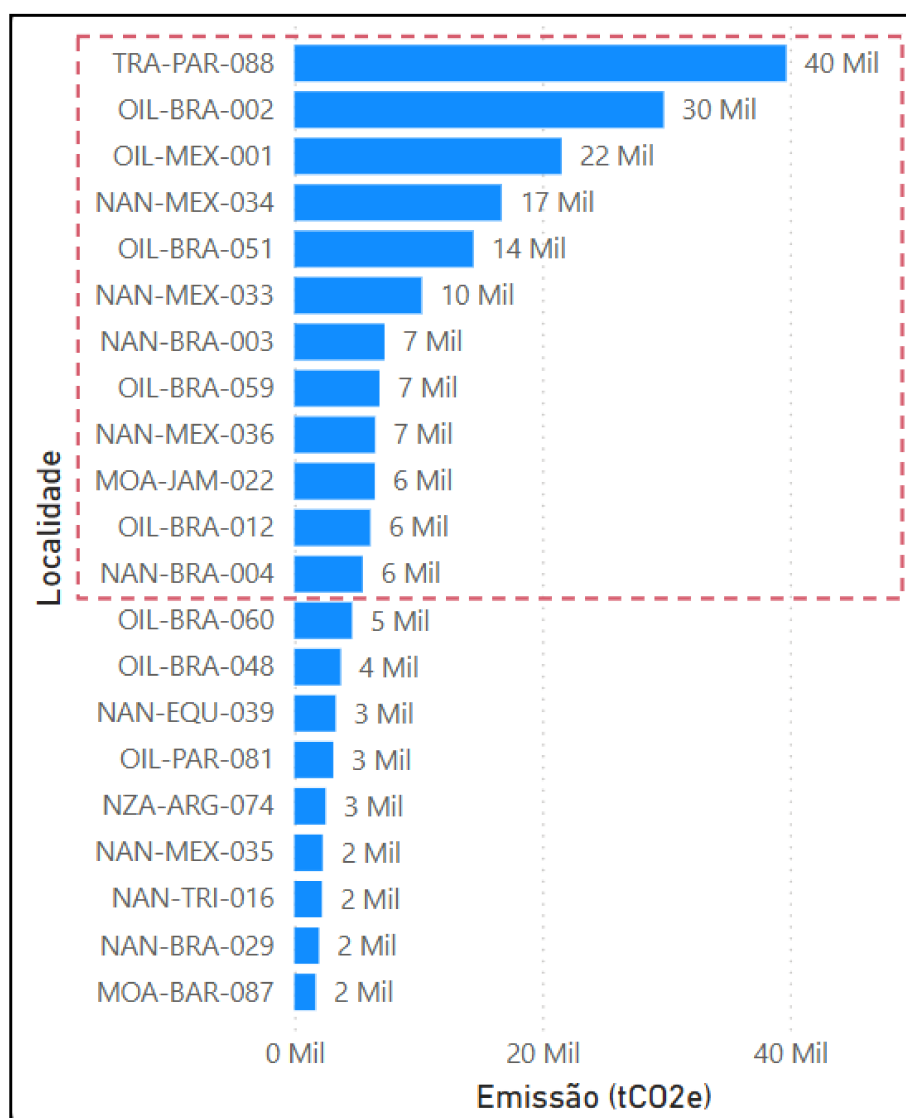


Figura 4 – Gráfico com principais localidades emissoras com demarcação de localidades responsáveis por 80% das emissões totais

As emissões agregadas da divisão somam aproximadamente 38,1 mil tCO₂e, com predominância de gás natural com cerca de 52,8% e eletricidade sendo aproximadamente 43,8% da emissão total deste recorte. Observa-se forte concentração por localidade: NAN-MEX-034, NAN-MEX-033 e NAN-MEX-036 respondem, em conjunto, por cerca de 88% do total. Em termos de perfil de combustível por localidade, NAN-MEX-034 é dividido entre eletricidade e gás natural, já NAN-MEX-033 é dominado por gás natural.

Com base nesta análise, têm-se as seguintes iniciativas de mitigação:

- (i) **Substituição de combustíveis fósseis no Escopo 1:** Realizar modificações nas caldeiras e queimadores para possibilitar a cocombustão ou a substituição por biomassa ou biogás, onde for tecnicamente aplicável. Caso a viabilidade econômica torne essa mudança possível e se suponha uma redução de 50% nas emissões, isso representaria uma redução de aproximadamente 10.600 tCO₂e por ano.

Tabela 10 – Emissões anuais por combustível: Divisão *Nutrição Animal* do México

Localidade	Elettricidade (tCO ₂ e)	Diesel (tCO ₂ e)	Gás Natural (tCO ₂ e)	GLP (tCO ₂ e)
NAN-MEX-034	7.764,10	14,77	8.840,97	108,53
NAN-MEX-033	2.841,57	10,56	7.311,34	123,93
NAN-MEX-036	3.170,09	5,53	3.036,98	302,64
NAN-MEX-035	1.296,85	-	904,47	94,00
NAN-MEX-032	819,18	-	-	363,29
NAN-MEX-037	757,91	-	-	72,35
NAN-MEX-038	27,37	-	-	194,52
Total	16.677,06	30,87	20.093,77	1.259,24

- (ii) **Descarbonização do Escopo 2:** Instalar geração de energia solar fotovoltaica no local e/ou contratar um Acordo de Compra de Energia de fonte renovável. Se estimado um consumo de 80% de fonte renovável, a redução seria de aproximadamente 13.300 tCO₂e por ano.
- (iii) **Eficiência energética:** Otimizar a queima de combustíveis, recuperar o calor gerado, e melhorar eficiência nos processos e equipamentos. Propondo uma redução geral de cerca de 5% nas emissões resultaria em uma diminuição de aproximadamente 1.900 tCO₂e por ano.

Combinadas, estas iniciativas promoveriam uma redução de 25.800 toneladas de CO₂ por ano. Isso representa uma redução de aproximadamente 12% das emissões do conjunto de localidades estudadas.

4.4.2 LOCALIZAÇÕES DO PARAGUAI.

A Tabela 11 e Figura 3 evidencia alta concentração das emissões em um único ativo: TRA-PAR-088 responde por cerca de 92,1% do total nacional (39,7 mil de 43,1 mil tCO₂e), integralmente associado ao consumo de diesel. O segundo maior emissor, OIL-PAR-081, contribui com 7,3% (3,14 mil tCO₂e). E, as demais localidades, possuem participações individuais inferiores a 0,2% cada. No agregado por combustível, diesel representa aproximadamente 92,7% das emissões do país (39,99 mil tCO₂e), seguido por cavaco (7,24%), gasolina (0,02%) e GLP (residual). Essa distribuição é compatível com os gráficos anteriores, nos quais o Paraguai (*Transporte*) apareceu no quadrante de *alta emissão e alta intensidade*.

Em síntese, a redução das emissões no Paraguai depende, principalmente, de ações direcionadas ao consumo de **diesel** em TRA-PAR-088; intervenções estruturais no modal e no *mix* energético dos demais sites tendem a produzir ganhos adicionais, porém marginais frente ao potencial da frente prioritária.

Tabela 11 – Emissões totais de tCO₂e das Localidades do Paraguai.

Localidade	Cav. de madeira (tCO ₂ e)	Diesel (tCO ₂ e)	Gasolina (tCO ₂ e)	GLP (tCO ₂ e)	Total (tCO ₂ e)
TRA-PAR-088	-	39.714,37	-	-	39.714,37
OIL-PAR-081	2.945,38	188,94	2,38	-	3.136,70
GRA-PAR-075	47,43	5,93	0,70	-	54,07
GRA-PAR-045	33,72	5,66	1,03	-	40,41
GRA-PAR-046	20,94	10,67	0,30	-	31,92
OIL-PAR-083	-	29,24	-	0,41	29,65
GRA-PAR-043	13,95	10,81	0,58	-	25,34
GRA-PAR-031	10,91	13,48	0,84	-	25,24
GRA-PAR-041	18,68	4,02	0,39	-	23,09
GRA-PAR-044	17,94	1,83	0,66	-	20,43
GRA-PAR-042	9,89	3,15	0,36	-	13,40
GRA-PAR-040	3,98	3,37	0,02	-	7,37
Total	3.122,82	39.991,47	7,28	0,41	43.121,98

- (i) Substituição de diesel por combustíveis renováveis: Adotar uma mistura de biodiesel como combustível. Se isso for viável e se propor uma redução de cerca de 30% das emissões atuais da localidade, a diminuição seria de aproximadamente 11.900 tCO₂e.

Com esta iniciativa, seria promovida uma redução de aproximadamente 6% nas emissões do conjunto estudado.

4.4.3 OLEOGINOSAS NAS LOCALIZAÇÕES DO BRASIL

Com base no que pode ser visto na Figura 3, duas localidades brasileiras se destacaram com as maiores emissões absolutas, e o detalhamento dessas emissões por fonte energética pode ser observado na Tabela 12. Estas localidades se destacam pois combinam uma grande escala de consumo com intensidade média/baixa no contexto nacional.

Tabela 12 – Emissões totais de tCO₂e por energia das Localidades OIL-BRA-002 e OIL-BRA-051

Localidade	Eleticidade (tCO ₂ e)	Cav. de Madeira (tCO ₂ e)	Diesel (tCO ₂ e)	Gas Natural (tCO ₂ e)	GLP (tCO ₂ e)	Total (tCO ₂ e)
OIL-BRA-002	3.245,06	3.258,59	288,83	23.026,55	-	29.819,02
OIL-BRA-051	4.675,52	9.363,73	326,53	-	85,60	14.451,39
Total (tCO ₂)	7.920,58	12.622,32	615,36	23.026,55	85,60	44.270,41

O conjunto OIL-BRA-002 somado ao OIL-BRA-051 totaliza 44,27 mil tCO₂e, dos quais OIL-BRA-002 responde por 67,4% e OIL-BRA-051 por 32,6%. No agregado, o gás natural representa 52,0% das emissões, seguido por cavaco de madeira (28,5%) e eletricidade (17,9%); diesel e GLP são residuais.

No nível de cada localidade, OIL-BRA-002 apresenta perfil claramente dominado por gás natural (23,03 mil tCO₂e, 77,2% do total da localidade), com contribuições secundárias e similares de eletricidade (10,9%) e cavaco (10,9%); diesel é inferior a 1%. Já OIL-BRA-051 é majoritariamente cavaco (64,8%), seguido de eletricidade (32,4%); diesel (2,3%) e GLP (0,6%) são marginais. Esses resultados reforçam conclusões anteriores, de que OIL-BRA-002 figura entre os maiores emissores por *escala*, puxado sobretudo pelo uso de gás natural. E que OIL-BRA-051 combina biomassa e eletricidade como principais componentes do seu inventário, tendo uma intensidade de emissão mais branda.

Como possíveis iniciativas, podem ser consideradas as seguintes ações:

- (i) **OIL-BRA-002 - Migração do gás natural para biomassa:** Fazer a transição do uso de gás natural para biomassa. Com isso, todo o consumo de combustível passaria a ser de origem biogênica, que tem menor intensidade de emissão.
- (ii) **OIL-BRA-002 e OIL-BRA-051 - Eletricidade de fonte renovável:** Adoção de aproximadamente 80% de eletricidade proveniente de fontes renováveis, através de um acordo de compra de energia, resultaria em uma redução de cerca de 6.300 tCO₂e por ano no total.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a quantificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), expressas em *CO₂ equivalente* (tCO₂e), a partir dos consumos anuais de combustíveis e eletricidade de unidades de uma empresa do setor agroindustrial e alimentício. A abordagem metodológica consolidou fatores de emissão específicos por combustível (CO₂, CH₄ e N₂O) e a conversão de eletricidade por país, garantindo a comparabilidade entre fontes energéticas mediante a padronização para MWh. Os resultados permitiram construir uma visão integrada do perfil energético e emissões, materializada em um *dashboard* analítico que dá suporte à priorização de ações.

A análise evidenciou que o ordenamento dos maiores consumidores de energia (em MWh) não coincide, necessariamente, com o dos maiores emissores (em tCO₂e). Essa divergência decorre, principalmente, (i) das diferenças de intensidade carbônica entre combustíveis (biomassas versus fósseis) e (ii) da variabilidade do fator de emissão da eletricidade entre países. Observou-se que diesel e gás natural desempenham papel relevante nos inventários de unidades com maior participação de fontes fósseis ou com demandas operacionais específicas, enquanto biomassa sustenta parcela significativa da geração térmica com menor intensidade de emissões quando comparada a alternativas fósseis, ainda que sensível aos termos de CH₄ e N₂O. Ademais, a consolidação dos consumos por combustível e a degradação por unidade indicaram pontos de interesse distintos para consumo energético total e para emissões, o que reforça a necessidade de indicadores normalizados e específicos por processo.

Do ponto de vista gerencial, os achados apontam três frentes complementares para redução de emissões e melhoria de desempenho: (a) melhoria de eficiência térmica, otimização de mistura de combustíveis e mitigação de usos de diesel; (b) estratégias de suprimento elétrico de menor intensidade (acordos de compra de energia renováveis, autoprodução de energia limpa, *retrofits* elétricos quando técnica e economicamente viáveis) e expansão de biomassa sustentável, respeitando critérios técnicos e de disponibilidade regional.

Como limitações, destacam-se a dependência de fatores de emissão secundários, a incerteza associada a poderes caloríficos e teores de umidade quando não medidos diretamente e o recorte temporal de um único ano, que pode não capturar sazonalidades e variações operacionais. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a incorporação explícita de análise de incerteza, a ampliação do horizonte temporal com séries históricas plurianuais, o uso de fatores de emissão mais específicos por cadeia de suprimento quando disponíveis, a integração de variáveis de produção para normalização e a avaliação de cenários de substituição/otimização de matrizes energéticas por unidade e por país.

Em síntese, o estudo entrega uma base metodológica replicável, indicadores comparáveis e uma ferramenta analítica que conectam consumo energético, emissões e decisão operacional.

E estrutura proposta é escalável para novas unidades e regiões e pode ser estendido a escopos adicionais de emissões, oferecendo subsídios técnicos para a priorização de iniciativas de eficiência e descarbonização e para o monitoramento de metas internas.

REFERÊNCIAS

AMOUS, S. Non-co2 emissions from stationary combustion. *IPCC*, 2006. Revisão: Gregg Marland (USA); Jim Zihang (China); Karen Treanton (IEA). Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_2_Non-CO2_Stationary_Combustion.pdf>. Citado na página 7.

BERTOLINI, M.; DUTTILO, P.; LISI, F. Accounting carbon emissions from electricity generation: A review and comparison of emission factor-based methods. *Applied Energy*, Elsevier BV, v. 392, p. 125992, ago. 2025. ISSN 0306-2619. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125992>>. Citado na página 6.

Brasil. *Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de GEE (SBCE)*. 2024. <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15042-11-dezembro-2024-796690-publicacaooriginal-173745-pl.html>>. Acesso em: 14 jul. 2025. Citado na página 2.

CLIMATE Transparency Report 2022 — Country Profile: Argentina. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2022/10/CT2022-Argentina-Web.pdf>>. Citado na página 10.

CÁLCULO del factor de emisiones de la red eléctrica del SIN 2020. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Documents/Proyectos_normativos/Documento_Tecnico_FE_2020.pdf>. Citado na página 9.

EIA, U. *How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned?* US Energy Information Administration, 2024. Disponível em: <<https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=73>>. Citado na página 6.

Engecass. *Poder calorífico inferior: por que avaliar ao escolher a biomassa?* 2025. Acessado em: 15 jun. 2025. Disponível em: <<https://blog.engecasscaldeiras.com.br/poder-calorifico-inferior/>>. Citado na página 5.

EPA. *Air Emissions Factors and Quantification*. United States of America: EPA - US Environmental Protection Agency, 1998. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/>>. Citado na página 7.

EPE. *Balanco Energético Nacional 2025*. Epresa de Pesquisa Energética, 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>>. Citado 3 vezes nas páginas 6, 8 e 9.

European Commission. *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)*. 2025. <https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en>. Fase definitiva a partir de 01 jan. 2026; acesso em: 14 jul. 2025. Citado na página 2.

FACTOR de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Panamá — 2023. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2024/09/2023_FACTOR-DE-EMISION-DEL-SIN-PANAMA-2023-V3-CR-07062024.pdf>. Citado na página 9.

- FACTOR de Emisión del S.N.I. y de las Islas Galápagos de Ecuador — Estadística 2023. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?force=0&id=18558>>. Citado na página 9.
- GILLENWATER, M. Calculation tool for direct emissions from stationary combustion. *WBCSD GHG Protocol*, 2005. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-02/Stationary_Combustion_Guidance_final_1_0.pdf>. Citado na página 6.
- HINOSTROZA, M. L.; DESGAIN, D. *Analysis of Grid Emission Factors for the Electricity Sector in Caribbean Countries*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00211.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.
- MASSON-DELMOTTE, V. (Ed.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. 2391 p. (Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2021-the-physical-science-basis/415F29233B8BD19FB55F65E3DC67272B>>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 10.
- IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2006. <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Consultar também volumes setoriais; acesso em: 21 set. 2025. Citado 4 vezes nas páginas 2, 5, 7 e 8.
- IPCC. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2019. <<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>>. Acesso em: 22 mai. 2025. Citado na página 2.
- IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. 2021. <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>>. Acesso em: 22 mai. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.
- MICROSOFT. *Microsoft Excel*. 2025. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/excel>>. Citado na página 12.
- MICROSOFT. *Microsoft PowerBI*. 2025. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/power-platform/products/power-bi>>. Citado na página 13.
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) — SIRENE. *Fator de emissão de CO2 na geração de energia elétrica no Brasil em 2023 é o menor em 12 anos*. 2024. Gov.br. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/central-de-conteudo/noti/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos>>. Citado na página 9.
- NELSON, J. et al. *Montego Bay Bus Fleet Electrification Business Case*. 2022. Inter-American Development Bank (IDB). Disponível em: <<https://publications.iadb.org/publications/english/document/Montego-Bay-Bus-Fleet-Electrification-Business-Case.pdf>>. Citado na página 9.
- Presidência da República. *President Lula signs law creating regulated carbon market in Brazil (Law 15.042/2024)*. 2024. <<https://www.gov.br/planalto/en/latest-news/2024/12/president-lula-signs-law-creating-regulated-carbon-market-in-brazil>>. Acesso em: 14 jul. 2025. Citado na página 2.

PROTOCOL, G. *Calculation Tools and Guidance*. Greenhouse Gas Protocol, 2025. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance>>. Citado na página 8.

PROTOCOL, G. G. *IPCC Global Warming Potential Values*. 2024. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>>. Citado na página 11.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Aviso sobre el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2023 (FESEN 2023)*. 2023. Gobierno de México. Disponível em: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/896217/aviso_fesen_2023.pdf>. Citado na página 9.

STEFFEN, W.; BROADGATE, W.; DEUTSCH, L.; GAFFNEY, O.; LUDWIG, C. The trajectory of the anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review*, v. 2, n. 1, p. 81–98, 2015. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2053019614564785>>. Citado na página 1.

UNEP United for Efficiency (U4E). *Paraguay — Country Savings Assessment*. 2022. Disponível em: <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2022/08/PRY_U4E-Country-Saving-Assessment_Jul-22.pdf>. Citado na página 9.

WBCSD. *Identificar e coletar os fatores de emissões relevantes*. 2024. Acessado em: 15 jun. 2025. Disponível em: <<https://www.theclimatedrive.org/pt/guidebook/measure/collect-and-calculate/identify-and-collect-relevant-emissions-factors>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 12.

WBCSD. *Greenhouse Gas Protocol - About Us*. 2025. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/about-us>>. Citado na página 4.

World Bank. *Global carbon pricing mobilizes over \$100 billion for public budgets*. 2025. <<https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/06/10/global-carbon-pricing-mobilizes-over-100-billion-for-public-budgets>>. Press release de 10 jun. 2025; acesso em: 14 jul. 2025. Citado na página 2.

World Bank. *State and Trends of Carbon Pricing 2025*. 2025. <<https://www.worldbank.org/en/publication/state-and-trends-of-carbon-pricing>>. Cobertura ~28% e receitas > US\$ 100 bi; acesso em: 14 jul. 2025. Citado na página 2.

WRI; WBCSD. *The Greenhouse Gas Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standard*. 2004. <<https://ghgprotocol.org/corporate-standard>>. Acesso em: 15 jun. 2025. Citado 3 vezes nas páginas 1, 2 e 4.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELAS DE
COMBUSTÍVEIS CONSUMIDOS E
RESULTADOS OBTIDOS

Tabela 13 – Consolidação do Consumo de Combustíveis e energia por localidade

Localidade	País	Div. de Negocios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (Tonelada)	Cav. de madeira (Tonelada)	Diesel (L)	Gasolina (L)	GLP (kg)	Gas Natural (GJ)
OIL-MEX-001	México	Oleaginosas	11.816,24	-	-	21.867,82	-	-	290.265,96
OIL-BRA-002	Brasil	Oleaginosas	62.047,00	-	39.754,97	109.059,18	-	-	409.268,49
NAN-BRA-003	Brasil	Nutrição Animal	25.119,06	-	5.314,68	2.846,64	-	119.050,32	91.982,60
NAN-BRA-004	Brasil	Nutrição Animal	10.429,47	-	958,93	524,83	97,19	201.601,84	76.406,53
NUT-COL-005	Colômbia	Nutrição	57,46	-	-	-	-	-	-
NUT-PAN-006	Panamá	Nutrição	580,62	-	-	-	-	-	-
NUT-BRA-007	Brasil	Nutrição	402,93	-	-	971,90	-	66.264,82	-
NAN-BRA-008	Brasil	Nutrição Animal	4,70	-	-	473,32	-	894,15	-
OIL-MEX-009	México	Oleaginosas	15,32	-	-	-	-	-	-
NUT-BRA-010	Brasil	Nutrição	53,23	-	-	291,57	-	-	-
NUT-BRA-011	Brasil	Nutrição	471,37	-	-	-	-	-	-
OIL-BRA-012	Brasil	Oleaginosas	26.614,71	4.533,35	35.975,51	144.230,49	-	354.686,28	-
GRA-BRA-013	Brasil	Grãos	15.088,59	-	-	203.118,01	97,19	-	-
ESC-BRA-014	Brasil	Escritório	183,58	-	-	-	-	-	-
MOA-GRE-015	Grenada	Moagem	1.671,97	-	-	31.455,89	4.598,81	-	-
NAN-TRI-016	Trindade	Nutrição Animal	2.478,74	-	-	218.969,75	-	-	-
GRA-BRA-017	Brasil	Grãos	626,75	-	311,29	8.868,61	194,38	-	-
GRA-BRA-018	Brasil	Grãos	1.007,34	-	319,58	3.579,52	194,38	-	-
GRA-BRA-019	Brasil	Grãos	912,73	-	424,76	2.283,97	141,90	-	-
GRA-BRA-020	Brasil	Grãos	521,50	-	87,65	6.803,32	121,49	-	-
GRA-BRA-021	Brasil	Grãos	818,47	-	165,12	11.468,46	437,36	-	-
MOA-JAM-022	Jamaica	Moagem	7.993,36	-	-	29.091,97	57.925,42	9.181,26	-
GRA-BRA-023	Brasil	Grãos	698,11	-	251,83	8.151,35	194,38	-	-
GRA-BRA-024	Brasil	Grãos	1.032,69	-	272,91	8.851,12	116,63	-	-
GRA-BRA-025	Brasil	Grãos	958,46	-	430,21	11.176,88	194,38	-	-
NAN-BRA-026	Brasil	Nutrição Animal	528,24	-	-	-	-	21.926,13	-

Table 13 continued from previous page

Localidade	País	Divisão de Negócios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (Tonelada)	Cav. de madeira (Tonelada)	Diesel (L)	Gasolina (L)	GLP (kg)	Gas Natural (GJ)
NAN-BRA-027	Brasil	Nutrição Animal	1.706,36	-	-	583,14	-	18.213,46	-
NAN-BRA-028	Brasil	Nutrição Animal	1.437,29	-	575,39	1.030,22	-	143.219,63	-
NAN-BRA-029	Brasil	Nutrição Animal	10.609,75	-	2.843,45	933,03	-	406.943,57	-
NAN-BRA-030	Brasil	Nutrição Animal	4.940,02	-	4,23	-	-	19.904,57	-
GRA-PAR-031	Paraguai	Grãos	423,47	-	133,14	5.090,83	374,18	-	-
NAN-MEX-032	México	Nutrição Animal	1.870,28	-	-	-	-	123.559,65	-
NAN-MEX-033	México	Nutrição Animal	6.487,59	-	-	3.988,69	-	42.149,48	129.950,11
NAN-MEX-034	México	Nutrição Animal	17.726,25	-	-	5.578,72	-	36.912,79	157.137,33
NAN-MEX-035	México	Nutrição Animal	2.960,84	-	-	-	-	31.969,99	16.075,89
NAN-MEX-036	México	Nutrição Animal	7.237,65	-	-	2.089,59	-	102.931,06	53.978,52
NAN-MEX-037	México	Nutrição Animal	1.730,38	-	-	-	-	24.606,38	-
NAN-MEX-038	México	Nutrição Animal	62,48	-	-	-	-	66.158,93	-
NAN-EQU-039	Equador	Nutrição Animal	7.481,95	-	-	318.923,90	-	541.443,21	-
GRA-PAR-040	Paraguai	Grãos	404,33	-	48,54	1.273,19	10,69	-	-
GRA-PAR-041	Paraguai	Grãos	267,09	-	227,93	1.516,17	174,94	-	-
GRA-PAR-042	Paraguai	Grãos	186,35	-	120,64	1.190,58	160,36	-	-
GRA-PAR-043	Paraguai	Grãos	261,76	-	170,15	4.081,99	257,23	-	-
GRA-PAR-044	Paraguai	Grãos	296,81	-	218,85	690,05	294,49	-	-
GRA-PAR-045	Paraguai	Grãos	389,68	-	411,36	2.138,19	456,79	-	-
GRA-PAR-046	Paraguai	Grãos	367,22	-	255,49	4.029,51	135,09	-	-
NAN-BRA-047	Brasil	Nutrição Animal	1.866,98	-	970,29	10.641,37	-	227.030,71	-
OIL-BRA-048	Brasil	Oleaginosas	22.569,29	-	28.889,79	72.859,78	-	1.555,04	-
OIL-BRA-049	Brasil	Oleaginosas	25,64	-	-	5.831,42	145,79	-	-
OIL-BRA-050	Brasil	Oleaginosas	84,07	-	-	337.452,71	1.656,24	-	-
OIL-BRA-051	Brasil	Oleaginosas	89.398,15	-	114.238,03	123.298,01	-	29.114,33	-
GRA-BRA-052	Brasil	Grãos	428,84	-	227,90	7.192,08	116,63	-	-

Table 13 continued from previous page

Localidade	País	Divisão de Negócios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (Tonelada)	Cav. de madeira (Tonelada)	Diesel (L)	Gasolina (L)	GLP (kg)	Gas Natural (GJ)
GRA-BRA-053	Brasil	Grãos	821,48	-	704,78	7.775,22	145,79	-	-
GRA-BRA-054	Brasil	Grãos	1.375,52	-	694,83	7.289,27	145,79	-	-
GRA-BRA-055	Brasil	Grãos	681,25	-	174,83	6.968,54	194,38	-	-
GRA-BRA-056	Brasil	Grãos	883,06	-	404,86	4.293,87	145,79	-	-
GRA-BRA-057	Brasil	Grãos	414,96	-	329,29	6.093,83	194,38	-	-
GRA-BRA-058	Brasil	Grãos	872,01	-	286,89	1.943,81	97,19	-	-
OIL-BRA-059	Brasil	Oleaginosas	5.093,68	5.423,22	54.381,51	87.519,87	-	504.485,70	-
OIL-BRA-060	Brasil	Oleaginosas	23.990,10	-	38.062,24	106.897,67	-	9,72	-
GRA-BRA-061	Brasil	Grãos	138,53	-	172,23	1.504,51	29,16	-	-
GRA-BRA-062	Brasil	Grãos	695,07	-	388,76	7.625,55	97,19	-	-
GRA-BRA-063	Brasil	Grãos	250,91	-	90,02	3.429,85	97,19	-	-
GRA-BRA-064	Brasil	Grãos	398,74	-	149,72	3.543,56	77,75	-	-
GRA-BRA-065	Brasil	Grãos	847,32	-	227,66	2.775,05	364,53	-	-
GRA-BRA-066	Brasil	Grãos	480,89	-	29,73	1.267,36	466,51	-	-
GRA-BRA-067	Brasil	Grãos	481,30	-	369,40	1.457,85	485,95	-	-
NAN-COL-068	Colômbia	Nutrição Animal	169,02	-	-	-	-	2.269,35	-
NAN-TRI-069	Trindade	Nutrição Animal	170,75	-	-	-	-	-	-
GRA-BRA-070	Brasil	Grãos	229,29	-	-	5.442,66	2.041,00	-	-
GRA-MEX-071	México	Grãos	2.160,23	-	-	71.422,24	97,02	1.253,27	-
GRA-BRA-072	Brasil	Grãos	872,42	-	312,71	9.612,12	116,63	-	-
GRA-BRA-073	Brasil	Grãos	547,92	-	317,21	9.233,08	291,57	-	-
NZA-ARG-074	Argentina	Nozes e amendoim	5.478,82	-	-	12.247,92	1.603,64	-	16.071,18
GRA-PAR-075	Paraguai	Grãos	313,06	-	578,68	2.240,24	311,01	-	-
MOA-BEL-076	Belize	Moagem	2.018,71	-	-	38.939,08	-	3.590,52	-
GRA-BRA-077	Brasil	Grãos	552,74	-	258,93	9.719,03	194,38	-	-
GRA-BRA-078	Brasil	Grãos	898,38	-	3,32	4.713,73	194,38	-	-

Table 13 continued from previous page

Localidade	País	Divisão de Negocios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (Tonelada)	Cav. de madeira (Tonelada)	Diesel (L)	Gasolina (L)	GLP (kg)	Gas Natural (GJ)
GRA-BRA-079	Brasil	Grãos	368,40	-	1.055,94	19.766,56	188,55	-	-
GRA-BRA-080	Brasil	Grãos	309,52	-	-	2.456,00	279,91	62.882,12	-
OIL-PAR-081	Paraguai	Oleaginosas	27.077,82	-	35.933,76	71.341,57	1.058,40	-	-
GRA-MEX-082	México	Grãos	120,72	-	-	646,32	5.003,36	4.913,18	-
OIL-PAR-083	Paraguai	Oleaginosas	1,40	-	-	11.039,85	-	138,98	-
GRA-ARG-084	Argentina	Grãos	4.418,51	-	-	10.010,60	-	-	-
GRA-ARG-085	Argentina	Grãos	4.606,19	-	-	6.317,37	-	-	-
GRA-ARG-086	Argentina	Grãos	3.633,56	-	-	7.506,98	-	-	-
MOA-BAR-087	Barbados	Moagem	2.130,01	-	-	12.148,79	-	-	-
TRA-PAR-088	Paraguai	Transporte	-	-	-	14.995.989,16	-	-	-

Tabela 14 – Consolidação do Consumo Total de Combustível e energias em megawatt-hora

Localidade	País	Div. de Negocios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (MWh)	Cav. de madeira (MWh)	Diesel (MWh)	Gasolina (MWh)	GLP (MWh)	Gas Natural (MWh)
OIL-MEX-001	México	Oleaginosas	11.816,24	-	-	215,84	-	-	80.630,08
OIL-BRA-002	Brasil	Oleaginosas	62.047,00	-	98.473,06	1.076,41	-	-	113.686,60
NAN-BRA-003	Brasil	Nutrição Animal	25.119,06	-	13.164,47	28,10	-	1.536,94	25.550,93
NAN-BRA-004	Brasil	Nutrição Animal	10.429,47	-	2.375,28	5,18	0,87	2.602,68	21.224,21
NUT-COL-005	Colômbia	Nutrição	57,46	-	-	-	-	-	-
NUT-PAN-006	Panamá	Nutrição	580,62	-	-	-	-	-	-
NUT-BRA-007	Brasil	Nutrição	402,93	-	-	9,59	-	855,48	-
NAN-BRA-008	Brasil	Nutrição Animal	4,70	-	-	4,67	-	11,54	-
OIL-MEX-009	México	Oleaginosas	15,32	-	-	-	-	-	-
NUT-BRA-010	Brasil	Nutrição	53,23	-	-	2,88	-	-	-
NUT-BRA-011	Brasil	Nutrição	471,37	-	-	-	-	-	-
OIL-BRA-012	Brasil	Oleaginosas	26.614,71	11.229,12	89.111,33	1.423,55	-	4.579,00	-
GRA-BRA-013	Brasil	Grãos	15.088,59	-	-	2.004,77	0,87	-	-
ESC-BRA-014	Brasil	Escritório	183,58	-	-	-	-	-	-
MOA-GRE-015	Grenada	Moagem	1.671,97	-	-	310,47	41,25	-	-
NAN-TRI-016	Trindade	Nutrição Animal	2.478,74	-	-	2.161,23	-	-	-
GRA-BRA-017	Brasil	Grãos	626,75	-	771,06	87,53	1,74	-	-
GRA-BRA-018	Brasil	Grãos	1.007,34	-	791,60	35,33	1,74	-	-
GRA-BRA-019	Brasil	Grãos	912,73	-	1.052,14	22,54	1,27	-	-
GRA-BRA-020	Brasil	Grãos	521,50	-	217,12	67,15	1,09	-	-
GRA-BRA-021	Brasil	Grãos	818,47	-	409,00	113,19	3,92	-	-
MOA-JAM-022	Jamaica	Moagem	7.993,36	-	-	287,14	519,59	118,53	-
GRA-BRA-023	Brasil	Grãos	698,11	-	623,77	80,45	1,74	-	-
GRA-BRA-024	Brasil	Grãos	1.032,69	-	676,00	87,36	1,05	-	-
GRA-BRA-025	Brasil	Grãos	958,46	-	1.065,64	110,32	1,74	-	-
NAN-BRA-026	Brasil	Nutrição Animal	528,24	-	-	-	-	283,07	-

Table 14 continued from previous page

Localidade	País	Div. de Negocios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (MWh)	Cav. de madeira (MWh)	Diesel (MWh)	Gasolina (MWh)	GLP (MWh)	Gas Natural (MWh)
NAN-BRA-027	Brasil	Nutrição Animal	1.706,36	-	-	5,76	-	235,14	-
NAN-BRA-028	Brasil	Nutrição Animal	1.437,29	-	1.425,23	10,17	-	1.848,97	-
NAN-BRA-029	Brasil	Nutrição Animal	10.609,75	-	7.043,22	9,21	-	5.253,64	-
NAN-BRA-030	Brasil	Nutrição Animal	4.940,02	-	10,48	-	-	256,97	-
GRA-PAR-031	Paraguai	Grãos	423,47	-	329,79	50,25	3,36	-	-
NAN-MEX-032	México	Nutrição Animal	1.870,28	-	-	-	-	1.595,16	-
NAN-MEX-033	México	Nutrição Animal	6.487,59	-	-	39,37	-	544,15	36.097,54
NAN-MEX-034	México	Nutrição Animal	17.726,25	-	-	55,06	-	476,54	43.649,61
NAN-MEX-035	México	Nutrição Animal	2.960,84	-	-	-	-	412,73	4.465,56
NAN-MEX-036	México	Nutrição Animal	7.237,65	-	-	20,62	-	1.328,84	14.994,15
NAN-MEX-037	México	Nutrição Animal	1.730,38	-	-	-	-	317,67	-
NAN-MEX-038	México	Nutrição Animal	62,48	-	-	-	-	854,11	-
NAN-EQU-039	Equador	Nutrição Animal	7.481,95	-	-	3.147,78	-	6.990,03	-
GRA-PAR-040	Paraguai	Grãos	404,33	-	120,24	12,57	0,10	-	-
GRA-PAR-041	Paraguai	Grãos	267,09	-	564,58	14,96	1,57	-	-
GRA-PAR-042	Paraguai	Grãos	186,35	-	298,83	11,75	1,44	-	-
GRA-PAR-043	Paraguai	Grãos	261,76	-	421,46	40,29	2,31	-	-
GRA-PAR-044	Paraguai	Grãos	296,81	-	542,10	6,81	2,64	-	-
GRA-PAR-045	Paraguai	Grãos	389,68	-	1.018,93	21,10	4,10	-	-
GRA-PAR-046	Paraguai	Grãos	367,22	-	632,84	39,77	1,21	-	-
NAN-BRA-047	Brasil	Nutrição Animal	1.866,98	-	2.403,40	105,03	-	2.930,97	-
OIL-BRA-048	Brasil	Oleaginosas	22.569,29	-	71.560,02	719,13	-	20,08	-
OIL-BRA-049	Brasil	Oleaginosas	25,64	-	-	57,56	1,31	-	-
OIL-BRA-050	Brasil	Oleaginosas	84,07	-	-	3.330,66	14,86	-	-
OIL-BRA-051	Brasil	Oleaginosas	89.398,15	-	282.967,60	1.216,95	-	375,87	-
GRA-BRA-052	Brasil	Grãos	428,84	-	564,51	70,99	1,05	-	-

Table 14 continued from previous page

Localidade	País	Div. de Negocios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (MWh)	Cav. de madeira (MWh)	Diesel (MWh)	Gasolina (MWh)	GLP (MWh)	Gas Natural (MWh)
GRA-BRA-053	Brasil	Grãos	821,48	-	1.745,74	76,74	1,31	-	-
GRA-BRA-054	Brasil	Grãos	1.375,52	-	1.721,10	71,95	1,31	-	-
GRA-BRA-055	Brasil	Grãos	681,25	-	433,06	68,78	1,74	-	-
GRA-BRA-056	Brasil	Grãos	883,06	-	1.002,85	42,38	1,31	-	-
GRA-BRA-057	Brasil	Grãos	414,96	-	815,66	60,15	1,74	-	-
GRA-BRA-058	Brasil	Grãos	872,01	-	710,62	19,19	0,87	-	-
OIL-BRA-059	Brasil	Oleaginosas	5.093,68	13.433,31	134.703,01	863,82	-	6.512,91	-
OIL-BRA-060	Brasil	Oleaginosas	23.990,10	-	94.280,17	1.055,08	-	0,13	-
GRA-BRA-061	Brasil	Grãos	138,53	-	426,61	14,85	0,26	-	-
GRA-BRA-062	Brasil	Grãos	695,07	-	962,96	75,26	0,87	-	-
GRA-BRA-063	Brasil	Grãos	250,91	-	222,99	33,85	0,87	-	-
GRA-BRA-064	Brasil	Grãos	398,74	-	370,86	34,97	0,70	-	-
GRA-BRA-065	Brasil	Grãos	847,32	-	563,92	27,39	3,27	-	-
GRA-BRA-066	Brasil	Grãos	480,89	-	73,64	12,51	4,18	-	-
GRA-BRA-067	Brasil	Grãos	481,30	-	914,99	14,39	4,36	-	-
NAN-COL-068	Colômbia	Nutrição Animal	169,02	-	-	-	-	29,30	-
NAN-TRI-069	Trindade	Nutrição Animal	170,75	-	-	-	-	-	-
GRA-BRA-070	Brasil	Grãos	229,29	-	-	53,72	18,31	-	-
GRA-MEX-071	México	Grãos	2.160,23	-	-	704,94	0,87	16,18	-
GRA-BRA-072	Brasil	Grãos	872,42	-	774,58	94,87	1,05	-	-
GRA-BRA-073	Brasil	Grãos	547,92	-	785,73	91,13	2,62	-	-
NZA-ARG-074	Argentina	Nozes e amendoim	5.478,82	-	-	120,89	14,38	-	4.464,25
GRA-PAR-075	Paraguai	Grãos	313,06	-	1.433,38	22,11	2,79	-	-
MOA-BEL-076	Belize	Moagem	2.018,71	-	-	384,33	-	46,35	-
GRA-BRA-077	Brasil	Grãos	552,74	-	641,38	95,93	1,74	-	-
GRA-BRA-078	Brasil	Grãos	898,38	-	8,22	46,52	1,74	-	-

Table 14 continued from previous page

Localidade	País	Div. de Negocios	Electricidade (MWh)	Bag. de Cana (MWh)	Cav. de madeira (MWh)	Diesel (MWh)	Gasolina (MWh)	GLP (MWh)	Gas Natural (MWh)
GRA-BRA-079	Brasil	Grãos	368,40	-	2.615,55	195,10	1,69	-	-
GRA-BRA-080	Brasil	Grãos	309,52	-	-	24,24	2,51	811,81	-
OIL-PAR-081	Paraguai	Oleaginosas	27.077,82	-	89.007,92	704,14	9,49	-	-
GRA-MEX-082	México	Grãos	120,72	-	-	6,38	44,88	63,43	-
OIL-PAR-083	Paraguai	Oleaginosas	1,40	-	-	108,96	-	1,79	-
GRA-ARG-084	Argentina	Grãos	4.418,51	-	-	98,80	-	-	-
GRA-ARG-085	Argentina	Grãos	4.606,19	-	-	62,35	-	-	-
GRA-ARG-086	Argentina	Grãos	3.633,56	-	-	74,09	-	-	-
MOA-BAR-087	Barbados	Moagem	2.130,01	-	-	119,91	-	-	-
TRA-PAR-088	Paraguai	Transporte	-	-	-	148.010,41	-	-	-

Tabela 15 – Consolidação de Emissões Por Localidade em Toneladas de CO2e

Localidade	País	Div. de Negocios	Eletricidade (tCO2e)	Bag. de Cana (tCO2e)	Cav. de madeira (tCO2e)	Diesel (tCO2e)	Gasolina (tCO2e)	GLP (tCO2e)	Gas Natural (tCO2e)
OIL-MEX-001	México	Oleaginosas	5.175,51	-	-	57,91	-	-	16.331,15
OIL-BRA-002	Brasil	Oleaginosas	3.245,06	-	3.258,59	288,83	-	-	23.026,55
NAN-BRA-003	Brasil	Nutrição Animal	1.313,73	-	435,63	7,54	-	350,03	5.175,19
NAN-BRA-004	Brasil	Nutrição Animal	545,46	-	78,60	1,39	0,22	592,74	4.298,84
NUT-COL-005	Colômbia	Nutrição	9,42	-	-	-	-	-	-
NUT-PAN-006	Panamá	Nutrição	87,09	-	-	-	-	-	-
NUT-BRA-007	Brasil	Nutrição	21,07	-	-	2,57	-	194,83	-
NAN-BRA-008	Brasil	Nutrição Animal	0,25	-	-	1,25	-	2,63	-
OIL-MEX-009	México	Oleaginosas	6,71	-	-	-	-	-	-
NUT-BRA-010	Brasil	Nutrição	2,78	-	-	0,77	-	-	-
NUT-BRA-011	Brasil	Nutrição	24,65	-	-	-	-	-	-
OIL-BRA-012	Brasil	Oleaginosas	1.391,95	371,58	2.948,80	381,97	-	1.042,84	-
GRA-BRA-013	Brasil	Grãos	789,13	-	-	537,92	0,22	-	-
ESC-BRA-014	Brasil	Escritório	9,60	-	-	-	-	-	-
MOA-GRE-015	Grenada	Moagem	1.342,59	-	-	83,31	10,36	-	-
NAN-TRI-016	Trindade	Nutrição Animal	1.650,84	-	-	579,90	-	-	-
GRA-BRA-017	Brasil	Grãos	32,78	-	25,52	23,49	0,44	-	-
GRA-BRA-018	Brasil	Grãos	52,68	-	26,19	9,48	0,44	-	-
GRA-BRA-019	Brasil	Grãos	47,74	-	34,82	6,05	0,32	-	-
GRA-BRA-020	Brasil	Grãos	27,27	-	7,18	18,02	0,27	-	-
GRA-BRA-021	Brasil	Grãos	42,81	-	13,53	30,37	0,98	-	-
MOA-JAM-022	Jamaica	Moagem	6.258,80	-	-	77,05	130,44	26,99	-
GRA-BRA-023	Brasil	Grãos	36,51	-	20,64	21,59	0,44	-	-
GRA-BRA-024	Brasil	Grãos	54,01	-	22,37	23,44	0,26	-	-
GRA-BRA-025	Brasil	Grãos	50,13	-	35,26	29,60	0,44	-	-
NAN-BRA-026	Brasil	Nutrição Animal	27,63	-	-	-	-	64,47	-

Table 15 continued from previous page

Localidade	País	Div. de Negocios	Eletricity (tCO2e)	Bag. de Cana (tCO2e)	Cav. de madeira (tCO2e)	Diesel (tCO2e)	Gasolina (tCO2e)	GLP (tCO2e)	Gas Natural (tCO2e)
NAN-BRA-027	Brasil	Nutrição Animal	89,24	-	-	1,54	-	53,55	-
NAN-BRA-028	Brasil	Nutrição Animal	75,17	-	47,16	2,73	-	421,09	-
NAN-BRA-029	Brasil	Nutrição Animal	554,89	-	233,07	2,47	-	1.196,49	-
NAN-BRA-030	Brasil	Nutrição Animal	258,36	-	0,35	-	-	58,52	-
GRA-PAR-031	Paraguai	Grãos	-	-	10,91	13,48	0,84	-	-
NAN-MEX-032	México	Nutrição Animal	819,18	-	-	-	-	363,29	-
NAN-MEX-033	México	Nutrição Animal	2.841,57	-	-	10,56	-	123,93	7.311,34
NAN-MEX-034	México	Nutrição Animal	7.764,10	-	-	14,77	-	108,53	8.840,97
NAN-MEX-035	México	Nutrição Animal	1.296,85	-	-	-	-	94,00	904,47
NAN-MEX-036	México	Nutrição Animal	3.170,09	-	-	5,53	-	302,64	3.036,98
NAN-MEX-037	México	Nutrição Animal	757,91	-	-	-	-	72,35	-
NAN-MEX-038	México	Nutrição Animal	27,37	-	-	-	-	194,52	-
NAN-EQU-039	Equador	Nutrição Animal	897,83	-	-	844,62	-	1.591,94	-
GRA-PAR-040	Paraguai	Grãos	-	-	3,98	3,37	0,02	-	-
GRA-PAR-041	Paraguai	Grãos	-	-	18,68	4,02	0,39	-	-
GRA-PAR-042	Paraguai	Grãos	-	-	9,89	3,15	0,36	-	-
GRA-PAR-043	Paraguai	Grãos	-	-	13,95	10,81	0,58	-	-
GRA-PAR-044	Paraguai	Grãos	-	-	17,94	1,83	0,66	-	-
GRA-PAR-045	Paraguai	Grãos	-	-	33,72	5,66	1,03	-	-
GRA-PAR-046	Paraguai	Grãos	-	-	20,94	10,67	0,30	-	-
NAN-BRA-047	Brasil	Nutrição Animal	97,64	-	79,53	28,18	-	667,51	-
OIL-BRA-048	Brasil	Oleaginosas	1.180,37	-	2.368,00	192,96	-	4,57	-
OIL-BRA-049	Brasil	Oleaginosas	1,34	-	-	15,44	0,33	-	-
OIL-BRA-050	Brasil	Oleaginosas	4,40	-	-	893,69	3,73	-	-
OIL-BRA-051	Brasil	Oleaginosas	4.675,52	-	9.363,73	326,53	-	85,60	-
GRA-BRA-052	Brasil	Grãos	22,43	-	18,68	19,05	0,26	-	-

Table 15 continued from previous page

Localidade	País	Div. de Negocios	Eletricity (tCO2e)	Bag. de Cana (tCO2e)	Cav. de madeira (tCO2e)	Diesel (tCO2e)	Gasolina (tCO2e)	GLP (tCO2e)	Gas Natural (tCO2e)
GRA-BRA-053	Brasil	Grãos	42,96	-	57,77	20,59	0,33	-	-
GRA-BRA-054	Brasil	Grãos	71,94	-	56,95	19,30	0,33	-	-
GRA-BRA-055	Brasil	Grãos	35,63	-	14,33	18,46	0,44	-	-
GRA-BRA-056	Brasil	Grãos	46,18	-	33,19	11,37	0,33	-	-
GRA-BRA-057	Brasil	Grãos	21,70	-	26,99	16,14	0,44	-	-
GRA-BRA-058	Brasil	Grãos	45,61	-	23,52	5,15	0,22	-	-
OIL-BRA-059	Brasil	Oleaginosas	266,40	444,52	4.457,48	231,78	-	1.483,28	-
OIL-BRA-060	Brasil	Oleaginosas	1.254,68	-	3.119,84	283,10	-	0,03	-
GRA-BRA-061	Brasil	Grãos	7,25	-	14,12	3,98	0,07	-	-
GRA-BRA-062	Brasil	Grãos	36,35	-	31,87	20,19	0,22	-	-
GRA-BRA-063	Brasil	Grãos	13,12	-	7,38	9,08	0,22	-	-
GRA-BRA-064	Brasil	Grãos	20,85	-	12,27	9,38	0,18	-	-
GRA-BRA-065	Brasil	Grãos	44,31	-	18,66	7,35	0,82	-	-
GRA-BRA-066	Brasil	Grãos	25,15	-	2,44	3,36	1,05	-	-
GRA-BRA-067	Brasil	Grãos	25,17	-	30,28	3,86	1,09	-	-
NAN-COL-068	Colômbia	Nutrição Animal	27,72	-	-	-	-	6,67	-
NAN-TRI-069	Trindade	Nutrição Animal	113,72	-	-	-	-	-	-
GRA-BRA-070	Brasil	Grãos	11,99	-	-	14,41	4,60	-	-
GRA-MEX-071	México	Grãos	946,18	-	-	189,15	0,22	3,68	-
GRA-BRA-072	Brasil	Grãos	45,63	-	25,63	25,46	0,26	-	-
GRA-BRA-073	Brasil	Grãos	28,66	-	26,00	24,45	0,66	-	-
NZA-ARG-074	Argentina	Nozes e amendoim	1.577,90	-	-	32,44	3,61	-	904,21
GRA-PAR-075	Paraguai	Grãos	-	-	47,43	5,93	0,70	-	-
MOA-BEL-076	Belize	Moagem	306,84	-	-	103,12	-	10,56	-
GRA-BRA-077	Brasil	Grãos	28,91	-	21,22	25,74	0,44	-	-
GRA-BRA-078	Brasil	Grãos	46,99	-	0,27	12,48	0,44	-	-

Table 15 continued from previous page

Localidade	País	Div. de Negocios	Electricity (tCO2e)	Bag. de Cana (tCO2e)	Cav. de madeira (tCO2e)	Diesel (tCO2e)	Gasolina (tCO2e)	GLP (tCO2e)	Gas Natural (tCO2e)
GRA-BRA-079	Brasil	Grãos	19,27	-	86,55	52,35	0,42	-	-
GRA-BRA-080	Brasil	Grãos	16,19	-	-	6,50	0,63	184,88	-
OIL-PAR-081	Paraguai	Oleaginosas	-	-	2.945,38	188,94	2,38	-	-
GRA-MEX-082	México	Grãos	52,87	-	-	1,71	11,27	14,45	-
OIL-PAR-083	Paraguai	Oleaginosas	-	-	-	29,24	-	0,41	-
GRA-ARG-084	Argentina	Grãos	1.272,53	-	-	26,51	-	-	-
GRA-ARG-085	Argentina	Grãos	1.326,58	-	-	16,73	-	-	-
GRA-ARG-086	Argentina	Grãos	1.046,47	-	-	19,88	-	-	-
MOA-BAR-087	Barbados	Moagem	1.684,84	-	-	32,17	-	-	-
TRA-PAR-088	Paraguai	Transporte	-	-	-	39.714,37	-	-	-