



XI-108 - PEGADA ECOLÓGICA DE ENERGIA DA CIDADE DE MARABÁ-PA

Roberta Bitencourt dos Santos ⁽¹⁾

Acadêmica de Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará e Bolsista PIBIC/FAPESPA.

Yasmim Silva de Oliveira ⁽²⁾

Acadêmica de Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará.

Glauber Epifanio Loureiro ⁽³⁾

Professor Assistente IV do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Estado do Pará - UEPA, Mestre em Engenharia Civil, com habilitação em Recursos Hídricos e Saneamento, Especialista em Projetos sociais e políticas públicas (Centro Universitário Senac), Especialista em Gestão Integrados da Qualidade, Meio ambiente e Segurança do trabalho (Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial-Senac), Engenheiro Ambiental (Universidade do Estado do Pará).

Endereço ⁽¹⁾: Rua/Av. Hiléia, s/n – Amapá – Marabá - PA – CEP68502-100 - Brasil - Tel: +55 (91) 99271-4369 - e-mail: roberta.bitsantos@aluno.uepa.br

RESUMO

As atividades econômicas e humanas impactam significativamente o meio ambiente e o ecossistema. Restaurar suavemente a qualidade ambiental e manter a sustentabilidade é a única maneira possível de aumentar a utilização de recursos energéticos não convencionais. Mas, devido à escassez de fontes de energia renováveis, as cidades dependem significativamente do uso de energia tradicional e, como resultado, aumenta o nível de pegada ecológica, o que resulta em maior emissão de carbono na atmosfera. Tendo isso em mente, a presente pesquisa examina o impacto do consumo de energia na pegada ecológica da cidade de marabá no ano de 2022. Durante a pesquisa, a teoria e o modelo da pegada ecológica foram utilizados com base em dados de energia elétrica da companhia de abastecimento (equatorial), enquanto a biocapacidade foi medida com base em dados de uso da terra. Os resultados do estudo mostram saldo ecológico na geração de gases de efeito estufa associado a grande biocapacidade no município. Apesar do crescimento populacional e industrial, o município deve- ater políticas públicas no estado do Pará voltado a bioeconomia, em especial, créditos de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Pegada ecológica, energia e sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O avanço dos recursos energéticos renováveis e a utilização da energia é um elemento especialmente extremamente importante para permitir uma melhor prosperidade econômica e sustentabilidade ambiental de cada país. Tradicionalmente, muitos países têm consumido e utilizado recursos energéticos mais convencionais, ou seja, energia de combustíveis fósseis para atingir suas metas de desenvolvimento nacional. No entanto, o crescimento econômico e suas atividades humanas associadas parecem ter desenvolvido uma ameaça ao meio ambiente ou ecossistema. Em 2017, os níveis de emissões de CO₂ relacionadas à energia aumentaram 1,4% no mundo. Espera-se um aumento absoluto de 460 milhões de toneladas (ACHEAMPONG, 2019). A quantidade cada vez maior de emissões de CO₂ na atmosfera leva a uma diminuição da qualidade ambiental e causa o aquecimento global. Também criou várias complicações para o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade humana. As emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são a principal razão por trás da degradação ambiental e do aquecimento global.

Para melhorar a qualidade ambiental, os governos devem implementar as medidas mais adequadas para reduzir a pressão atmosférica de forma direta e indireta. Por exemplo, no Estado de São Paulo, introduziu a fórmula de número par/ímpar na Política de Movimentação de Veículos para reduzir a poluição do ar, bem como inspeção veicular.

Ao nível local, aglomerações urbanas como concentrações populacionais abrigam altos níveis de consumo de recursos energéticos e materiais. Portanto, eles tendem a usar a “capacidade de carga” dos ecossistemas de seu interior, contribuindo acima da média para mudanças climáticas, poluição, perda de biodiversidade e erosão da terra. Nesse sentido, cidades e regiões urbanas – como focos de insustentabilidade – são um alvo fundamental



na busca global pela sustentabilidade e fornecem laboratórios para iniciativas de políticas voltadas para a mitigação das mudanças climáticas e uma transição global sustentável.

O pilar ambiental do desenvolvimento sustentável pode ser medido por duas métricas distintas: Pegada Ecológica (PE) e Biocapacidade (BC) (Wackernagel & Rees, 1996; Borucke et al., 2013)

A diminuição da BC, acompanhada pelo crescimento da PE e da urbanização, é o principal desafio ambiental que muitos países enfrentam no mundo (Ahmed et al., 2020; Nathaniel, 2020).

Quando o consumo de recursos e serviços naturais em um país ou região é maior do que a capacidade de seus ecossistemas de supri-los, falamos de 'déficit de biocapacidade' ou 'overshoot' (Rees, 2020). Por outro lado, quando a disponibilidade de recursos naturais e serviços excede a demanda dos residentes, o país ou seus diz-se que a região possui uma 'reserva de biocapacidade'.

A avaliação simultânea do EF e BC das regiões da cidade pode ajudar os governos nacionais e locais a entender melhor a complexidade do desenvolvimento urbano sustentável e os desafios relacionados e a formular políticas para diminuir a pressão sobre os recursos naturais (Galli et al., 2020).

O governo do Estado do Pará tem expressado sua preocupação em atingir a meta de sustentabilidade por meio de diversas estratégias formuladas em seus planos de desenvolvimento regional (PARÁ, 2020).

Recentemente o Governo o Estado do Pará em cumprimento ao Art. 6º do Decreto Nº 941/2020, instituiu, o Plano Estadual Amazônia Agora (PEAA). Este buscará concretizar os Objetivos do desenvolvimento Sustentável, especialmente; Redução das Desigualdades; Consumo e Produção Responsável; Ação contra a Mudança Global do Clima; Vida Terrestre. Para isso, o Plano fomentará o desenvolvimento regional, com atenção ao estímulo da produtividade acompanhada de assistência técnica, à inovação tecnológica aliada às boas práticas socioambientais e à reestruturação da gestão ambiental estadual para alcançar as metas previstas nos acordos internacionais.

Para tanto órgãos de governo como Ideflor-Bio, Semas, Iterpa, dentre outros tem estimulado gestores municipais a adotarem iniciativas e indicadores de sustentabilidade nas suas ações para fomento a reestruturação da gestão ambiental, preocupada com os efeitos da mudança do clima, com a necessidade de produção e consumo sustentáveis, com estratégias de fomento e promoção das atividades e cadeias econômicas sustentáveis pautadas no uso e aproveitamento dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável das cidades.

A cidade de Marabá destaca-se no sudeste paraense por ser centro político econômico e social de potencial extrativo de recursos florestais e de grandes reservas minerais. Historicamente, o grande potencial fez com que o Governo Federal iniciasse o processo de planejamento urbanístico, com implantação de infraestrutura e outros equipamentos urbanos.

Somente em 2006 foi determinado o macrozoneamento da cidade de Marabá, através do seu plano diretor – Lei 17.213:2006. A fim de controlar e direcionar o adensamento urbano, a sede municipal foi dividida em cinco distritos, dentre os quais estão Marabá Pioneira, Cidade Nova e Nova Marabá (MARABÁ, 2006). Atualmente, estes distritos encontram-se subdivididos em setores consolidados, em consolidação, de uso controlado e de recuperação e qualificação, exceto o núcleo Marabá Pioneira que não possui o setor em consolidação posto que já se encontra consolidado com concentração de comércio e serviços (MARABÁ, 2018).

No âmbito urbano atual, a demanda por recursos naturais e matéria-prima para a fabricação de infinitos equipamentos domésticos e industriais, advêm de uma área maior que os limites administrativos da cidade impactando as chamadas áreas de influência. As áreas urbanas não causam somente impactos ambientais locais como também causam em grande escala, aumentando suas Pegadas Ecológicas” (WACKERNAGEL E RESS, 1996).

OBJETIVO

Para avaliar os impactos ambientais do desenvolvimento urbano e suas implicações de planejamento, este artigo tem como objetivo analisar as relações existentes entre PE total, PE per capita e BC do consumo de energia em Marabá-PA como forma de contribuir para políticas públicas municipais e Estado do Pará.



MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Geograficamente, Marabá se encontra na região Amazônica no Sudeste Paraense e possui uma área total de 15.128.058 km², fica a 486 quilômetros da capital Belém, está situada a uma altitude média de 125 m em relação ao nível do mar, na latitude sul 5° 22' 12" e longitude oeste de 49° 7' 1", sua área urbanizada é de 62,49 km² (IBGE, 2021).

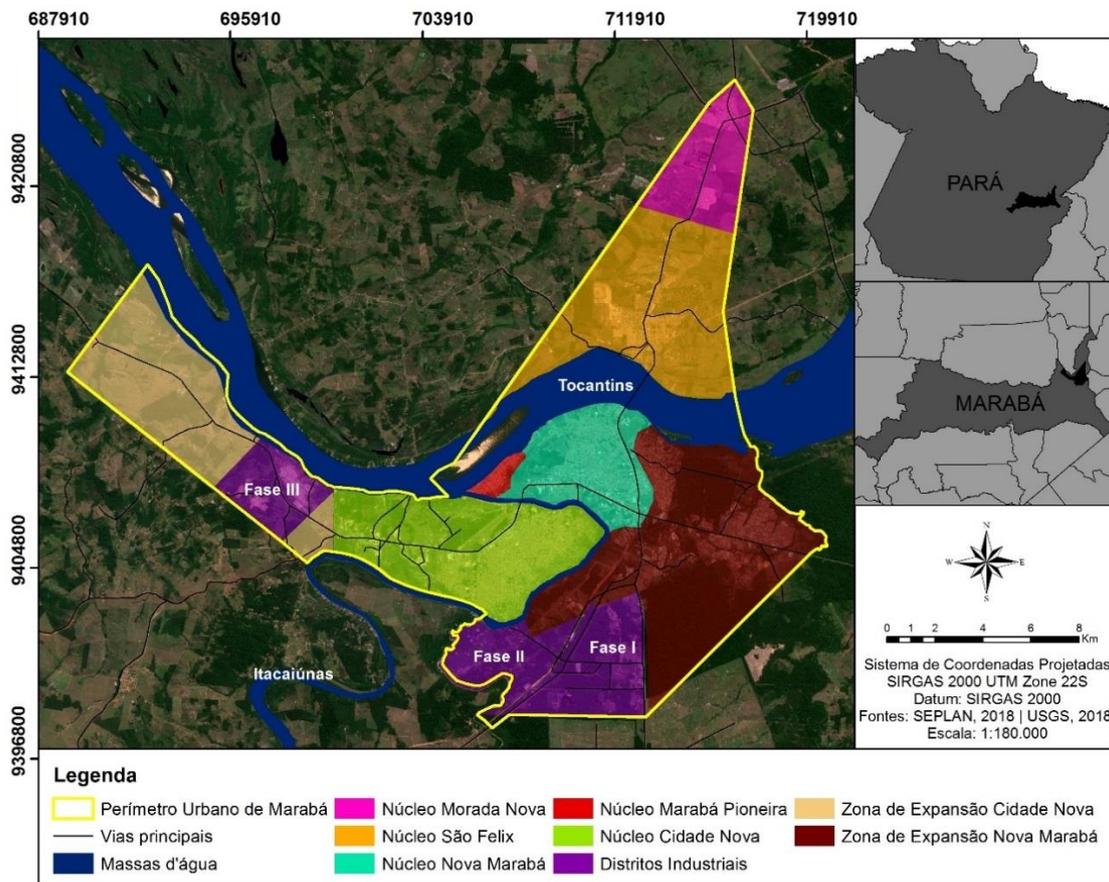


Figura 1: Localização da Área de Estudo. Fonte: Costa *et al.* (2020).

A cidade de Marabá, no sudeste do Estado do Pará, nasceu em terras que se situam a confluência entre dois rios, o Itacaiúnas e o Tocantins. Essa localização geográfica mostrou-se economicamente favorável nas décadas de 1920 e 1980, para extração do caucho e castanha-do-pará, mas era inadequada para ocupações de crescimento populacional, pois as condições topográficas não permitiam suportar aglomeração urbana estável (RUSSI, 2014).

Nesse sentido, a descoberta de grandes jazidas minerais na área estimulou investimentos na cidade por meio da intervenção do Governo Federal, que iniciou o processo de planejamento urbano juntamente com implantação de infraestrutura e outros equipamentos urbanos.

Em seu território estão presentes o rio Tocantins e o rio Itacaiúnas, sendo o rio Tocantins o que percorre 50km do território do município no qual todos os anos sucede as enchentes, um fenômeno natural consequente da topografia, afetando especialmente o Núcleo da Marabá Pioneira, ainda se encontra unidades de conservação indígenas e parques de conservação ambiental que somam 3.224,75 km² e representam 21,27 % da área total de Marabá (GEO MARABÁ, 2010).

Atualmente, Marabá detém posicionamento estratégico em virtude do entroncamento de estradas estaduais e federais, margem da estrada de Ferro Carajás e confluência entre rios. Desse modo, é ponto de conexão entre as demais regiões e estados brasileiros, fato que lhe torna setor fronteiriço (RUSSI, 2014).



METODOLOGIA

O universo da pesquisa será a população da cidade de Marabá-PA segundo dados estimados de IBGE (2020). Como amostra, optara-se por incluir apenas a população dos limites do perímetro urbano de acordo com MARABÁ (2018), devido o enfoque dado a esses ecossistemas em estudos da PE, uma vez que configura geralmente, área de grande demanda de recursos que ultrapassam suas zonas limítrofes. Sabendo que Marabá apresenta área rural considerável, mas por questões de critérios e limites da pesquisa apenas será considerado área urbana dos núcleos Nova Marabá, Cidade Nova e Velha Marabá (fig. 1).

Intuito de colher informações prévias sobre o campo de interesse, consiste na pesquisa de fontes primárias e secundárias. Além de dados do IBGE outros órgãos de governo e instituições civis são essenciais nesta pesquisa para informação como:

- A Secretaria de Ciência, Tecnologia e Educação Superior, Profissional e Tecnológica (SECTET);
- Companhia de Abastecimento de Água do Pará (COSANPA);
- Companhia de Energia Elétrica do Pará (Equatorial energia);
- Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA);
- Departamento Nacional de Trânsito do Pará e Marabá (DETRAN/DMTU);
- Sindicato de postos de combustíveis de Marabá;
- Secretaria Municipal de Meio ambiente (Sema/Marabá); e
- Secretaria Municipal de Saneamento ambiental de Marabá (SSMA).

O banco de dados para análise foi realizado com base no último ano disponível para cálculo da PE.

MÉTODO DE CÁLCULO DA PE

A PE representa o conjunto que abrange a pressão do consumo humano sobre os bens ecológicos, através da utilização desses pelo cultivo, pesca, pastagem, extração, construção e energia, que somados constituem a PE total. Nesse estudo, a categoria de análise é a energia e as emissões provenientes da produção/geração de resíduos sólidos, dos combustíveis e do consumo de energia elétrica, com abordagens distintas. Para tanto o método utilizado para o cálculo da PE no município de Marabá baseou-se no modelo apresentado por Dias (2002), Andrade (2006) e Bezerra (2015).

- Resíduos sólidos

Para a PE de resíduos sólidos será realizado o cálculo para emissões de CO₂ apenas para geração de resíduos sólidos que são dispostos no aterro controlado do município. Para tanto utilizou-se padrões de referências na conversão do lixo gerado em CO₂ emitido, seguindo De Cicco et al. (1991) e Dias (2002), ao determinar que para cada 3 kg de lixo gerados, ocorre emissão de 1 kg de CO₂.

Andrade (2010) sugere que o cálculo da PE esteja completo também é importante considerar as emissões de CO₂ e de metano, confirmadas por Dias (2002), indicando que ambos os tipos de emissões precisam ser considerados Equivalência entre os gases, duplicação da área por semelhança nas propriedades dos gases em comparação com elemento carbono.

- Energia Elétrica

Para PE de energia elétrica, adotou-se as conversões de De Cicco et al. (1991), na qual 1 kWh equivalendo a 1,5 lb de CO₂ e cada libra de CO₂ correspondendo a 0,45 kg de CO₂;

- Combustível

Neste trabalho por limitação da pesquisa foi contabilizado o consumo de gasolina comum em litros. Segundo Dias (2002) a combustão de 1,0 litro de gasolina automotiva libera 22 libras de CO₂ que corresponde a 2,63 kg de CO₂. Para as 3 categorias como fator de conversão a área necessária para absorção de CO₂ também foi definida a relação proposta por Wackernagel e Rees (1996), que resulta em uma capacidade de ingestão de 1,8 t por hectare CO₂.

Os itens de produção/consumo são agrupados de acordo com sua área bioprodutiva correspondente. Desse modo, são obtidas as Pegadas Ecológicas das áreas



-Bioprodutiva Separadamente.

Obtidos os dados de consumo e produtividade, serão feitos os cálculos necessários para a conversão dos bens e serviços consumidos pelas populações na área equivalente para produzi-los e na área equivalente necessárias para absorver o impacto gerado pelo consumo. Assim para um dado item de consumo ou serviço (i), calculou-se sua Pegada Ecológica dividindo-se a quantidade consumida por sua produtividade (equação 1) (OLIVEIRA, 2012).

A estes valores é aplicado o chamado fator de equivalência, que realiza a conversão do resultado em hectares (ha) para hectares globais (Gha). Por fim, a Pegada Ecológica total (PE), em hectares globais, será a soma das Pegadas Ecológicas das áreas bioprodutiva.

Logo a PE_{total} para cidade de Marabá será realizada por meio de planilhas eletrônicas pelo cálculo da equação 2.

$$PE_{total} = \left[\sum \left(\frac{C_i}{P_i} \right) \right] \times N \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

C_i = Consumo médio per capita de cada bem/item ou geração de resíduos;

P_i = Produtividade média de cada bem/item, ou capacidade de assimilação;

N = População da cidade de marabá-PA.

-Calcular a Biocapacidade

Método subnacional

Diferentemente dos produtos primários agrícolas que necessita de certa área para ser produzido, para o consumo de energia elétrica considera-se a área necessária para a absorção do CO2 emitido. Para isso, as categorias energia elétrica, combustível e geração de Lixo, calculou-se a área de floresta necessária para absorver a quantidade de CO2 emitido no consumo destes itens. Para tanto, foram levantadas a partir de informações de áreas do patrimônio ambiental da cidade de marabá, com área destinada à preservação.

-Método nação

Informações de áreas bioprodutiva globais, agregou-se a cada tipo de área os respectivos dados concernentes aos fatores de equivalência global e de produtividade nacional, apresentados por Wackernagel e Ress (1996) na equação 2 (BORUCKE et al., 2013):

$$B = A \times Fe \times Fp = gha \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

B = Biocapacidade (gha)

A = área local bioprodutiva existente (ha)

Fe = fator de equivalência

Fp = fator de produtividade

Assim a situação de sustentabilidade de Marabá será feita pelo cálculo a partir da diferença entre quanto é consumido de recursos e quanto se tem disponível no território, para suas produções por meio da fórmula 3:

$$SE = BC - PE \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

SE = saldo ecológico (ha);

BC = biocapacidade (ha);

PE = Pegada Ecológica (ha)

Quando o resultado for positivo, diz que há um superávit ecológico, havendo condições suficientes para manter o estilo de vida da população vigente, com saldo dos recursos naturais, evidenciando um quadro de sustentabilidade, como indicam Furtado, Horneaux e Hrdlicka (2008). Do contrário, quando o resultado é negativo, tem-se um déficit ecológico, ou overshoot, revelando o uso dos recursos naturais de forma excedente à biocapacidade.

Do tamanho de cada área biologicamente produtiva disponível no município será subtraída a soma da Pegada Ecológica dos itens pertencentes à classe. Desse modo, cada classe apresentará um déficit ou superávit ecológico (BEZERRA, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade de Marabá, uma das maiores cidades do Estado do Pará, atualmente possui um aterro sanitário controlado que em seu plano inicial deveria se comportar como aterro sanitário e por conta da sua estrutura acabou-se adaptando como um aterro controlado.

O cenário do aterro de Marabá acaba gerando uma inadequação ao proposto e este é diretamente relacionado com a organização do ambiente municipal saudável. De acordo com a Prefeitura de Marabá (2020) o atual está saturado e necessitando de um novo local para despejo dos resíduos sólidos de todo município e que consiga atender a lei 12.305 de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que estabelece em seu artigo 15º, inciso V acerca da eliminação e recuperação de lixões a céu aberto, sendo que a disposição final dos resíduos deve ser preferencialmente feita em aterros sanitários.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), houve uma geração total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia, no ano de 2022. De acordo com SNIS (2021) Marabá apresentou uma geração de 50 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos no ano de 2021, com geração per capita/dia de 0,48 Kg. Não há resíduos sendo reciclados e sim coletores em associação que encaminham plásticos, papel e metal para reciclagem fora do município. Há incineração de resíduos perigosos gerados em Unidades de saúde Pública e privada no município, mas esta pesquisa considerou insignificante para os cálculos da PE.

A proporção do destino dado aos resíduos sólidos no município indica alta concentração no destino por aterro controlado sem uma gestão de resíduos adequada, torna um problema em evidente na cidade, uma vez que anualmente, cada habitante do município contribui em média, com a geração de 174 kg, o que gera uma quantidade considerável de emissões de CO₂, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Emissões de CO₂ pela geração de resíduos sólidos urbanos em Marabá-PA.

ANO	População	Produção lixo Kg (kg)	Q _{lixo} (CO ₂) (Kg)	P (Kg/ha)	PE CO ₂ (ha)	PE CO ₂ e CH ₄ (ha)	PE percapita
2021	287.664	50.000.00 0	16.666.66 6,67	1,8	9.259,25	18.518,52	0,06

A produção de lixo pela população local difere bastante da média nacional de cerca de 1 kg/hab/dia ABRELPE (2022). Os dados oficiais pelo Portal do SNIS talvez divirjam da realidade que provocaria um maior impacto *per capita* da geração de lixo aos bens ecológicos pela população local.

Ao levar em conta a emissão de metano a duplicação da área necessária para absorção dos gases relevantes, com carbono em sua constituição e oriundos da geração de resíduos sólidos na cidade, tem-se 18.518 ha, perfazendo uma PE de 0,06 ha/hab./ano. Para contornar essa pressão aos recursos naturais, torna-se pertinente desenvolver formas de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos com a instalação de aterro sanitário também como medida imediata, essencial para banir o lixão do local, em atendimento à PNRS.

A cidade de Marabá-PA apresenta uma frota de veículos em 2019 de 121.223, conforme DETRAN/PA. A maioria das emissões de CO₂ advém de automotores, que através de catalisadores, regulagem e tipos de combustíveis que lhe são intrínsecos, caracterizam em sua maioria, como vilões de elevação na PE, principalmente através dos combustíveis fósseis.

Com abastecimento energético feito predominantemente através desses combustíveis, os veículos automotores têm contribuído para aumento das emissões de gases nocivos ao entorno, além de material particulado e demanda de estradas com usos e ocupações do solo. Assim no ano de 2019, conforme dados da ANP houve consumo de 1.176.565.934 de litros de combustível no estado do Pará. De forma proporcional o município de

Marabá houve consumo de 67.321.528,7 de litros de gasolina comum contribuindo para uma PE de 98.364,23 e per capita de 0,34 (tabela 2).

Tabela 2: Quantidade de combustíveis consumidos por veículos em Marabá-PA.

ANO	População	Consumo de gasolina (litros)	Q _{comb_gas.} CO ₂ (Kg)	Q _{comb_gas.} CO ₂ (t)	P (Kg/ha)	PE (ha)	PE percapita
2019	287.664	67.321.528,7	177.055.620,	177.055,6	1,8	98.364,23	0,34

Enquanto o uso do álcool ou etanol, por não ser de origem fóssil, proporciona uma redução na emissão de gases poluentes, a sua utilização ainda ocorre de forma tímida na cidade, com menos de 3%, o que foi considerado insignificante nesta pesquisa.

Logo medidas mínimas como regulação dos motores automotivos, para diminuir emissão de gases e perdas de combustíveis, uso assíduo dos transportes coletivos em detrimento do particular, automóvel híbridos ou elétricos e um planejamento urbano efetivo tende a reduzir de forma massiva a PE de todo e qualquer município.

A eletricidade representa a maior demanda de energia e aplicabilidade nas atividades humanas em especial em áreas urbanas, ela é fortemente empregada nas áreas urbanas brasileiras, sendo em sua maioria, gerada por usinas hidrelétrica, que constitui a fonte principal de abastecimento do município em estudo, no caso UHE Tucuruí.

Segundo dados do FAPESPA (PARÁ, 2021), o município em estudo responde por cerca de 7,5 % da cobertura estadual, com um consumo total de 708.001.895 KWh/ano. Esse consumo somente é superado pelas médias de consumo anual da cidade de Belém 2.583.664.495 KWh/ano. O incremento na energia em Marabá não é devido ao consumo residencial e principalmente pelo uso industrial minero-metalúrgico, como siderurgia e beneficiamento mineral, atividades eletrointensivas (Figura 2).

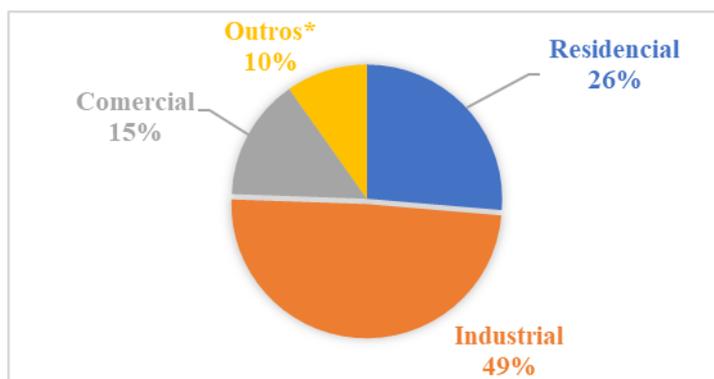


Figura 2: Proporção de consumo energético por setor em Marabá-PA.

A concentração industrial em Marabá justifica o alto consumo de energia pelo setor, além do destaque da cidade como polo da Região do Sul e Sudeste do Pará, o que embala a economia local e atrai consumidores, demandando os bens ecológicos e elevando a PE local.

A área necessária para absorção do dióxido de carbono emitido a partir desse consumo, seguindo parâmetros de equivalência propostos por Wackernagel e Rees (1996) apontado na metodologia, representa 265.500,7 ha. Correspondendo a uma PE de 0,92 ha/percapita/ano (Tabela 3).

Tabela 3: Pegada Ecológica do consumo de energia elétrica de Marabá-PA.

ANO	População	Consumo de energia (kwh)	Q _{energia Lb} (CO ₂)	Q _{energia Kg} (CO ₂)	Q _{energia t} (CO ₂)	P (Kg/ha)	PE (ha)	PE (ha) Percapita
2021	287.664	708.001.895	1.062.002.841,97	477.901.278,89	477.901,2	1,8	265.500,7	0,92

O fornecimento de energia elétrica de Marabá não se diferencia do restante do país, que segundo aponta EPE (2022), a grande maioria da energia elétrica é produzida por usinas hidrelétricas, que embora representem vantagens por ser fonte renovável, causam impactos ambientais em suas instalações e estão fadadas à escassez do recurso hídrico.

Assim é importante, repensar hábitos e consumo dos recursos naturais, integrando sociedade e políticas públicas para uma diminuição das emissões de carbono e outros gases prejudiciais, ao menos para evitar agravamento do cenário de poluição atmosférica e variabilidades climáticas. Tomando por base os dados de emissões de CO₂ apresentados na Tabela 04.

Tabela 4: Pegada Ecológica relativa à emissão de carbono na cidade de Marabá-PA.

Categorias	PE (Total/per capita)		
	Resíduos sólidos	Energia Elétrica	Combustível
	18.518,52/0,06	265.500,7/0,92	98.364,23/0,34
$\Sigma = 382.383,46/1,33$			

A biocapacidade se como fator primordial para regeneração e suporte à pressão dos estilos de vida humano na geração de gases de efeito estufa. Responsáveis pela assimilação de CO₂, as áreas verdes, são denominadas de áreas de biodiversidade, pelo seu potencial de proteger a fauna e flora.

As áreas verdes de marabá constituem-se três unidades de conservação de esfera administrativa federal geridas pelo ICMBio conforme Maia (2017), são a Flona do Itacaiúnas, Flona Tapirapé-Aquiri e a Rebio do Tapirapé. nenhuma estadual e 4 unidades municipais de responsabilidade privada e X Unidades de responsabilidade pública.

As áreas desses locais totalizam 6.185,4 Km² (tabela 5), onde se pode apropriar que a área verde apresenta proporção de 21.502 m²/per capita, muito superior ao estabelecido pela OMS, porém o que preocupa são as interferências antrópicas nessas áreas de preservação (SOUZA-FILHO et al., 2016).

Tabela 5: Biocapacidade de energia de Marabá-PA.

Área bioproductiva	Subnacional (ha)	Subnacional (ha/percapita)	Nação (gha)	Nação (gha/percapita)
Área verde	618.540	2,15	1.636.656,84	5,69

A biocapacidade de Marabá, pelo método subnacional corresponde a cerca de 2,15 ha/percapita. Enquanto adaptando para o método da nação, proporcionando comparativo de valores, tem-se valor próximo da subnacional, correspondendo a 5,68 ha/per capita.

Embora a PE percapita para emissão de carbono de Marabá esteja acima da PE percapita nacional de 0,7 (GFN, 2022), a situação merece atenção especial. Apesar da alta biocapacidade existente no município, o que tornou o saldo ecológico positivo, colocando o território numa situação de superavit ecológico (tabela 6) considerado proveniente de um consumo inferior à disponibilidade, apresentou-se para carbono e precisa analisar demais categorias como cultivo, área construída, pastagem, dentre outros.

Tabela 6: Saldo ecológico de energia de Marabá-PA.

Tipo de área	Biocapacidade (ha)	PE (ha/ano)	Saldo ecológico (ha/ano)	Saldo ecológico <i>per capita</i>
Área verde	618.540,00	382.383,46	+ 236.156,54	+ 0,82

CONCLUSÃO

Os resultados da Pegada de absorção do gás carbônico, além de aumentar a PE do local avaliado, contribui para variações climáticas e gerar danos à saúde pública e socioeconômicos.

A cidade de Marabá apresenta saldo positivo com superavit per capita de 0,82, ou seja, por requerer uma área inferior à que se tem disponível, a PE de carbono não ultrapassa seus limites fronteiriços sendo assim autossuficiente. Apesar de elevada PE a biocapacidade compensa com folga a pressão da geração de CO₂.

Nesse âmbito, considerando perspectiva futuras de crescimento populacional e industrial faz-se necessário repensar e adotar estratégias que diminuam as concentrações de CO₂ na atmosfera, uma vez que atividades que dissipam o gás são tidas como insustentáveis, e substituí-las é um processo lento e gradual, porém primordial na busca da qualidade ambiental e de vida.

Então, tratar o CO₂ residual dessas atividades já constitui um avanço elementar com políticas públicas no estado do Pará voltado a bioeconomia, em especial, créditos de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHEAMPONG, Alex O. Modelling for insight: Does financial development improve environmental quality? **Energy Economics**, v. 83, p. 156–179, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988319302129>. Acesso em: 2 maio 2023.
2. AHMED, Zahoor; ZAFAR, Muhammad Wasif; ALI, Sajid; *et al.* Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: An empirical analysis. **Sustainable Cities and Society**, v. 55, p. 102064, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670720300512>. Acesso em: 2 maio 2023.
3. Andrade, B. B. **Turismo e sustentabilidade no Município de Florianópolis**: uma aplicação do Método da Pegada Ecológica. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. (Dissertação de mestrado).
4. BEZERRA, Francisca Neiliane. **A aplicabilidade da pegada ecológica como indicador de sustentabilidade: um estudo de caso na cidade de Juazeiro do norte**. 2015. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, Universidade Federal do Cariri/Ufca, Juazeiro do Norte, 2015.
5. BORUCKE, Michael; MOORE, David; CRANSTON, Gemma; *et al.* Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 518–533, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X12002968>. Acesso em: 2 maio 2023.
6. DECICCO, J.; COOK, J.; BOLZE, D.; *et al.* **The CO₂ diet for a greenhouse planet: Assessing individual actions for slowing global warming**. United States: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1990.
7. DIAS, G. F. 2002. *Pegada ecológica e sustentabilidade humana*. São Paulo: Editora Gaia.
8. EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN): Ano base 2021, 2022. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em maio/2022.
9. GALLI, Alessandro; IHA, Katsunori; MORENO PIRES, Sara; *et al.* Assessing the Ecological Footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. **Cities**, v. 96, p. 102442, 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275119302306>>. Acesso em: 2 maio 2023.
10. GFN - Global Footprint Network. Data and Methodology. 2022. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/resources/data/>. Acesso em 10 de maio de 2023.
11. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores**



- Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2018.** Brasília, jul. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/maraba/panorama>>. Acesso em: 13 de jul. 2021.
12. MAIA, Joyce De Oliveira; OLIVEIRA, Gabriela Pardino; LEAL, Arthur Gabriel Lopes; *et al.* DESAFIOS NA GESTÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO MUNICÍPIO DE
 13. MARABÁ-PA. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 1, p. 31, 2017. Disponível em: <http://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/4617>. Acesso em: 11 maio 2023.
 14. MARABÁ. Lei Municipal nº 17.846, de 29 de março de 2018. **Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor Participativo do município de Marabá, instituído pela Lei Municipal nº 17.213 de 09 de outubro de 2006, e dá outras providências.** Marabá, PA, 2018. Disponível em: <http://www.governotransparente.com.br/transparencia/documentos/4466490/download/29/Plano_Diretor_Participativo_%2017.846_Mar%C3%A7o_2018.pdf>. Acesso em: 27 de set. 2018.
 15. MARABÁ. Lei Municipal nº 17.213, de 09 de outubro de 2006. **Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Marabá.** Marabá, PA, 2006. Disponível em: <<http://www.seidurb.pa.gov.br/pdm/maraba/pdm.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2021.
 16. NATHANIEL, Solomon P. Biocapacity, human capital, and ecological footprint in G7 countries: the moderating role of urbanization and necessary lessons for emerging economies. **Energy, Ecology and Environment**, v. 6, n. 5, p. 435–450, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s40974-020-00197-9>. Acesso em: 2 maio 2023.
 17. OLIVEIRA, Bárbara Li Sarti e [UNESP. A pegada ecológica: uma avaliação da metodologia através do estudo de caso da cidade de Rio Claro (SP). **Aleph**, p. 80 f., 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/120248>. Acesso em: 2 maio 2023.
 18. PARÁ. **Relatório Local Voluntário sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Estado do Pará.** 2020. Disponível em: https://www.local2030.org/pdf/vlr/VLRState%20of%20Par%C3%A1_Brazil_Portuguese.pdf. Acesso em: 28 abr. 2021.
 19. REES, William E. Ecological economics for humanity's plague phase. **Ecological Economics**, v. 169, p. 106519, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800919310699>. Acesso em: 2 maio 2023.
 20. RUSSI, A. **Entre o legal e o real: a regularização fundiária nos assentamentos urbanos informais do município de Marabá.** 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas Territoriais e Sociedade na Amazônia) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2014.
 21. SOUZA-FILHO, Pedro Walfir M.; DE SOUZA, Everaldo B.; SILVA JÚNIOR, Renato O.; *et al.* Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 175–184, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479715303935>. Acesso em: 11 maio 2023.
 22. WACKERNAGEL, Mathis; REES, William E. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.** Gabriola Island, BC; Philadelphia, PA: New Society Publishers, 1996. (New catalyst bioregional series, no. 9).