



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

FÁBIO AUGUSTO SIQUEIRA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS VERDES NA ILHA DO
MARANHÃO COMO BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA COMPENSAÇÃO
DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

São Luís - MA

2024

FÁBIO AUGUSTO SIQUEIRA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS VERDES NA ILHA DO
MARANHÃO COMO BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA COMPENSAÇÃO
DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Denílson da Silva Bezerra

Coorientador: Dr. Celso Henrique Leite Silva Junior

São Luís - MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Siqueira dos Santos, Fábio Augusto.

AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS VERDES NA ILHA DO MARANHÃO COMO BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA COMPENSAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA / Fábio Augusto Siqueira dos Santos. - 2024.

125 p.

Coorientador(a) 1: Celso Henrique Leite Silva Junior.

Orientador(a): Denílson da Silva Bezerra.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2024.

1. Carbono. 2. GEE. 3. Mudanças Climáticas. 4. Políticas Públicas. 5. Urbanização. I. da Silva Bezerra, Denílson. II. Leite Silva Junior, Celso Henrique. III. Título.

FÁBIO AUGUSTO SIQUEIRA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS VERDES NA ILHA DO
MARANHÃO COMO BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA COMPENSAÇÃO
DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da
Universidade Federal do Maranhão como requisito para
obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio
Ambiente

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr. Denilson da Silva Bezerra

**Departamento de Oceanografia e Liminologia / UFMA
ORIENTADOR**

Profa Dra. Larissa Nascimento Barreto

**Departamento de Oceanografia e Liminologia / UFMA
MEMBRO INTERNO**

Profa Dra. Naila Arraes de Araújo

**Departamento de Oceanografia e Liminologia / UFMA
MEMBRO EXTERNO**

AGRADECIMENTOS

Em uma jornada tão delicada durante esses dois anos só posso agradecer aos meus familiares, meus pais, pois hoje sei que mesmo com seus defeitos são perfeitos e investiram todas suas vidas em seus filhos para que alcançássemos os andares em que eles jamais conseguiram chegar por conta das mazelas que a vida impõe, em especial à minha mãezinha que até o último suspiro deu as maiores lições de incentivo que conseguiu superando toda dor e desgaste da doença que a consumia, sempre com muita lucidez e assertividade, e meu pai com toda sua lealdade, força e integridade transmitindo exatamente o que ela precisava no momento que vivíamos, duas referências que carregarei na memória e principalmente em meu coração para sempre, às minhas amadas Esposa e Filha pois mesmo em momentos difíceis estão ao meu lado sem tremer por qualquer motivo, sempre acreditando em mim, dando qualquer suporte necessário para o próximo passo e sendo o meu porto seguro e alicerce que sustenta todos meus sonhos ainda em construção, aos meus amigos que me provaram várias vezes que são de verdade mesmo, em especial Luan que acompanhou passo a passo desse documento, acreditando muitas vezes mais que eu em momentos decisivos, com uma lealdade sem igual, Marimba que tanto acrescentou em discussões e conclusões sob diversos ângulos que eu precisava ter ciência que existem, Alexandre e Rosana , Roberto e Pinheiro Jr, Maiton e Will., por serem sempre prestativos quando precisei. Aos meus queridos padrinhos Neriozete e Newton por seu apoio e carinho durante toda minha contínua caminhada pela vida, em especial a ele que também se encontra hoje com minha mãezinha acompanhando de lá. A minha irmã Livia pelos momentos de disposição para ajudar. Aos amigos Nelson, Luiz, João e Silvinha, por sempre apoiarem. Ao Sr. César, pai de minha amada por ter segurado a batata quente inúmeras vezes quando precisamos. Ao professor Denilson meu grande mentor e grande amigo durante toda a jornada e agora pelo resto da vida. Ao Professor Celso por ter me dado todo suporte possível dentro de suas limitações de tempo, Às Professoras Flávia, Larissa e Naila pela sensibilidade de ter entendido o momento difícil que passei durante a qualificação,

o que nunca esquecerei, ao Professor Claudio Urbano, por mesmo no momento de encerramento de sua carreira ainda honrosamente aceitou uma orientação mesmo que temporária de um moribundo. Ao meu ídolo Rocky Balboa que mesmo fictício me ensinou que “A vida sempre vai bater, e cada vez mais forte e se você estiver preparado vai aguentar até o final, o que já é a grande vitória”, e a todos que eventualmente não citei, mas que de alguma forma foram importantes para minha formação.

Assim como meus agradecimentos acadêmicos se direcionam às políticas e instituições públicas de promoção e fomento à educação, que permitem o desenvolvimento, mesmo em momentos sensíveis da sociedade, de pesquisas científicas com excelência, em especial a CAPES.

*“Não importa o quanto a vida
bata, continue sempre de pé, pois
assim é que nasce o verdadeiro campeão”
(Rocky Balboa)*

RESUMO

A arborização urbana é importante para a qualidade de vida nas cidades e saúde da população. Ela proporciona benefícios como estabilidade climática, conforto ambiental, melhoria da qualidade do ar e redução da poluição sonora e visual. Além disso, auxilia na conservação do ambiente e no sequestro de carbono, um processo natural que ocorre nas árvores e ajuda a mitigar as mudanças climáticas, tornando políticas públicas fundamentais para garantir a arborização urbana nas cidades e o planejamento urbano deve considerá-las como um elemento importante. Elegendo o sensoriamento remoto como ferramenta viável para monitorar a cobertura vegetal das cidades. Além de ser possível observar uma correlação direta entre taxa de perda áreas verdes com a emissão de carbono em todos os municípios da ilha, o efeito dos marcos temporais na dinâmica dessas taxas assim como um vislumbre do cenário de atividades mais críticas para a temática dentro da ilha, levantando um alerta para as altas taxas que São Luís vem apresentando desde 1986 em comparação aos outros três municípios, fazendo-se necessária reflexão de ações como o plantio de espécies que contribuem para o conforto ambiental e qualidade do ar, investimento em políticas públicas para aumentar a cobertura vegetal destas áreas urbanas.

Palavras-chave: Carbono, Geotecnologias, Arborização, Políticas Públicas, Urbanização, Marcos Temporais.

ABSTRACT

Urban afforestation is important for the quality of life in cities and the health of the population. It provides benefits such as climate stability, environmental comfort, improved air quality and reduced noise and visual pollution. Furthermore, it helps to conserve the environment and sequester carbon, a natural process that occurs in trees and helps mitigate climate change, making public policies fundamental to guaranteeing urban afforestation in cities and urban planning must consider them as an important element. Choosing remote sensing as a viable tool to monitor vegetation cover in cities. In addition to being possible to observe a direct correlation between the rate of loss of green areas and carbon emissions in all municipalities on the island, the effect of time frames on the dynamics of these rates as well as a glimpse of the scenario of the most critical activities for the theme within the island, raising an alert for the high rates that São Luís has been presenting since 1986 in comparison to the other three municipalities, making it necessary to reflect on actions such as the planting of species that contribute to environmental comfort and air quality, investment in public policies to increase the vegetation cover of these urban areas.

Keywords: Carbon, Geotechnologies, Afforestation, Public Policies, Urbanization, Time Frames.

LISTA DE FIGURAS

III. CAPÍTULO I: LEITURA TEMPORAL DE DADOS RELATIVOS A EMISSÕES DE CARBONO E DESMATAMENTO DA ILHA DO MARANHÃO NO PERÍODO DE 1986 À 2021

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo	48
Figura 2. Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Ilha do Maranhão 1985 a 2022 (Mapbiomas)	50
Figura 3. Distribuição de Carbono no solo de 1985 a 2021 (Mapbiomas).....	51
Figura 4. Mapa de Densidade de Carbono na Biomassa (Base GEE)	52
Figura 5. Mapa de Densidade de Carbono na Biomassa (Base WCMC)	52
Figura 6. Avaliação Temporal da Perda de Áreas Verdes Municipais Florestadas	53
Figura 7. Avaliação Temporal da Perda de Áreas Verdes Municipais Não Florestadas.....	54
Figura 8. Supressão da vegetação nativa.	55
Figura 9. Avaliação Temporal emissão de Carbono oriunda da perda de Municipais Florestadas.....	56
Figura 10. Avaliação Temporal emissão de Carbono oriunda da perda de Municipais Não Florestadas	57

IV. CAPÍTULO II: EFEITO DE MARCOS TEMPORAIS DO CARBONO EM FATORES COMO ANÁLISE DE DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE DESMATAMENTO NA ILHA DO MARANHÃO

Fig. 1 Mapa de localização da área de estudo	68
Fig. 2 Mapas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada NDVI e Uso e Cobertura da Terra - Mapbiomas	73
Fig. 3 Comparação entre as médias de área desflorestada (km ²) em relação aos municípios considerando as vegetações florestal e não-florestal por ANOVA fatorial.	74
Fig. 4. Comparação entre as médias de desflorestamento (km ²) em relação aos tipos de vegetação.	75

Fig. 5. Comparação entre as médias de desflorestamento (km ²) em relação aos municípios.	76
Fig. 6. Comparação entre as médias de desflorestamento (km ²) em relação aos anos.	76
Fig. 7. Comparação entre as médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos municípios considerando as vegetações florestal e não-florestal por ANOVA fatorial.]	77
Fig. 8. Comparação entre as médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação às vegetações florestal e não-florestal.....	78
Fig. 9. Comparação entre as médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos municípios	79
Fig. 10. Comparação entre as médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos anos.....	79
Fig. 11. Correlação entre os valores de áreas desflorestadas e as concentrações de CO ₂	80
Fig. 12. Médias de desflorestamento (km ²) em relação aos anos.	81
Fig. 13. Médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos anos.....	83
Fig. 14. Marcos temporais das leis ambientais de caráter nacional no período de 1986 até 2021.	85
Fig. 15. Médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos marcos temporais internacionais.	86
Fig. 16 Comparação entre as médias de desflorestamento (km ²) em relação aos marcos temporais nacionais.....	88
Fig. 17. Médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos marcos temporais nacionais	88
Fig. 18. Comparação entre as médias de desflorestamento (km ²) em relação aos marcos temporais internacionais e nacionais combinados	89
Fig. 19. Médias de concentração de CO ₂ (ton) em relação aos marcos temporais internacionais e nacionais combinados.....	90

V. CAPÍTULO III: GESTÃO DE CARBONO POR MEIO DA ARBORIZAÇÃO PLANEJADA, UMA PROPOSTA PARA BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ILHA DO MARANHÃO

Figure I. Estimativa de gases de efeito estufa na cidade de São Luís	101
Figure II. Série Histórica das Emissões de GEE em São Luís	102
Figure III. Principais fontes das Emissões de GEE em São Luís	103
Figure IV. Participação das principais fontes de emissão de GEE em São Luís em relação ao perfil estadual e nacional.	103
Figure V. Mapa de Uso e Cobertura Vegetal.....	106
Figure VI. Mapa de Densidade Demográfica por Bairro	110
Figure VII. Mapa do Número de Pessoas por Bairro.....	110
Figure VIII. Mapas de Uso e Cobertura do Solo e Temperatura da Superfície Terrestre da Ilha do Maranhão	111
Figure IX. Mapas de Áreas Prioritárias para Plantio de Árvores	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de áreas desflorestadas por município e tipo de vegetação	74
Tabela 2. Médias de concentração de CO ₂ por município e tipo de vegetação....	78
Tabela 3. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por ano.	81
Tabela 4. Valores de média, mínimo e máximo de concentração de CO ₂ por ano.	83
Tabela 5. Marcos temporais das leis ambientais de caráter internacional no período de 1986 até 2021.	84
Tabela 6. Marcos temporais das leis ambientais de caráter nacional no período de 1986 até 2021.	84
Tabela 7. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por marco temporal internacional	85
Tabela 8. Valores de média, mínimo e máximo da concentração de CO ₂ por marco temporal internacional.	86
Tabela 9. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por marco temporal nacional..	89
Tabela 10. Valores de média, mínimo e máximo da concentração de CO ₂ por marco temporal nacional.	86
Tabela 11. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por marco temporal internacional e nacional combinados.....	89
Tabela 12. Valores de média, mínimo e máximo concentração de CO ₂ por marco temporal internacional e nacional combinados.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS

C - Carbono

CDR – Carbon Dioxide Removal

CO₂ – Dióxido de Carbono

COI – Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO

GEE – Gases do Efeito Estufa

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

MapBiomass – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

MMA – Ministério do Meio Ambiente

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

SEEG – Plataforma de monitoramento de emissões de gases de efeito estufa na América Latina

Sumário

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
1. Problemática Do Carbono Em Ambiente Urbano Em Contínuo Crescimento.....	18
2. A Arborização Em Ambiente Urbano Como Alternativa Para Amenizar O Crescimento Da Produção De Carbono.....	24
3. Serviços Ecossistêmicos Oferecidos Por Áreas Vegetadas Em Ambiente Urbano (Sequestro De Carbono).....	26
4. A Importância Das Geotecnologias Na Aferição De Carbono Sequestrado.....	30
5. Plano Diretor E Macrozoneamento.....	32
6. Trabalhos Que Acompanham A Temática De Arborização Urbana E Sequestro De Carbono No Cenário Da Geotecnologia.....	34
III. CAPÍTULO I: LEITURA TEMPORAL DE DADOS RELATIVOS A EMISSÕES DE CARBONO E DESMATAMENTO DA ILHA DO MARANHÃO NO PERÍODO DE 1986 À 2021.....	43
1. Introdução	44
2. Metodologia.....	47
2.1. Área De Estudo.....	47
2.2. Procedimentos Metodológicos	48
3. Resultados e Discussão.....	49
3.1. Densidade De Carbono Sequestrado.....	49
3.2. Avaliação Temporal Das Áreas Verdes Municipais Florestadas e Não Florestadas (Perda em km ²).....	52
3.3. Avaliação Temporal Das Áreas Verdes Municipais Florestadas e Não Florestadas (Emissão De Carbono Da Perda Das Áreas - t).....	56
4. Conclusão.....	57
5. Referências.....	59

IV. CAPÍTULO II: EFEITO DE MARCOS TEMPORAIS DO CARBONO EM FATORES COMO ANÁLISE DE DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE DESMATAMENTO NA ILHA DO MARANHÃO	62
Introdução	63
Metodologia	67
Área De Estudo	67
Mapeamento	70
NVDI	70
Uso e Cobertura do Solo	71
Resultados e Discussões	71
<i>Índice de vegetação x Uso e cobertura do solo</i>	71
<i>Área desflorestada</i>	73
<i>Concentração de CO₂</i>	77
<i>Área desflorestada x Concentração de CO₂</i>	80
<i>Marco temporal das leis ambientais</i>	80
Conclusão	90
Referencias	92
IV. CAPÍTULO III: GESTÃO DE CARBONO POR MEIO DA ARBORIZAÇÃO PLANEJADA, UMA PROPOSTA PARA BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ILHA DO MARANHÃO	96
1. Introdução	97
2. Metodologia	99
2.1. Coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís – MA	99
2.2. Levantamento da cobertura arbórea na cidade	100
2.3. Análise de políticas públicas de arborização urbana em São Luís - MA	100
3. Resultado e Discussão	101
3.1. Gases de efeito estufa em São Luís – MA.	101

3.2. Cobertura arbórea em São Luís - MA.....	105
3.3. Políticas públicas de arborização urbana em São Luís - MA.....	107
3.4 Elaboração de propostas de arborização planejada.....	108
4. Conclusão	113
7. Referencias	115
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
REFERÊNCIAS	119
ANEXOS.....	124

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As áreas verdes nas cidades são importantes para o sequestro de carbono e para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Elas ajudam a reduzir a temperatura local e a melhorar a qualidade do ar. Além disso, as áreas verdes também ajudam a reduzir o escoamento superficial da água da chuva e a prevenir enchentes, tendo um papel fundamental no sequestro global de carbono.

O sequestro de carbono é um serviço ecossistêmico vital para mitigar as emissões de CO₂ e os efeitos das mudanças climáticas. O sequestro de carbono é a expressão utilizada para definir o processo de retirada de gás carbônico da atmosfera. Naturalmente, esse processo é realizado pelo crescimento dos vegetais por meio da fotossíntese e pela absorção do oceano e do solo.

O excesso de carbono na atmosfera desregula o processo natural de absorção do carbono pelos oceanos e pelo solo, causando acidificação dos oceanos. Além disso, o aumento das emissões de gases do efeito estufa tem levado a um aumento da temperatura global, causando mudanças climáticas que afetam a vida na Terra.

O sequestro de carbono pode ser realizado por meio de práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura de conservação e a agrofloresta. Além disso, as áreas verdes urbanas também desempenham um papel importante no sequestro global de carbono.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. Problemática Do Carbono Em Ambiente Urbano Em Contínuo Crescimento

Os estudos existentes sobre os efeitos positivos e negativos da urbanização nas emissões de carbono e no consumo de energia são controversos. Por um lado, alguns estudos apontaram que o aumento da densidade populacional urbana e a construção de infraestrutura trazida pelo desenvolvimento da urbanização levará diretamente ao aumento da intensidade das emissões de carbono, a rápida urbanização do solo agravará a deterioração da relação entre a urbanização e o meio ambiente ecológico, o que trará uma enorme pressão sobre a conservação de energia e redução de emissões (Prastiyo et al., 2020). Por outro lado, outros estudos apontaram que a urbanização é propícia à redução da escala de emissão de carbono, intensidade de emissão de carbono e emissão de carbono *per capita*, o efeito de redução de carbono é mais significativo para países ou regiões com baixo nível de desenvolvimento econômico, mas com isso o efeito de redução de carbono diminuirá gradualmente com a melhoria do nível abrangente de urbanização (Xiao et al., 2023)

Prevê-se que as áreas urbanas se expandam rapidamente nas próximas décadas globalmente, resultando em 1,2 bilhão de pessoas adicionais em áreas urbanas e requerendo 1,2 a 1,8 milhões de km² de terra até 2030 (Liu et al., 2022)

A rápida urbanização acelera o rápido crescimento da população urbana e a densidade populacional, o que, por sua vez, pressiona o uso do solo urbano e a habitação urbana (He et al., 2022). A construção de edifícios e infraestruturas urbanas levará a um rápido aumento das emissões de dióxido de carbono, o que leva ao aumento contínuo das emissões de carbono na indústria da construção. (Xiao et al., 2023)

A densidade demográfica e a complexidade da vida urbana vêm aumentando exponencialmente os riscos (Beck, 2001) e as vulnerabilidades socioambientais nas cidades devido, dentre outros motivos, ao contingente de populações que, em função da pobreza e ineficiência ou ausência de políticas de planejamento urbano, se instalam em áreas de risco ambiental flagrante. Hogan (2009), ao tratar das mudanças climáticas e sua relação com a concentração urbana, aponta que “os estilos de vida urbanos são um dos principais motores da mudança climática: a expansão urbana transforma e fragmenta a paisagem, comprometendo tanto a diversidade biológica

quanto a capacidade dos ecossistemas de amortizar as consequências da atividade humana”. O autor aponta também os graves problemas relativos à geração de um sistema de transporte baseado no automóvel que gera emissões de carbono, as atividades industriais preponderantemente localizadas próximas ao meio urbano, o uso intensivo de recursos, como a energia elétrica, a disposição incorreta dos resíduos gerados em quantidades cada vez maiores etc. (Mendonça, 2020)

Em nossa sociedade, muitos elementos se tornaram “plásticos”, abertos à intervenção humana, mas não realmente sujeitos ao controle humano universal; é, sem dúvida, uma sociedade em que se reivindicam iniciativas políticas. E essas são fundamentais, quando dentre as mudanças socioambientais globais é feito um recorte nas mudanças climáticas. Para Giddens (2010), a transição para o desenvolvimento e uso de tecnologias de baixo consumo de carbono só será efetiva pelo intermédio de decisões políticas. Nesse ponto, as controvérsias sobre o aquecimento global e sua possível aceleração pela atividade humana nos últimos 150 anos colocam, frente a frente, céticos e otimistas. (Mendonça, 2020)

Assim, é necessário criar um modelo positivo de um futuro com baixa emissão de carbono – e um futuro que, além disso, conecte-se à vida cotidiana comum no presente. Pois os riscos são vistos como oportunidade. Além disso, a sociedade tem que encontrar soluções para os riscos e as incertezas, compreendendo que quem está sob risco é a civilização humana e não a natureza do planeta. Não se pode esquecer também que o tratamento político das mudanças climáticas deverá considerar a existência de outros riscos: como os ideológicos que confrontam a “direita” e a “esquerda”, os países desenvolvidos e em desenvolvimento. (Mendonça, 2020)

O posicionamento privado passou de oposição a um setor em parte disposto a gerar oportunidades de negócio alinhadas com iniciativas de governança climática. Algumas das práticas envolvem processos internos de autorregulação e ações voluntárias para a redução de emissões e a criação de novos espaços de governança por meio de mercados de carbono. Diante disso, percebe-se que o mercado pode produzir um amplo leque de práticas em diferentes escalas e regiões, enquanto o Estado continua a ter um papel significativo na modelagem da governança climática privada (Bulkeley; Newell, 2010).

A questão que se coloca atualmente não é mais se é certa ou incerta a mudança climática, mas sim como se precaver, quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado. A partir destas constatações, um conjunto de polícias internacionais (como o Protocolo de Kyoto) e nacionais tem sido estabelecida. O que estas buscam, em geral, é uma “Economia de baixo carbono”. Esse termo foi pela primeira vez utilizado no relatório do Departamento de Transporte e do Meio Ambiente do Reino Unido, em 2003, intitulado “Our energy future-creating a low carbon economy”. Uma economia de baixo carbono pode ser definida como uma economia com baixa emissão de gases de efeito estufa, incluindo, dentre outras ações, implementações de políticas de mitigação de GEE (Magalhães, 2013)

Há um grande debate em curso sobre a forma como as políticas de mitigação serão implementadas: por mecanismos econômicos, como impostos, subsídios e mercado de carbono, ou regulamentações (regulamentações governamentais, padrões de desempenho e programas voluntários, por exemplo). Um cenário alternativo pós-Quito, com a não-ratificação de um acordo global, seria a criação e fortalecimento de políticas nacionais de redução de GEE, que poderiam tomar a forma de políticas de tributação, mercados regionais de créditos de carbono ou políticas de fortalecimento e incentivo à eficiência energética. Existem muitos exemplos de políticas nacionais já em funcionamento. A Dinamarca, por exemplo, é o principal país a adotar taxas sobre o carbono e alcançar as metas de redução de emissões propostas no Protocolo de Quito. O maior mercado de carbono do mundo é o da União Europeia, o EU ETS (European Union’s Emissions Trade Scheme), que tem servido como exemplo na proposição de esquemas semelhantes nos Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia. Programas de sucesso em termos de eficiência energética e que tem auxiliado o cumprimento de metas de redução de emissões podem ser encontrados na Suécia e Inglaterra. (Magalhães, 2013)

Com o amadurecimento dos estudos e da construção de conceitos relativos à sustentabilidade urbana, novas discussões acerca do que seria o modelo de crescimento urbano ambientalmente menos agressivo, vêm ganhando mais ênfase. (Sousa, 2017)

A decomposição dos resíduos sólidos gera gases como metano (CH_4), óxido de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO_x), e dióxido de carbono (CO_2). A presença

desses gases na atmosfera contribui para fenômenos como chuva ácida e o efeito estufa, além de serem tóxicos para diversos organismos, inclusive para os seres humanos. Parte desses gases é liberada constantemente na atmosfera sempre que não passam por tratamento, acondicionamento e disposição adequados (Marques, 2011).

Projeções das Nações Unidas (2004) apontam que, no ano de 2050, 66% da população mundial habitarão áreas urbanas, gerando uma pressão sem precedentes na capacidade de suporte ambiental das grandes cidades pelo aumento no fluxo de recursos e a decorrente fragmentação na coexistência dos seus sistemas naturais e sociais. Entre as externalidades negativas associadas aos processos de apropriação e expansão acelerada das grandes metrópoles, incluem-se a supressão da sua cobertura vegetal e a decorrente diminuição de áreas verdes disponíveis à fruição pública (Moura, 2019)

A infraestrutura verde pode ser definida como uma rede de espaços verdes interconectados que conservam valores naturais de um ecossistema e que provêm benefícios às populações humanas. Pode ser composta por parques, florestas, praças, hortas comunitárias e outras formas de paisagens naturais públicas ou privadas e cada vez mais são reconhecidos os efeitos benéficos que o contato com a natureza gera à saúde humana (COUTTS; HAHN, 2015). (Moura, 2019)

Pinton e Cunha (2014), afirmam que neste contexto, surge a necessidade da formulação de estratégias para o delineamento de prognósticos dos problemas ambientais do sistema urbano, em uma visão holística têmporo-espacial, buscando compreender e adequar a relação dos elementos físicos perante os distintos graus de intervenção antrópica.

Já que a Constituição Federal confere ao meio ambiente uma proteção jurídica, proteção essa que abrange inclusive o meio ambiente artificial ou urbano, uma vez que se trata do habitat natural do ser humano. É, portanto, nesse sentido que Padilha (2018) traz o meio ambiente urbano, como uma questão importante e envolve a gestão eficaz de espaços para garantir a qualidade de vida das populações urbanas, bem como a saúde.

Surge nesse momento o direito à cidade, uma vez que, segundo Nolasco, o entendimento dos constituintes de 1988, ao afirmar que a Política Urbana tem como objetivo principal ordenar o planejamento e o pleno desenvolvimento das funções da cidade e de sua propriedade urbana. (Paulo, 2018)

Cabe ao Poder Público Municipal ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, bem como garantir o bem-estar dos seus habitantes, devendo possuir como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana, o Plano Diretor, que dentre outras funções deverá determinar a função social da propriedade urbana. (Paulo, 2018)

A Constituição Federal atribui ainda ao Município, em seu artigo 30, inciso VIII, a competência de “promover, no que couber adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano”. Foi tendo como base os referidos dispositivos constitucionais que regulam as diretrizes da Política de Desenvolvimento Urbano que, se preocupando com o desenvolvimento urbano ecologicamente saudável, em julho de 2001 foi editada a Lei n.º 10.257, conhecida também como Estatuto da Cidade (Paulo, 2018). O Estatuto da Cidade, tendo como diretrizes fundamentais a Política de Ordenamento dos Municípios brasileiros, visa a ordem pública e o interesse social, bem como o bem-estar dos cidadãos e o seu equilíbrio ambiental. (Paulo, 2018)

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo autoriza a implementação de projetos de sustentabilidade pelos países desenvolvidos, nos países em desenvolvimento, como uma forma de cumprir parte de seus compromissos e pelos quais serão emitidos Reduções Certificadas de Carbono – RCE, podendo, inclusive, ser negociadas no mercado de carbono, conforme prevê o art. 12.3 do Protocolo.

É mister ressaltar a existência de várias críticas em relação ao Protocolo de Quioto, dentre elas, pode-se citar o fato de que as metas que foram traçadas, em razão do aceleração do aquecimento global, hoje já não seriam mais eficazes, ou seja, a velocidade em que evolui a crise ambiental não foi acompanhada pelas metas do Protocolo, sendo considerado, portanto, um documento defasado. Outra crítica frequentemente utilizada é fundamentada na mercantilização dos créditos de carbono, alegando que com isso os países desenvolvidos estariam pagando para

poder poluir e conseqüentemente não haveria redução nenhuma nos impactos ambientais.

Ocorre que, mesmo considerando tais críticas, o fato é que o Protocolo de Quioto é um dos principais tratados internacionais vigentes no combate às mudanças climáticas, sendo assim, outras alternativas devem ser elaboradas e apresentadas, de forma que possam se tornar viáveis e de aplicação prática. (Paulo, 2018)

Conceitos e estudos, como os de metabolismo urbano e metabolismo de carbono (Guo et al., 2017; Weisz & Steinberger, 2010; Kennedy et al., 2007), têm surgido nas décadas recentes e também influenciado vertentes de planejamento urbano sustentável, como as Ecocidades, as Cidades Inteligentes, as Cidades de Baixo Carbono, as Cidades de Zero Carbono, entre outras (Tan et al., 2017; Su et al., 2016).

Assim, percebe-se a importância do desenvolvimento de estudos que compreendam o ciclo do carbono em uma escala local, de tal forma que políticas públicas, vinculadas à infraestrutura verde urbana, possam ser desenvolvidas a ponto de aprimorar o bem-estar social em termos de redução dos impactos da emissão de GEE. (Assumpção, 2019)

A oferta de habitats de carbono azul ao longo das costas urbanas também é potencialmente grande, com mais de 5.000 áreas urbanas costeiras nos trópicos e subtropicais contendo habitats como manguezais e ervas marinhas (Mazor et al., 2021). Estudos mostram que os esforços de reflorestamento urbano para carbono terrestre têm um enorme potencial (Teo et al., 2021) e é provável que os ecossistemas de carbono azul também tenham um grande potencial em paisagens urbanas (Everard et al., 2014). As altas densidades de carbono dos ecossistemas de carbono azul em comparação com os ecossistemas terrestres significam que mesmo habitats irregulares e fragmentados ao longo das costas urbanas têm o potencial de armazenar volumes substanciais de carbono em relação à sua pequena área total. (Friess et al., 2023)

2. A Arborização Em Ambiente Urbano Como Alternativa Para Amenizar O Crescimento Da Produção De Carbono

As emissões de Carbono (EC) estão crescendo e acelerando o efeito da mudança climática, diminuindo os sumidouros de carbono como resultado da conversão massiva em classes de uso/cobertura da terra (LULC). Desta forma, a urbanização é uma das variáveis mais cruciais que influenciam a Cobertura Vegetal (CV) urbana nas mudanças climáticas. É uma das questões mais prementes no contexto do aquecimento nacional e global. (Rahaman et al, 2022)

A cobertura vegetal (CV) é fundamental para as áreas urbanas, pois oferece bens e serviços, bem como uma variedade de atividades ambientais que auxiliam a população da cidade. Nas últimas décadas, A CV dentro e ao redor dos centros metropolitanos passou por uma mudança visível, ameaçando a viabilidade dos ecossistemas urbanos. Ao transformá-las em regiões urbanas, a expansão das áreas metropolitanas e das infraestruturas físicas influencia significativamente a CV. A conversão uso/cobertura da terra (LULC) transforma as terras CV e impacta os ecossistemas ao reduzir os sumidouros de carbono, somando-se a Emissão de Carbono (EC) antropogênico. (Rahaman et al, 2022)

Atualmente, as áreas urbanas contribuem com menos de 3% da superfície terrestre global, mas respondem por 78% das emissões de carbono, 60% do uso residencial de água e 76% da madeira usada para fins industriais (Singh et al., 2010).

De acordo com Yu (2004), 80% do dióxido de carbono responsável pelo aquecimento é provocado pela ação humana. Dessa forma, a Mudança no Uso da Terra e Florestas foi apontado como responsável por maior quantidade de emissões de CO₂ (75%), no setor de Energia as emissões de CO₂ em 1994, tiveram como resultado 23%, tendo aumentado 16% em relação às emissões de 1990. O subsetor de transportes foi responsável por 40% das emissões de dióxido de carbono do setor energia em 1994 e 9% do total de emissões de CO₂ (PNMC, 2008). Além disso, o uso de Práticas de Manejo Conservacionistas (PMC) tem um grande potencial em aumentar o sequestro de carbono no solo e minimizar os gases de efeito estufa para a atmosfera. (Silva, Machado, 2000).

Além de absorver carbono, a vegetação também exerce um papel fundamental para a manutenção da qualidade ambiental nas cidades. Segundo Martinez (2006)

“As áreas verdes urbanas são espaços físicos com prevalência de vegetação arbórea de grande importância no aumento da qualidade de vida da população.” Por sua vez as áreas verdes proporcionam benefícios, tanto para a qualidade de vida das pessoas quanto para o meio ambiente, entre eles pode-se destacar a redução dos efeitos da poluição em consequência do processo de oxigenação, a presença das áreas verdes nos centros urbanos estão cada vez mais reduzidas, principalmente pela falta de medidas de conservação destas áreas. (Silva, 2016)

Um dos impactos ambientais urbanos que pode ser considerado no processo de conversão de uso e ocupação é a mudança no campo térmico por meio da substituição de coberturas superficiais naturais e apropriação destes espaços para atividades antrópicas. Substituição essa que implica em elevação de temperatura, causando desde simples desconforto térmico até fenômenos mais robustos como os registrados em grandes cidades, chamados de ilha de calor (Ferreira, 2019)

Arrau e Peña (2010) descrevem o fenômeno de ilhas de calor como a presença de qualquer área mais quente do que a paisagem ao seu redor, as quais podem se desenvolver tanto em áreas urbanas quanto rurais, embora haja um conhecimento relativamente menor quanto ao comportamento das ilhas de calor que ocorrem em áreas fora do eixo urbano, tendo em vista seu menor potencial de risco ao ser humano ou ao meio ambiente.

Santos (1994) considera a cidade como um meio ambiente construído, sendo a representação da diversidade das classes, das diferenças de renda e dos modelos culturais. Nesse sentido, pode-se pensar que a mudança no campo térmico urbano é resultante deste caráter segregado e fragmentado da população entre bairros de diferentes classes e rendas, que possuem suas particularidades quanto ao planejamento, arborização e o acesso a áreas de maior extensão, que promovem menor intervenção no meio físico natural.

De fato, o comportamento térmico reflete o uso e ocupação e, no caso das cidades, reflete também o crescimento da mancha urbana, que é responsável por significativas alterações na paisagem. Os materiais urbanos superficiais possuem padrões de refletividade que favorecem a absorção da radiação e, conseqüentemente, maior emissão de calor sensível, em busca de equilíbrio térmico. (Ferreira, 2019)

Vários são os estudos que se utilizam de processamento de imagens, na faixa do infravermelho termal, para estimar a temperatura da superfície terrestre e assim, compreender a relação das diferentes paisagens e coberturas urbanas com a radiação. Segundo Weng (2009), a maioria destes estudos efetua uma avaliação de ilhas de calor urbano, bem como a relação entre índices de vegetação e temperatura de superfície terrestre.

A temperatura da superfície terrestre é um importante parâmetro para os estudos termais do ambiente urbano e suas dinâmicas (WENG, 2009). As trocas e o balanço de energia superficial são funções da interação da radiação com a cobertura da terra, as quais podem desdobrar apontamentos em relação ao clima urbano, ao nível de planejamento e à qualidade de vida da população. (Ferreira, 2019)

Diversos autores em suas pesquisas têm utilizado da funcionalidade do uso de imagens de satélites para obtenção e discussão dos dados de temperatura de superfície gerados por sensores remotos, como Santos e Ribeiro (2012), Souza e Júnior (2012), Leite e Brito (2012), Correa e Coelho (2013), dentre outros. Sendo que, os LSTs (Land Surface Temperature) podem ser essenciais em estudos de planejamento urbano, planos agrícolas, obras de engenharia hidráulica e projetos de caráter ambiental.

A temperatura máxima em algumas áreas, ocorre pela alteração sofrida, como a extração da cobertura vegetal, substituição da vegetação secundária por áreas pavimentadas, o avanço do processo de construções civis, crescimento urbano e o elevado índice demográfico formando ilhas de calor urbanas, proveniente dos novos alvos da superfície terrestre, ocorrendo o aumentando da temperatura superficial na região, por isso torna-se necessário entender a variável temperatura superficial e a sua relação com o desflorestamento e o uso da terra (Ferreira, 2019)

3. Serviços Ecológicos Oferecidos Por Áreas Vegetadas Em Ambiente Urbano (Sequestro De Carbono)

A quantificação do armazenamento de carbono terrestre em paisagens urbanas é uma área de pesquisa contemporânea (Lindén et al. 2020, Ma et al. 2021, Sonti et al. 2022) que tem importância local, nacional e global. Localmente, a vegetação e a cobertura arbórea reduzem as temperaturas urbanas (Thorn et al. 2016), aumentam

a biodiversidade (Beninde et al. 2015), melhoram a qualidade do ar (Jayasooriya et al. 2017) e, entre outros benefícios, melhoram bem-estar humano (por exemplo, Ulmer et al. 2016). (Robinson et al., 2023)

Devido ao fato de que as mudanças no uso da terra sozinhas podem ser responsáveis por cerca de 10% das emissões de carbono influenciadas pelo homem (Le Quere et al., 2016; Harper et al., 2018), uma ênfase foi colocada em sistemas de uso da terra que contribuir para um nível mais alto de reservatórios de carbono orgânico acima do solo e do solo. A presença de espaços verdes consideráveis dentro e ao redor dos ambientes urbanos pode contribuir para os serviços ecossistêmicos e afetar a sustentabilidade do ecossistema urbano, bem como a habitabilidade dos habitantes urbanos. (Livesley et al., 2016; Turner-Skoff e Cavender, 2019; Panagopoulos et al., 2016). As florestas urbanas e periurbanas podem desempenhar um papel fundamental na mitigação desses impactos, regulando o dióxido de carbono atmosférico nesses ambientes (Anjali et al., 2021; Liu e Li, 2012).

As iniciativas de esverdeamento urbano são imperativas para uma gestão melhor e sustentável dos recursos terrestres, considerando o fato de que as cidades abrigarão 68% da população mundial até 2050 (Relatório das Cidades Mundiais da ONU, 2020). (Behera et al, 2022)

As áreas verdes são um componente fundamental de qualquer ecossistema urbano, fornecendo vários serviços, incluindo mitigação do acúmulo de calor, melhoria da qualidade do ar, conservação de recursos naturais e benefícios espirituais, recreativos e culturais (Bolund e Hunhammar, 1999; Boyd e Banzhaf, 2007; Szumacher, 2011; Elmqvist et al., 2015). Nos últimos anos, um corpo significativo de literatura se concentrou no papel que as áreas verdes urbanas podem desempenhar na redução da poluição e no sequestro de gases de efeito estufa (McPherson et al., 1998; Nowak e Crane, 2002; Yang et al., 2005; Nowak et al., 2006, 2012; Jim e Chen, 2009; Paoletti, 2009; Zhao et al., 2010), destacando que estes serviços têm potencial para cumprir os objetivos da União Europeia tanto para a melhoria da qualidade do ar como para a mitigação das alterações climáticas. Esta última meta concentra-se principalmente na redução das emissões de CO₂ das cidades, graças à capacidade das áreas verdes urbanas de sequestrar o carbono atmosférico (C) e armazená-lo no solo e na biomassa lenhosa acima do solo (Brilli, et al., 2019)

As árvores verdes urbanas desempenham um papel indispensável na manutenção do equilíbrio ecológico das cidades e na redução dos problemas ecológicos urbanos (Hou et al., 2022). No entanto, os estoques de carbono das árvores urbanas são geralmente subestimados nos estudos existentes, e a capacidade das árvores urbanas de reduzir as concentrações atmosféricas de CO₂ e mitigar o aquecimento global está longe de ser conhecida (Mngadi et al. 2021; Ren et al. 2019; Sol et al. 2019). Portanto, estimar com precisão os estoques de carbono das árvores urbanas é crucial para os gestores das cidades desenvolverem estratégias de mitigação das mudanças climáticas. (Qin et al., 2022).

A vegetação urbana e os espaços verdes fornecem vários serviços ecossistêmicos urbanos, como mitigação e adaptação a um clima em mudança (Go'mez-Baggethun et al., 2013). Consequentemente, a mitigação da mudança climática está entre os principais serviços ecossistêmicos fornecidos pelas UGSs (Nowak e Crane, 2002). Nesse sentido, a vegetação urbana captura e armazena carbono ao transformar o CO₂ em biomassa por meio da fotossíntese (Gharibi e Shayesteh, 2021; Go'mez-Baggethun et al., 2013; Velasco et al., 2013) (Muluneh e Worku, 2022)

Uma vez que o CO₂ atmosférico tem sido associado ao aquecimento global do clima (Ekwurzel et al., 2017), é importante estudar a eficácia com que a vegetação pode armazenar carbono. Estimativas confiáveis do estoque de carbono são vitais para avaliar a variação do balanço de carbono causada pela mudança na cobertura da terra (Hutyra et al., 2011) e importantes para contabilizar e comercializar o carbono para atingir a redução de emissão de carbono projetada (Nações Unidas, 2015). Naturalmente, o estoque de carbono da vegetação urbana tem sido intensamente estudado. (Wang e Gao., 2020)

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2014), a população urbana em 1950 era cerca de 746 milhões de habitantes, o que representava 30% da população total mundial. Em 2014, esse número saltou para 3,9 bilhões de habitantes, atingindo 54%. No Brasil, 185,35 milhões de pessoas vivem em áreas urbanas, correspondendo a mais de 88% da população do país (ONU, 2016). (Ruschel, 2020)

Considerando o contexto urbano, a proteção de áreas está associada aos parques urbanos, que se difundiram no século XIX, associados ao paisagismo e ao

urbanismo com ênfase no lazer e na contemplação. No outro extremo, estão grandes extensões de áreas naturais, em geral em áreas rurais ou com comunidades tradicionais, com o objetivo de preservar a diversidade biológica e cultural e resguardar áreas sensíveis ao uso e ocupação.

A dicotomia entre sistemas urbanos e sistemas naturais não é adequada aos desafios de uma sociedade cada vez mais urbanizada, do ponto de vista demográfico e socioeconômico, e com crescentes demandas de consumo e, por outro lado, menos resiliente às mudanças nos sistemas de suporte e regulação ecossistêmicos. Emblemática é a questão da água, alternando situações de escassez e de inundações, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo (NOBRE et al., 2006). É possível identificar essa mudança de paradigma, por exemplo, com a inserção de itens anteriormente externos às cidades, como da produção de alimentos em hortas urbanas, a produção de energia, por meio de sistemas solares, e na captação de água pluvial, entre outros, assim como a preocupação com a biodiversidade, o que não torna incomum conflitos envolvendo espécies e usos humanos (SAVARD et al., 2000).

Para Costa et al. (2013), a biodiversidade urbana é um tema urgente, para a discussão, elaboração e implementação de políticas em prol de uma melhor qualidade ambiental e de vida. “Nas metrópoles brasileiras, a situação se agrava em função do adensamento e verticalização das construções, como também da expansão horizontal da malha urbana sem considerar elementos pré-existent” (COSTA et al., 2013) e o acesso à terra urbana, para fins urbanos e de preservação, é dificultado por seu alto custo e seu caráter privado, dificultando a desapropriação e aquisição de áreas (MOMM-SCHULT et al., 2013). Frischenbruder e Pellegrino (2006), em um estudo sobre corredores verdes ou espaços lineares verdes (“greenways”) com funções urbanas e ecossistêmicas, consideram ainda incipiente a existência desses espaços nas cidades brasileiras, mas que vem crescendo na última década e o impacto desses espaços no desenvolvimento urbano ainda não é conhecido. No entanto, áreas verdes sem uma devida gestão e manutenção podem gerar insegurança e conflitos, especialmente quando próximas de moradia e serviços urbanos. (Momm-Schult, 2014)

Como muitas áreas urbanas são ecologicamente sensíveis, o domínio de áreas urbanas com alta população humana terá um efeito adverso sobre UGSs (espaços verdes urbanos), saúde urbana, clima urbano, ambiente urbano e planejamento urbano (Schell e Ulijaszek, 1999). Além disso, o aumento da urbanização terá consequências socioeconômicas e de bem-estar dos residentes urbanos (Kroeger, 2011). Consequentemente, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (UNSDGs) para cidades (No. 11) ordenam que cidades e locais de assentamento humano sejam inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (Gelan e Girma, 2021; Singh, 2006). Além disso, afirma a provisão de acesso universal a espaços verdes, preservando as redes ambientais e reduzindo o impacto ambiental das cidades (Gelan e Girma, 2021). (M.G. Muluneh and B.B. Worku, 2022)

À medida que os atores globais e locais procuram abordar as preocupações climáticas, municípios, regiões e países estão atualmente desenvolvendo políticas para o ambiente construído para alcançar a neutralidade de carbono até 2050 ou até 2030 (Comissão Europeia, 2019; Myrick, 2020; OneNYC, 2020). (F. Heisel et al., 2022)

4. A Importância Das Geotecnologias Na Aferição De Carbono Sequestrado

O sensoriamento remoto é uma técnica eficaz para estimar os estoques de carbono florestal em grandes áreas. Imagens passivas de sensoriamento remoto (por exemplo, Quickbird, Landsat e Sentinel) têm sido comumente usadas para estimar o armazenamento de carbono da vegetação urbana (Li et al. 2020a; Mngadi et al. 2021; Ren et al. 2019; Schreyer et al. 2014; Shen et al. 2020; Sun et al. 2019; Timilsina et al. 2014). (Qin et al., 2022)

A estimativa precisa da biomassa e do estoque de carbono dos cinturões verdes urbanos é essencial para gerenciar o espaço verde urbano para compensar o carbono urbano (Tang et al., 2016). Estimativas imprecisas resultaram do uso de equações alométricas de DAP (diâmetro na altura do peito) - altura desenvolvidas a partir de florestas não urbanas que podem não ser adequadas para árvores urbanas (Pradhan et al., 2022)

O sensoriamento remoto comparado com dados de solo e modelagem é uma ferramenta útil para conseguir isso (Liu e Li, 2012). Apesar de todas essas

dificuldades, o acúmulo de biomassa e o estoque de carbono nos locais estudados estavam dentro do esperado. (Tang et al., 2016; Oviantari et al., 2018).

O efeito do espaço verde urbano nas emissões de carbono deve ser considerado ao estimar seu armazenamento de biomassa e sequestro de carbono para avaliar o papel das florestas urbanas nas mudanças climáticas (Nowak et al., 2013) como até hoje o espaço verde urbano como um sumidouro potencial de dióxido de carbono ainda não foi comprovado através de evidências científicas (Velasco et al., 2013a). Mais estudos sobre os efeitos cumulativos de árvores, solos e seu manejo em áreas urbanas são necessários (Pradhan et al., 2022)

Monitoramento regular, inventariação e contabilidade de áreas urbanas e outras áreas não florestais darão uma melhor compreensão para a quantificação precisa da biomassa da vegetação e do estoque de carbono dessas áreas, o que será útil para desenvolver opções de gestão sustentável e políticas regionais ou nacionais favoráveis ao meio ambiente e aos cidadãos aos cidadãos (Yuen e Hien, 2005; Nowak et al., 2013). Promover o florestamento ou reflorestamento e preservar ou desenvolver mais espaços verdes urbanos como uma mitigação da mudança climática sem integrar o componente biogênico compromete as metas de mitigação da mudança climática (Pradhan et al., 2022)

As técnicas de sensoriamento remoto empregadas para estimar a biomassa e o carbono de florestas (nativas e exóticas e sistemas agroflorestais), são semelhantes às empregadas para culturas agrícolas. A principal diferença está na obtenção dos parâmetros biofísicos da vegetação, que na maioria dos casos é por quantificação indireta, ou seja, com base em processos não destrutivos e equações alométricas. (Tôsto, 2014)

Outra técnica em evolução, usada para essas estimativas é o *Light Detection and Ranging* (LiDAR), sistema de varredura com um sensor aerotransportado, que obtém informações precisas sobre a altura e a densidade das árvores as quais podem ser associadas a variáveis florestais (Tôsto, 2014).

Cada tipo de molécula atmosférica absorve energia em determinadas regiões do espectro eletromagnético. Os principais gases responsáveis pela absorção da REM pela atmosfera são o vapor d'água, o ozônio, o dióxido de carbono e o metano.

A absorção de REM pelos constituintes atmosféricos restringe a aquisição de informações por sensoriamento remoto a algumas porções do espectro, uma vez que há regiões nas quais a energia é totalmente absorvida. A REM com comprimento de onda menor que 0,3 μm (regiões dos raios-X e raios-g) é toda absorvida pela camada de ozônio da atmosfera superior. A região do ultravioleta também é bastante afetada pela absorção atmosférica. A energia nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho é razoavelmente bem transmitida pela atmosfera, mas apresenta alguns intervalos com forte absorção que interferem na qualidade e na quantidade de energia solar disponível para o sensoriamento remoto dos recursos terrestres. Essas regiões são chamadas de “bandas de absorção da atmosfera” (Tôsto, 2014).

A utilização de sistemas de sensoriamento remoto óptico para avaliar as características e condições da floresta tem uma longa história e é hoje uma prática consolidada (McRoberts et al., 2010). As imagens ópticas podem ser analisadas por fotointerpretação visual convencional ou processadas por técnicas automáticas e semiautomáticas. Dessa forma, várias características da floresta, como tipo de árvore, densidade e condição de saúde, podem ser avaliadas com diferentes graus de precisão (White et al., 2016). Os sistemas ópticos também podem fornecer informações sobre biomassa lenhosa florestal e volume de estoque crescente (GSV), que podem estar indiretamente relacionados ao armazenamento de carbono (Maselli et al., 2014; Köhl et al., 2015). Essa operação, no entanto, é geralmente complicada pelas relações diversificadas e não lineares que ligam esses atributos da floresta à refletância do dossel (Maselli e Chiesi, 2006; McRoberts e Tomppo, 2007). (Brilli, et al., 2019)

5. Plano Diretor E Macrozoneamento

O processo recente de industrialização pelo qual o Brasil passou esteve diretamente relacionado com a expansão urbana. No entanto, o planejamento urbano brasileiro não teve nenhum comprometimento com a principal realidade da cidade e com as necessidades daqueles que nela habitam; o comprometimento foi de uma ordem que diz respeito a uma parte da cidade e que reproduz as desigualdades e os privilégios (Maricato, 2000). É justamente em consequência dessa expansão urbana desordenada, reflexo de uma segregação espacial e que vai ao encontro da dominação econômica, política e ideológica, o que faz com que muitos direitos e

insumos básicos, como os serviços de moradia, transporte, água, luz, saúde, escola sejam constantemente negligenciadas.

O Plano Diretor Municipal é uma lei que orienta o crescimento e o desenvolvimento urbano de uma cidade, buscando melhorar a qualidade de vida da população e tornar as cidades mais inclusivas, justas e ambientalmente equilibradas. No contexto do carbono, o Plano Diretor pode direcionar ações para a redução das emissões de gases de efeito estufa, promover a eficiência energética, incentivar o uso de energias renováveis e implementar medidas de sequestro de carbono.

Nesse contexto, a importância prática do Plano Diretor para os municípios é vasta. Ele pode contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, ajudar a cidade a se adaptar, melhorar a qualidade de vida dos habitantes e contribuir para o desenvolvimento sustentável do município. Além disso, a elaboração do Plano Diretor é um processo participativo, o que significa que os cidadãos têm a oportunidade de influenciar as políticas de gestão do carbono em sua cidade.

Já o Macrozoneamento Municipal é uma ferramenta de planejamento que divide o território de um município em grandes áreas, ou macrozonas, cada uma com suas próprias diretrizes de uso e ocupação do solo. A exemplo do Plano Diretor no contexto do carbono, o Macrozoneamento pode ter um papel importante na gestão das emissões de gases de efeito estufa e na promoção de práticas sustentáveis. Ele pode orientar o desenvolvimento urbano e rural de maneira a reduzir as emissões, seja através da promoção de práticas de construção sustentáveis, da preservação de áreas verdes que sequestram carbono, ou da promoção de modos de transporte de baixo carbono.

Além disso, o Macrozoneamento pode incluir estratégias para ajudar o município a se adaptar às mudanças climáticas, como a identificação de áreas de risco de inundações ou secas e a implementação de medidas de resiliência. Ele também pode contribuir para o desenvolvimento sustentável do município, ao promover o uso eficiente dos recursos naturais e minimizar o impacto ambiental das atividades humanas.

Portanto, tanto o Plano Diretor Municipal quanto o Macrozoneamento Municipal são ferramentas essenciais para a gestão do carbono nos municípios. Ambos têm

implicações práticas significativas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável. Além disso, a gestão do carbono está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Nova Agenda Urbana (NAU) e o pacto climático do Acordo de Paris.

6. Trabalhos Que Acompanham A Temática De Arborização Urbana E Sequestro De Carbono No Cenário Da Geotecnologia

Artigo/livro	Ano	Revista	Referência
As idéias fora do lugar e o lugar fora das idéias: planejamento urbano no Brasil	2000	Vozes	MARICATO, Ermínia et al. As idéias fora do lugar e o lugar fora das idéias: planejamento urbano no Brasil . A cidade do pensamento único: desmanchando consensos. Petrópolis: Vozes, p. 121-192, 2000.
Arborização urbana	2002	UNESP/FCAV/FUNEP	PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. Arborização urbana . Jaboticabal: UNESP/FCAV/FUNEP, (Boletim Acadêmico. Série Arborização Urbana), 2002.
Recuperação florestal com espécies nativas no estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias	2003	Florestar Estatístico	BARBOSA, L. M.; BARBOSA, J. M.; BARBOSA, K. C. et al. Recuperação florestal com espécies nativas no estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias . Florestar Estatístico. V. 6, n. 14, p. 28-34, 2003.
Árvores para o ambiente urbano. Viçosa	2004	Aprenda Fácil	GONÇALVES, W.; PAIVA, H.N., Árvores para o ambiente urbano. Viçosa : Aprenda Fácil. 243 p. (Coleção Jardinagem e Paisagismo. Série Arborização Urbana, 3). 2004.
Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação	2004	ESALQ/USP	ALVAREZ I.A. Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação . Tese de Doutorado, ESALQ/USP, 2004.

Plantas da caatinga ameaçadas de extinção: estudos preliminares e manejo: relatório final. Petrolina	2008	Embrapa Semi-Árido: FNMA: UNEB: CODEVASF	KIILL, L. H. P. (Coord.) Plantas da caatinga ameaçadas de extinção: estudos preliminares e manejo: relatório final. Petrolina: Embrapa Semi-Árido: FNMA: UNEB: CODEVASF. 302 p. 2008.
Espaços livres de construções. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana	2008	Revista Árvore	TOLEDO, F. dos S.; SANTOS, D. G. dos. Espaços livres de construções. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana – REVSBAU v.3, n.1, mar. 2008, p. 73-91. Piracicaba-SP, 2008. Revista Árvore, v.30, n.4, p.679-686. Viçosa-MG, 2006.
Diversidade arbórea as escolas da área urbana de São Vicente do Sul/RS	2009	Biodiversidade Pampeana	RODRIGUES, L. S.; COPATTI, C. E. Diversidade arbórea as escolas da área urbana de São Vicente do Sul/RS. Biodiversidade Pampeana, v. 7, n. 1, p. 7-12, 2009.
Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia.	2009	Congresso de Inovação Tecnologia em Energia Elétrica / 5º Seminário de Eficiência Energética no Setor Elétrico.	BRAND, M. A.; OLIVEIRA, L. C. de; MARTINS, S. A. et al. Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 5.; SEMINÁRIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO, 1., 2009, Belém. [Anais...] Lages: Solumad, 2009. Disponível em < http://www.solumad.com.br/artigos/201011171821311.pdf >. Acesso em: 21 mai. 2023.
Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas. Câmara dos Deputados	2011	Edições Câmara DF	GANEM, R. S. (Org.). Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas. Câmara dos Deputados, Edições Câmara. Série memória e análise de leis, n. 2, 437 p. Brasília-DF, 2011.

Arborização urbana no semiárido: espécies potenciais da Caatinga. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	2012	Embrapa Florestas	ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA U. R.; MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; CANETTI, A. Arborização urbana no semiárido: espécies potenciais da Caatinga . Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Florestas. Colombo-PR, 2012. Disponível em: < http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75650/1/Doc.-243arborizacao-urbana.pdf >. Acesso em: 08 mai.2023.
O Planejamento Regional e Urbano e a Questão Ambiental: Análise da Relação entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara e São Carlos	2012	UFSCar	Peres, Renata Bovo. O Planejamento Regional e Urbano e a Questão Ambiental: Análise da Relação entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara e São Carlos , SP, Brasil. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2012.
A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana	2013	R. gest. sust. ambient	GENGO, R. DE C.; HENKES, J. A. A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana . R. gest. sust. ambient., v. 1, n. 2, p. 55 – 81. Florianópolis, 2013.
Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa	2013	FACE/UFMG	Magalhães, Aline Souza. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa , Minas Gerais. FACE/UFMG, 2013.
Equações Alométricas para Estimativa de Carbono em Árvores de uma Área Urbana em Viçosa – MG	2013	Revista Árvore	Brianezi, Daniel, et al. Equações Alométricas para Estimativa de Carbono em Árvores de uma Área Urbana em Viçosa – MG , Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1073-1081, 2013

Estoque de Carbono no Solo de Mata Ciliar em Zonas Urbanas	2014	V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental	Medeiros, Johnatan Palmer da Silva. Estoque de Carbono no Solo de Mata Ciliar em Zonas Urbanas . V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG, 2014.
World Urbanization Prospects: Highli- ghts. New York:	2014	Department of Economic and Social Affairs	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. World Urbanization Prospects: Highli- ghts. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2014.
Uso urbano e serviços ecossistêmicos em áreas protegidas: o caso do Parque Guaraciaba em Santo André	2014	APP Urbana	Momm-Schult, Sandra Irene, et al. Uso urbano e serviços ecossistêmicos em áreas protegidas: o caso do Parque Guaraciaba em Santo André (SP) , Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo - APP URBANA 2014, Belém – PA, 2014
Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde	2014	EMBRAPA	Tôsto, Sérgio Gomes, et al. Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde , EMBRAPA, Brasília DF, 2014.
Recife Sustentável e de Baixo Carbono Plano de Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)	2016	Urban LEDS	Prefeitura da Cidade de Recife. Recife Sustentável e de Baixo Carbono Plano de Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) , Urban LEDS, Recife, 2016.
Estimativa de Sequestro de Carbono em Área Urbana: Av. Gov. Paes de Carvalho, Conceição do Araguaia – PA	2016	VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental	Silva, Sammy Daves dos Santos, et al. Estimativa de Sequestro de Carbono em Área Urbana: Av. Gov. Paes de Carvalho, Conceição do Araguaia – PA , VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB, 2016
Urban Data	2016	data-coun	_____. Urban Data , 2016. Disponível em: <

			http://urbandata.unhabitat.org/data-country/?countries=BR&indicators=length_road,rural_population,urban_population_countries,urban_slum_population_countries,population . Acessado em: 23 abr. 2023.
Impactos negativos provenientes do Urban Sprawn sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame, no município de João Pessoa	2017	UFPB/CT	Sousa, Cyntia Alves Félix de. Impactos negativos provenientes do Urban Sprawn sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame, no município de João Pessoa , PB, Brasil, UFPB/CT, 2017
Sequestro de Carbono em Trechos da Floresta Urbana de Belo Horizonte: Por um Sistema de Espaços Livres mais Eficiente no Provimento de Serviços Ecosistêmicos Urbanos	2017	Paisag. Ambiente: Ensaios	Amaral, Rubens, et al. Sequestro de Carbono em Trechos da Floresta Urbana de Belo Horizonte: Por um Sistema de Espaços Livres mais Eficiente no Provimento de Serviços Ecosistêmicos Urbanos , PAISAG. AMBIENTE: ENSAIOS - N. 39 - São Paulo - P. 163 - 179 – 2017
Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da Sociedade diante dos impactos socioambientais	2018	Editora Fi	PAULO, Rodolfo Fares. Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da Sociedade diante dos impactos socioambientais , Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2018.
Impactos Ambientais da Urbanização: Esforços de Pesquisa Brasileira e Mapeamento e Percepção de Moradores na Cidade e Santarém	2019	SIBI/UFOPA	Moura, Verena Cibele Soares. Impactos Ambientais da Urbanização: Esforços de Pesquisa Brasileira e Mapeamento e Percepção de Moradores na Cidade e Santarém , Pará, Santarém, SIBI/UFOPA, 2019
Balanço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém	2019	Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana	Assumpção, M. P., Tavares, P. A., & Coutinho, E. C. (2019). Balanço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém, Brasil . urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 11,

			e20180186. https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180186
Estoques de Carbono e Dióxido de Carbono Equivalente em Árvores de Rua de Cidades Brasileiras	2019	REVSBAU	Reis, Allan Rodrigo Nunho dos, et al. Estoques de Carbono e Dióxido de Carbono Equivalente em Árvores de Rua de Cidades Brasileiras . REVSBAU, Curitiba – PR, v.14, n.4, p. 26-35, 2019.
Variação Sazonal e Espacial do Sequestro de Carbono e da Temperatura da Superfície Terrestre da Região de Integração do Rio Caeté, no estado do Pará, por Sensoriamento Remoto	2019	Universidade Federal Rural da Amazônia	Ferreira, Rosimére Araújo, Variação Sazonal e Espacial do Sequestro de Carbono e da Temperatura da Superfície Terrestre da Região de Integração do Rio Caeté, no estado do Pará, por Sensoriamento Remoto , Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019
Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica	2019	ENC/FT/UnB, Geotecnia	Silva Junior, Eleudo Esteves de Araújo. Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica xxvi, 272 p., 297 mm. ENC/FT/UnB, Geotecnia, 2019.
As Geotecnologias no Ensino de Geografia: O uso do Google Earth no Processos de Ensino Aprendizagem sobre a Cidade	2019	UFG	Nunes, Keila Alves de Campos. As Geotecnologias no Ensino de Geografia: O uso do Google Earth no Processos de Ensino Aprendizagem sobre a Cidade , UFG, 2019
Combination of ground and remote sensing data to assess carbon stock changes in the main urban park of Florence	2019	Urban Forestry & Urban Greening	L. Brilli, et al. Combination of ground and remote sensing data to assess carbon stock changes in the main urban park of Florence . Urban Forestry & Urban Greening 43 (2019) 126377
A cidade e os problemas socioambientais urbanos:	2020	Ed. UFPR	Mendonça, Francisco; et al. A cidade e os problemas

uma perspectiva interdisciplinar			socioambientais urbanos: uma perspectiva interdisciplinar – Dados eletrônicos. – Curitiba: Ed. UFPR, 2020.
Serviços Ecossistêmicos Urbanos: Fixação de Carbono nas Áreas de Preservação Permanente de Campinas-SP	2020	Revista Ambiente & Sociedade	Ruschel, Rodrigo Semeria, Demanboro, Antônio Carlos, Serviços Ecossistêmicos Urbanos: Fixação de Carbono nas Áreas de Preservação Permanente de Campinas-SP , Revista Ambiente & Sociedade, São Paulo. Vol. 23, 2020
Estimation of carbon stock in urban parks: Biophysical parameters, thresholds, reliability, and sampling load by plant type.	2020	Urban Forestry & Urban Greening	V. Wang and J. Gao. Estimation of carbon stock in urban parks: Biophysical parameters, thresholds, reliability, and sampling load by plant type. Urban Forestry & Urban Greening 55 (2020) 126852
Estoque de carbono e diagnóstico físico e químico do solo de praças urbanas no município de Tatuí-SP.	2022	Revista Brasileira de Meio Ambiente	Carvalho, N. M., Quartucci, F., Maria, I. (2022). Estoque de carbono e diagnóstico físico e químico do solo de praças urbanas no município de Tatuí-SP. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.10, n.3, p.168-186.
Assessment of carbon sequestration potential of tropical tree species for urban forestry in India	2022	Ecological Engineering	S.K. Behera, et al. Assessment of carbon sequestration potential of tropical tree species for urban forestry in India , Ecological Engineering 181 (2022) 106692
Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia	2022	Building and Environment	Z.A. Rahaman et al. Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. Building and Environment 222 (2022) 109335
Biomass carbon and soil nutrient status in urban green sites at foothills of eastern Himalayas: Implication for	2022	Current Research in Environmental Sustainability	R. Pradhan et al. Biomass carbon and soil nutrient status in urban green sites at foothills of eastern Himalayas: Implication for carbon

carbon management.			management. Current Research in Environmental Sustainability (2022) 100168
Contributions of urban green spaces for climate change mitigation and biodiversity conservation in Dessie city, Northeastern Ethiopia	2022	Urban Climate	M.G. Muluneh and B.B. Worku. Contributions of urban green spaces for climate change mitigation and biodiversity conservation in Dessie city, Northeastern Ethiopia. Urban Climate 46 (2022) 101294
Effect of the elevated ozone on greening tree species of urban: Alterations in C-N-P stoichiometry and nutrient stock allocation to leaves and fine roots	2022	Urban Forestry & Urban Greening	X. Hou et al. Effect of the elevated ozone on greening tree species of urban: Alterations in C-N-P stoichiometry and nutrient stock allocation to leaves and fine roots. Urban Forestry & Urban Greening 76 (2022) 127735
Estimating aboveground carbon stocks of urban trees by synergizing ICESat-2 LiDAR with GF-2 data	2022	Urban Forestry & Urban Greening	H. Qin et al. Estimating aboveground carbon stocks of urban trees by synergizing ICESat-2 LiDAR with GF-2 data. Urban Forestry & Urban Greening 76 (2022) 127728
Exploring zonation strategy in land management of urban agglomeration.	2022	Ecological Indicators	H. Liu et al. Exploring zonation strategy in land management of urban agglomeration. Ecological Indicators 145 (2022) 109664
Future impacts of Urban and Peri-urban agriculture on carbon stock and land surface temperatures in India.	2022	Urban Climate	U.S. Sagar et al. Future impacts of Urban and Peri-urban agriculture on carbon stock and land surface temperatures in India. Urban Climate 45 (2022) 101267
High-resolution combined building stock and building energy modeling to evaluate whole-life carbon emissions and saving potentials at the Building and urban scale.	2022	Resources, Conservation & Recycling	F. Heisel et al. High-resolution combined building stock and building energy modeling to evaluate whole-life carbon emissions and saving potentials at the Building and urban scale. Resources, Conservation & Recycling 177 (2022) 106000

Can new-type urbanization reduce urban building carbon emissions New evidence from China	2023	Sustainable Cities and Society	Xiao, Yi, et al. Can new-type urbanization reduce urban building carbon emissions New evidence from China, Sustainable Cities and Society 90 (2023) 104410
Blue carbon science, management and policy across a tropical urban landscape	2023	Landscape and Urban Planning	D.A. Friess et al. Blue carbon science, management and policy across a tropical urban landscape . Landscape and Urban Planning 230 (2023) 104610
Electrification transition and carbon emission reduction of urban passenger Transportation systems—A case study of Shenzhen, China	2023	Sustainable Cities and Society	Xiaoran Hou, Tao Lv , Jie Xu , Xu Deng , Feng Liu , Electrification transition and carbon emission reduction of urban passenger Transportation systems—A case study of Shenzhen, China , Sustainable Cities and Society (2023), doi: https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104511
Estimating Settlement carbon stock and density using an inventory approach and quantifying their variation by land use and parcel size.	2023	Urban Forestry & Urban Greening	D.T. Robinson et al. Estimating Settlement carbon stock and density using an inventory approach and quantifying their variation by land use and parcel size . Urban Forestry & Urban Greening 82 (2023) 127878
4023_anexo_iii__plano_diretor_2023_-_tabelas_-_macrozoneamento_urbano.pdf	2023	Prefeitura de São Luís	PREFEITURA DE SÃO LUÍS - saoluis.ma.gov.br.<https://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/4023_anexo_iii__plano_diretor_2023_-_tabelas_-_macrozoneamento_urbano.pdf.> Acessado em: 23 maio. 2023.
Revisão e atualização da legislação ... - São Luís, Maranhão.	2023	Prefeitura de São Luís	Revisão e atualização da legislação ... - São Luís, Maranhão. <https://saoluis.ma.gov.br/projeto/20/revisao-e-atualizacao-da-legislacao-urbanistica/.> Acessado em: 23 maio. 2023.

Novo Plano Diretor de São Luís	2023	INCID	Novo Plano Diretor de São Luís Instituto da Cidade , Pesquisa e < https://www.saoluís.ma.gov.br/incid/conteudo/4023 > Acessado em: 23 maio. 2023.
--------------------------------	------	-------	--

III. CAPÍTULO I: LEITURA TEMPORAL DE DADOS RELATIVOS A EMISSÕES DE CARBONO E DESMATAMENTO DA ILHA DO MARANHÃO NO PERÍODO DE 1986 À 2021.

Resumo

As áreas com maior emissão de carbono sequestrado estão inseridas em um cenário relacionado à grandes adensamentos de áreas verdes, assim foi realizada a avaliação temporal das áreas verdes municipais não florestais (Excluindo-se UCs e APPs) e obteve-se os seguintes resultados de perda de área verde entre os anos de 1986 e 2021. Há um destaque bastante considerável nas taxas de desmatamento e emissão de carbono referentes à cidade de São Luís em comparação aos demais municípios durante toda a série temporal, alcançando seu pico em 1987 com uma taxa de 14,60 km² em áreas florestais e 7,56 km². Observa-se também outros picos significativos em áreas florestais nos anos de 1989 com 14,05km²; 1992 com 11,22 km² e 1994 com 8,22 km² em São Luís. Já em São José de Ribamar observa-se picos menores que São Luís, como 1988 com 6,11 km², 1989 com 6,24 km² e 1992 com 7.06 km², porém um comportamento bastante semelhante em perda de áreas florestais até o ano de 2003. Outra informação que se destaca é uma semelhança de padrão na perda de cobertura vegetal florestal entre os municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar entre os anos de 1991 e 1995. No que tange às áreas não florestais, a cidade de São Luís se destaca dos demais municípios apresentando um comportamento de pequenos picos de perda vegetal durante alguns períodos como 1988, 1993, 1997, 1998, 2000 e 2011.

Palavras-Chave: Carbono, GEE, Arborização, Mudanças Climáticas

Abstract

The areas with the highest emission of sequestered carbon are inserted in a scenario related to large densification of green areas, thus the temporal assessment of non-

forest municipal green areas was carried out (Excluding UCs and APPs) and the following loss results were obtained of green area between the years 1986 and 2021. There is a very considerable highlight in the deforestation and carbon emission rates for the city of São Luís compared to the other municipalities throughout the time series, reaching its peak in 1987 with a rate of 14.60 km² in forest areas and 7.56 km². Other significant peaks were also observed in forest areas in 1989 with 14.05km²; 1992 with 11.22 km² and 1994 with 8.22 km² in São Luís. In São José de Ribamar, smaller peaks than São Luís can be observed, such as 1988 with 6.11 km², 1989 with 6.24 km² and 1992 with 7.06 km², but a very similar behavior in the loss of forest areas until 2003. Another piece of information that stands out is a similar pattern in the loss of forest vegetation cover between the municipalities of Paço do Lumiar and São José de Ribamar between the years of 1991 and 1995. Regarding non-forest areas, the city of São Luís stands out from other municipalities, showing small peaks of plant loss during some periods such as 1988, 1993, 1997, 1998, 2000 and 2011.

Keywords: Carbon, GHG, Afforestation, Climate Change

1. Introdução

Considerada a maior preocupação ambiental para as próximas décadas, o aquecimento global vem causando impactos no planeta que podem ter consequências irreversíveis no longo prazo. O aumento de gases de efeito estufa presentes na atmosfera torna a temperatura da Terra mais elevada, interferindo na dinâmica climática e nos mecanismos dos ecossistemas, que por sua vez afetará todos os seres que habitam no planeta, assim como os recursos naturais que todos nós dependemos.

Devido à preocupação com o aquecimento global, surgiram iniciativas, como o protocolo de Kyoto, em que os países desenvolvidos se comprometeram a diminuir suas emissões de gases estufa. Para tanto, foram criados três mecanismos com a intenção de ajudar os países desenvolvidos a alcançarem a meta de redução de emissões: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (MMA, 2014, não paginado). Já o Acordo de Paris é um tratado internacional que foi adotado em 2015, durante a 21^a Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC. O objetivo do acordo é limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e buscar

esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Devido à importância das árvores em sequestrar o carbono via fotossíntese, consumindo CO₂ e armazenando o carbono durante seu processo de crescimento e desenvolvimento, estas têm merecido destaque como potenciais redutores do carbono atmosférico, tanto ao nível da vegetação em restauração (Souza; Soares, 2013) quanto da arborização urbana (Nicodemo; Primavesi, 2009). Trabalhos visando à quantificação de CO₂ junto às árvores vêm sendo desenvolvidos em diversas abordagens. A determinação do carbono estocado em florestas em desenvolvimento após restauração na mata ciliar já foi analisada para o rio Paranapanema (Melo; Durigan, 2006; Fernandes et al., 2014), da mesma forma que essa atenção já foi dada para florestas urbanas em Canberra na Austrália (Brack, 2002) e, sobretudo, para municípios inteiros, como Chicago e Nova York, nos Estados Unidos (Mcpherson; Nowak; Rowntree, 1994; Nowak et al., 2007).

O Brasil é um dos países líderes mundiais no desmatamento de florestas tropicais. Estima-se que, no ano de 2019, o desmatamento consumiu 12 mil km² de vegetação nativa num ritmo devastador de 1,5 km² por hora, segundo o projeto de pesquisa da MapBiomas. A previsão para o futuro dos nossos biomas é ainda mais assustadora, levando em conta que a taxa de desmatamento atual é mais de 3 vezes superior à meta estabelecida para 2020 pelo Brasil, durante Convenção do Clima de 2009, na cidade de Copenhague (Prizibiski, 2020). Na Amazônia, o desmatamento foi responsável pelo desaparecimento de importantes espécies de árvores produtoras de madeiras nobres como o mogno, acapu e virola (Castro, 2005). Desmatamentos são realizados pela supressão da vegetação a partir do corte de árvores ou realizados através de queimadas, este método emite gases GEEs que contribuem diretamente para o aceleração do efeito estufa e das mudanças climáticas.

A arborização possui extrema importância nos centros urbanos, sendo responsável por inúmeros benefícios ambientais e sociais que auxiliam na qualidade de vida nas cidades e também na saúde física e mental da população. Grey (1978) afirma que os benefícios da floresta urbana podem ser divididos basicamente em quatro grupos: melhoria climática; usos em engenharia; usos arquitetônicos; usos estéticos. A melhoria climática costuma destacar-se perante os demais quanto à

atenção acadêmica recebida. Normalmente, pensa-se a arborização urbana unicamente como forma de aliviar os indesejáveis e deletérios efeitos das “ilhas de calor”, termo que designa variações de temperatura seguindo isothermas concêntricas, que sugerem o formato de “ilhas”, com pontos máximos de calor no centro, coincidindo com zonas mais densamente construídas, normalmente nos centros urbanos (Voogt, 2004). De fato, as árvores são capazes de interagir com a radiação solar, temperatura, movimentação e umidade do ar, gerando zonas de conforto térmico.

Atualmente, a ilha do Maranhão como todo, não possui um plano de arborização definido, consistindo apenas em ações aleatórias de plantio. O município de São Luís foi caracterizado por possuir um espaço urbano com predominância de áreas verdes compondo a paisagem de 90% das praças e 70% dos canteiros centrais dos principais corredores, rotatórias e vias secundárias (IMPUR, 2014). Porém, a arborização ainda é considerada por muitos moradores da cidade como insuficiente (Souza et al, dados não publicados).

O plano diretor que vigia no município de São Luís (Prefeitura de São Luís, 2023), em seus artigos 109 e 110, prevê a criação de critérios para a efetiva implantação das áreas verdes previstas em conjuntos habitacionais, loteamentos e condomínios, garantindo a arborização e a permeabilidade do solo, bem como a recarga de aquíferos, além da criação do sistema de áreas verdes do Município para garantir a preservação do potencial paisagístico e a qualificação dos espaços livres, considerando o diagnóstico do Plano Municipal da Paisagem Urbana com a implantação do Plano Municipal de Arborização Urbana a ser utilizado como instrumento para definir o planejamento, implantação e manejo da arborização, afim de manter e ampliar a arborização do Município, priorizando o uso de espécies nativas, através de programa de arborização e produção de mudas. Além desta legislação, as Leis Municipais nº 2.577/82 e nº 2.824/88 tombam árvores raras, históricas e centenárias do município.

Assim, com o objetivo de entender como se comportaram as taxas de desmatamento e emissões de carbono na Ilha do Maranhão no período de 1986 à 2021, trazendo discussões relativas ao efeito destas no crescimento urbano dos municípios que compõem a ilha, destacamos a importância de se entender tal

dinâmica como fator fundamental para o futuro da sobrevivência humana nos grandes centros urbanos.

2. Metodologia

2.1. Área De Estudo

Localizada no estado do Maranhão, é a maior ilha costeira do Brasil, abrangendo uma área territorial de 329.651,496 km². Com uma população residente de aproximadamente 6.776.699 pessoas, a ilha do Maranhão, possui uma densidade demográfica de cerca de 20,56 habitantes por km². A capital do estado São Luís, que é conhecida por sua rica história e cultura, influenciada por indígenas, africanos e europeus. Suas belas praias, manguezais e sítios históricos atraem visitantes de todo o mundo. As coordenadas geográficas da Ilha do Maranhão são aproximadamente 2,5294° S de latitude e 44,3021° O de longitude (IBGE 2015).

De clima tropical, quente e úmido, a temperatura mínima na maior parte do ano fica entre 22 e 24 graus e a máxima, geralmente entre 30 e 34 graus, apresentando dois períodos distintos: um chuvoso, de dezembro a julho, e outro seco, de agosto a novembro. A média pluviométrica é de 2200 mm/ano, concentrados entre fevereiro e maio. Os meses com maior média de pluviosidade são março e abril, enquanto os menores são setembro e outubro (IBGE 2015).

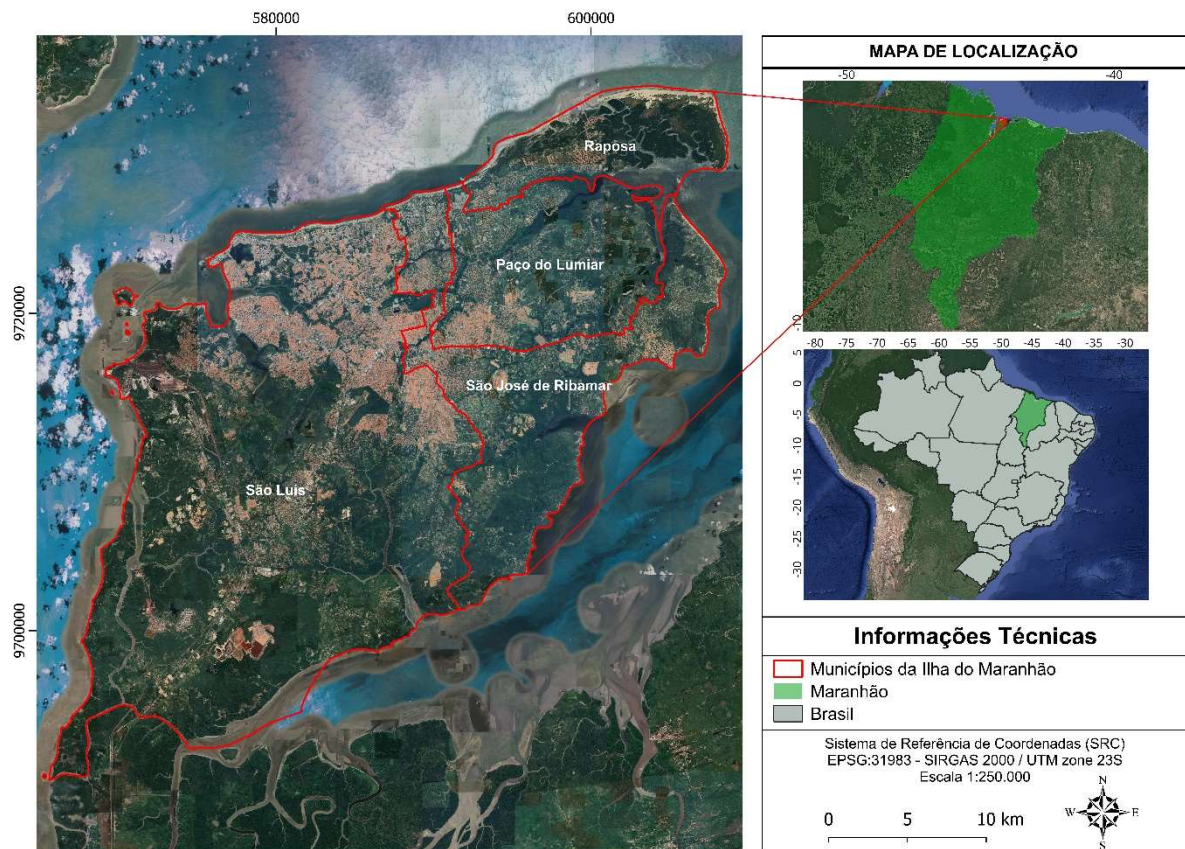


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo
Fonte: Autor.

2.2. Procedimentos Metodológicos

2.2.1 Dados De Uso E Cobertura Da Terra E Séries Temporais De Desmatamento

Foram usados dados de Uso e Cobertura da Terra (UCT) da classificação fornecida pelo MapBiomas Amazônia Collection 7.1. O mapeamento MapBiomas é processado usando o Google Earth Engine e é baseado em uma classificação florestal aleatória supervisionada que usa métricas espectro-temporais de imagens de satélite do Programa Landsat como entradas (MapBiomas, 2021). Abrangem o período de 1985 em diante em uma base anual (MapBiomas, nd-b).

Dado que a classificação florestal do MapBiomas não faz distinção entre florestas primárias e secundárias, incluímos dados sobre a distribuição espacial das florestas secundárias de terra firme (https://github.com/celsohlsj/gee_brazil_sv) do estudo de Silva-Junior et al. (2020). Este produto é baseado nas transições de classes anuais do MapBiomas de pixels classificados como agricultura, infraestrutura urbana

ou mineração em pixels florestais desde 1986 (Silva-Junior, 2020). Consequentemente, definimos florestas primárias de terra firme em um determinado ano como as áreas florestais que não foram contabilizadas como florestas secundárias de terra firme até aquele ano pelo produto de Silva Junior et al. (2020).

Também foi criada uma classe denominada “desmatamento no ano” (1986-2021) para representar todas as áreas classificadas como agricultura, infraestrutura urbana ou mineração a cada ano que foram classificadas no ano anterior como florestas primárias (florestas em pé no ano de 1985). Esse raciocínio foi usado para calcular a série temporal do desmatamento (os dados do desmatamento estão disponíveis em: <https://zenodo.org/record/6808579#.YuQ5o3bMK3B>). Este procedimento permite a geração de informações consistentes para todas as regiões, embora esteja sujeita a imprecisões derivadas de erros de classificação no produto MapBiomas. Como resultado, alguns dos pixels em dados de desmatamento podem estar representando a perda florestal de outros processos, como extração seletiva de madeira, incêndios florestais e derrubadas, que podem ser classificados como agricultura, embora geralmente sejam seguidos pela regeneração florestal. No entanto, uma série de filtros temporais e espaciais de pós-classificação são usados no produto MapBiomas para reduzir transições de classe incorretas (MapBiomas, 2021). Foram comparadas estimativas anuais de desmatamento de nossa abordagem MapBiomas com estimativas de abordagens governamentais oficiais como Centro de Monitoramento da Conservação Mundial do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (WCMC) e Mapas Globais de Densidade de Carbono de Biomassa Aérea e Abaixo do Solo (GEE).

3. Resultados e Discussão

3.1. Densidade De Carbono Sequestrado

Como se sabe, as áreas verdes, em especial, as unidades de conservação são extremamente importantes para as cidades por diversos motivos. As áreas verdes ajudam a controlar a poluição do ar e acústica, aumentam o conforto ambiental, estabilizam superfícies por meio da fixação do solo pelas raízes das plantas, interceptam as águas da chuva no subsolo reduzindo o escoamento superficial,

abrigam a fauna, equilibram o índice de umidade no ar, protegem as nascentes e os mananciais e organizam e compõem espaços no desenvolvimento das atividades humanas.

A ilha possui 5 UCs estaduais completamente inseridas em seu território: Parque Ecológico da Lagoa da Jansen (197 ha); Parque Estadual do Sítio do Rangedor (119 ha); APA do Itapiracó (355 ha); APA da Região do Maracanã (2190 ha) e Parque Estadual do Bacanga (3135 ha) (Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais).

Na figura 2 é importante destacar o avanço da área urbana no decorrer dos anos, ficando evidente a substituição de uma camada consistente de área verde demonstrando o efeito direto no que apresenta a figura 3, onde é possível observar o comportamento do estoque de carbono no solo desde o ano de 1985 a 2021 na Ilha do Maranhão, se apresentando evidente a distribuição do carbono no solo diminuindo no quadrante da ilha que mais teve desenvolvimento urbano, sendo mais intenso no município de São Luís, capital do estado.

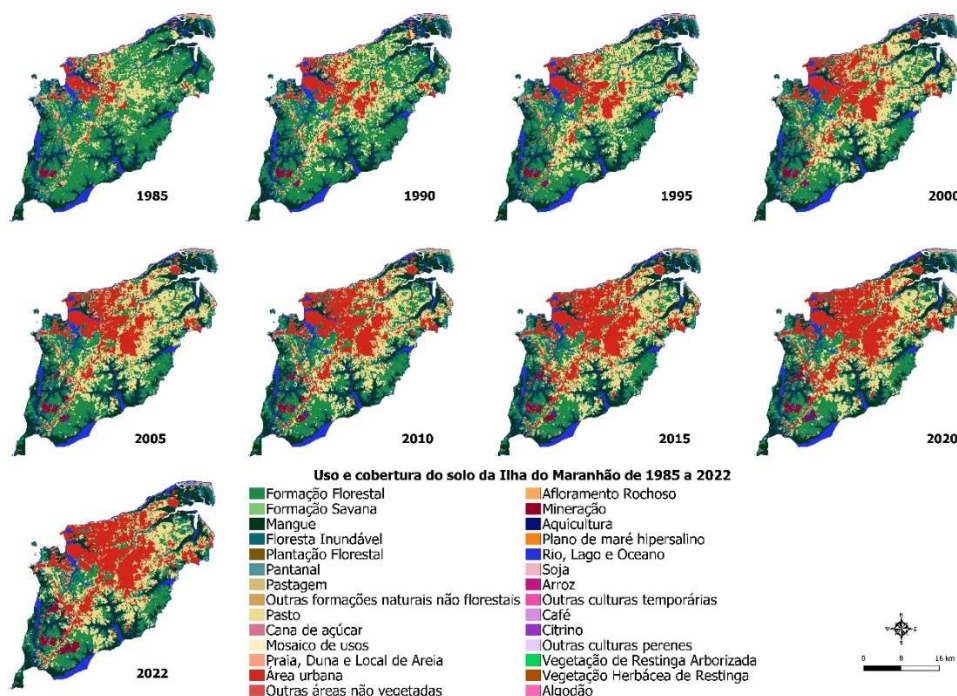


Figura 2. Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Ilha do Maranhão 1985 a 2022 (Mapbiomas)

Fonte: Autor.

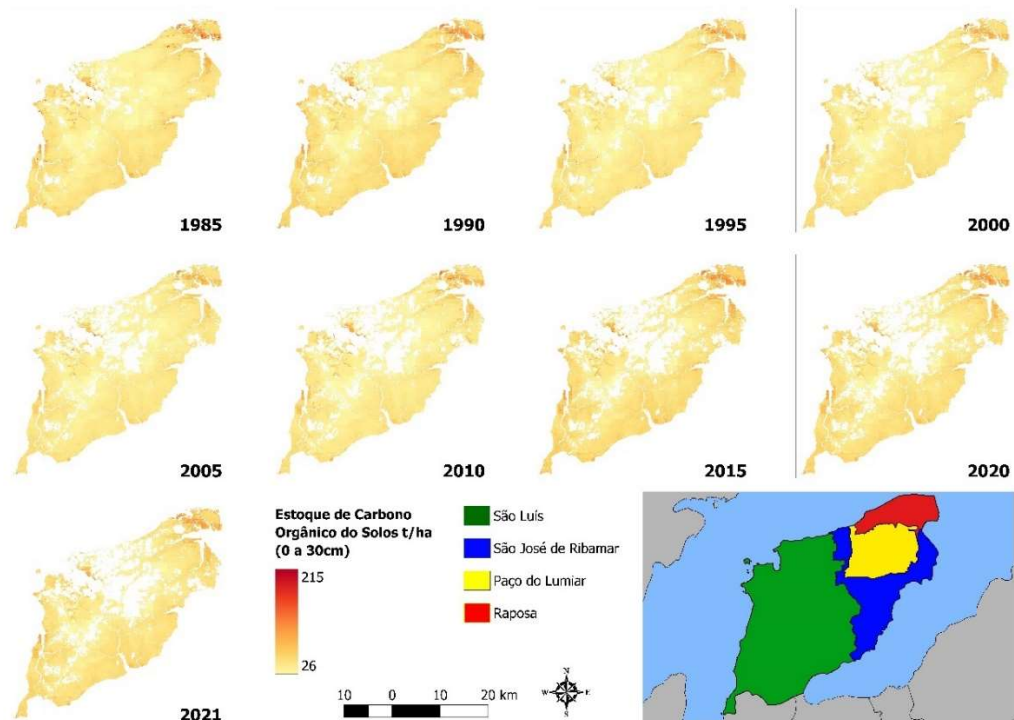


Figura 3. Distribuição de Carbono no solo de 1985 a 2021 (Mapbiomas).
Fonte: Autor.

Ao atentarmos aos dados disponíveis nas bases do Centro de Monitoramento da Conservação Mundial do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (WCMC) e Mapas Globais de Densidade de Carbono de Biomassa Aérea e Abaixo do Solo (GEE), é possível verificar nas figuras 4 e 5 que as áreas com maior adensamento de carbono sequestrado estão inseridas em grandes adensamentos de áreas verdes como as UCs da APA da Região do Maracanã e Parque Estadual do Bacanga, assim como uma área considerável de manguezal.

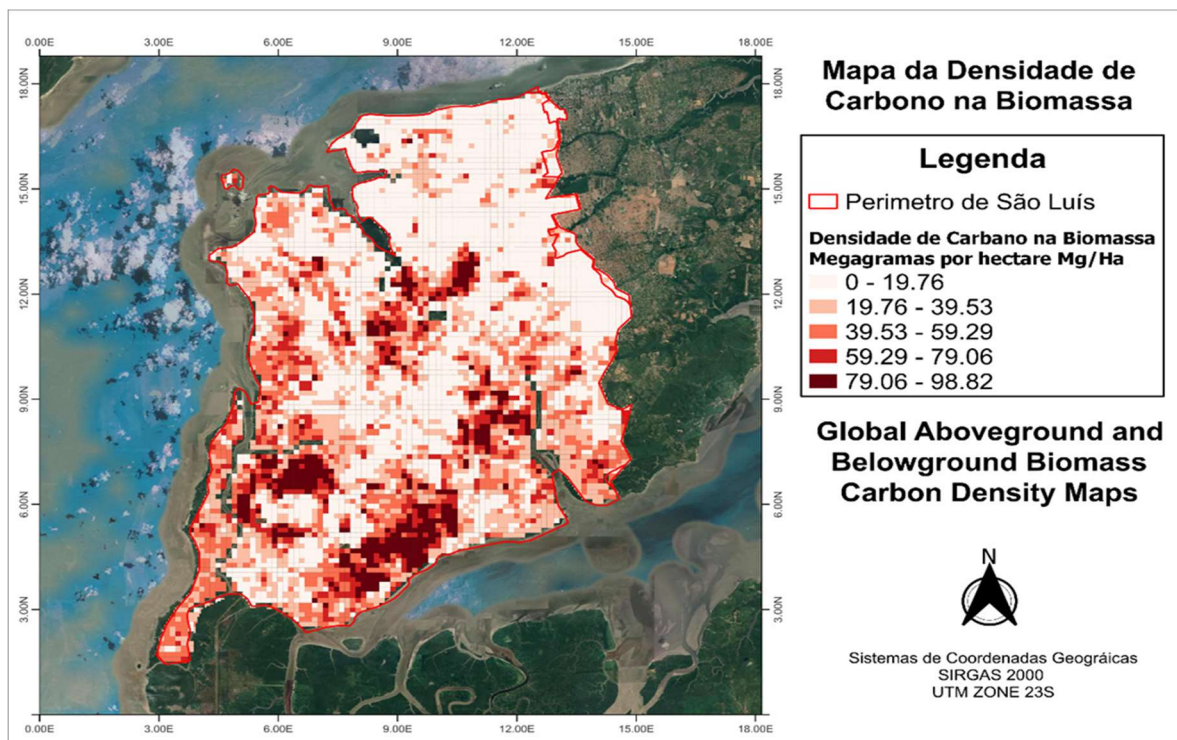


Figura 4. Mapa de Densidade de Carbono na Biomassa (Base GEE)
Fonte: Autor.

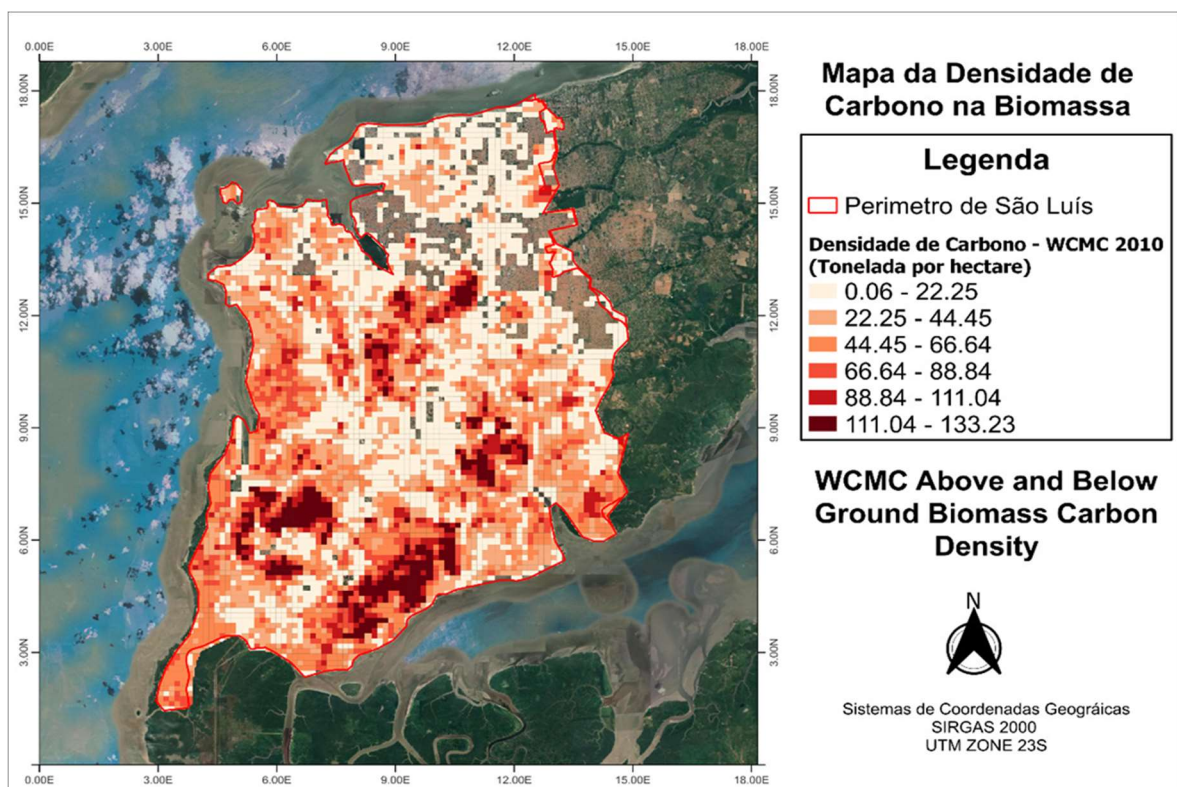


Figura 5. Mapa de Densidade de Carbono na Biomassa (Base WCMC)
Fonte: Autor.

3.2. Avaliação Temporal Das Áreas Verdes Municipais Florestadas e Não Florestadas (Perda em km²)

A perda de áreas verdes nas cidades é um problema que pode ter consequências negativas para o meio ambiente e para a saúde humana. A ausência de áreas verdes contribui para a formação das ilhas de calor, que são áreas urbanas com temperaturas mais elevadas do que as áreas circundantes. As árvores são importantes mitigadoras da formação dessas ilhas de calor, pois influenciam diretamente na absorção do calor e da poluição mesmo em um cenário não florestal como acontece em grande parte dos municípios do Brasil.

Assim, foi realizada a avaliação temporal das áreas verdes municipais não florestais (Excluindo-se UCs e Manguezais) e nas figuras 5 e 6 é possível observar os seguintes resultados de perda de área verde entre os anos de 1986 e 2021.

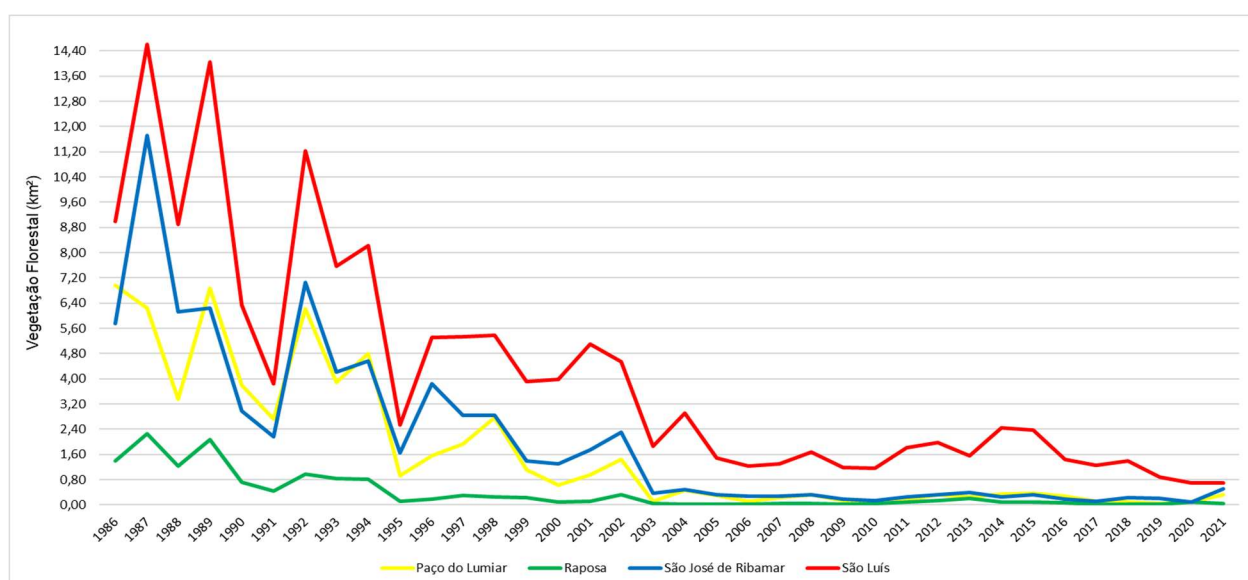


Figura 6. Avaliação Temporal da Perda de Áreas Verdes Municipais Florestadas
Fonte: Autor.

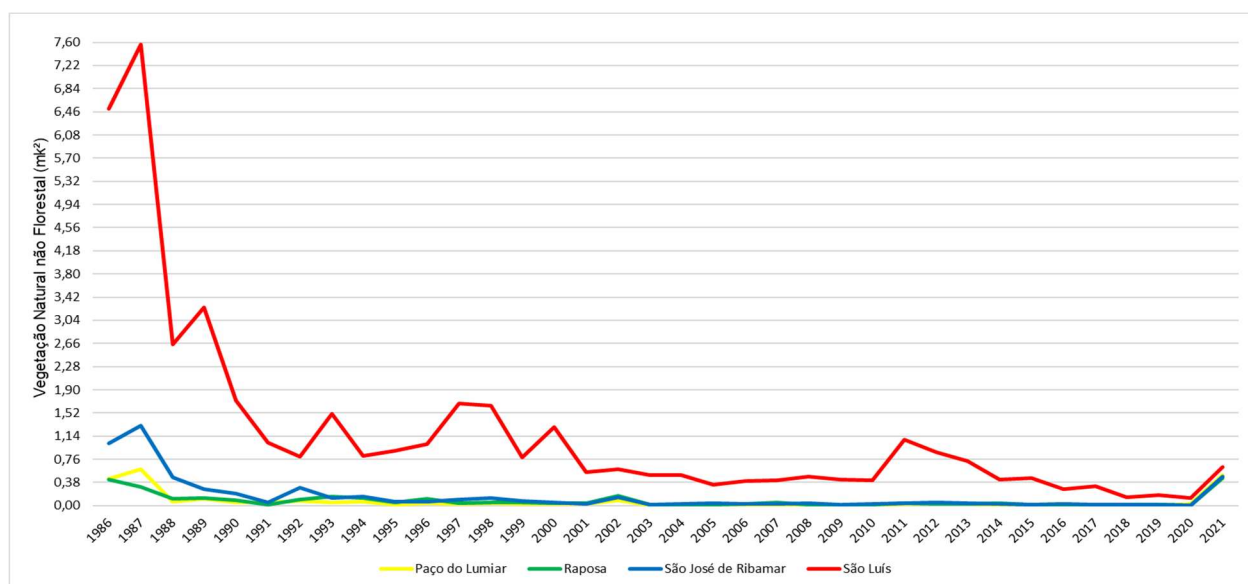


Figura 7. Avaliação Temporal da Perda de Áreas Verdes Municipais Não Florestadas

Fonte: Autor.

Foi possível observar que há um destaque bastante considerável nas taxas de desmatamento e emissão de carbono referentes à cidade de São Luís em comparação aos demais municípios durante toda a série temporal, alcançando seu pico em 1987 com uma taxa de 14,60 km² em áreas florestais e 7,56 km², apresentando padrão semelhante no mesmo ano para o em área florestal do município de São José de Ribamar com uma taxa de 11,72 km².

Observa-se também outros picos significativos em áreas florestais nos anos de 1989 com 14,05km²; 1992 com 11,22 km² e 1994 com 8,22 km² em São Luís, Já em São José de Ribamar observa-se picos menores que São Luís, como 1988 com 6,11 km², 1989 com 6,24 km² e 1992 com 7.06 km², porém um comportamento bastante semelhante em perda de áreas florestais até o ano de 2003.

Outra informação que se destaca é uma semelhança de padrão na perda de cobertura vegetal florestal entre os municípios de São Luís, Paço do Lumiar e São José de Ribamar entre os anos de 1991 e 1995.

No que tange às áreas não florestais, a cidade de São Luís se destaca dos demais municípios apresentando um comportamento de pequenos picos de perda vegetal durante alguns períodos como 1988, 1993, 1997, 1998, 2000 e 2011.

Na figura 8 é possível observar a supressão da vegetação desde o ano de 2007 na ilha do Maranhão com os dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite - PRODES, por se tratar do município de maior extensão dos 4 formadores da ilha, o desmatamento até 2007 foi diretamente proporcional ao tamanho de São Luís. Outro aspecto interessante a se destacar é o fato de não ter havido nenhuma área imensa contínua desmatada depois do ano de 2007, sugerindo que as grandes obras que geraram supressão vegetal mais consistentes se limitaram até esta época, como construção de grande bairros, a exemplo do Cohatrac entre 1978 à 1985, Cidade Operária 1985 à 1987, Cidade Olímpica, Residencial Pinheiros, Residencial Araras, Olho D'água e principalmente o Bairro do Araçagi concebidos entre 1990 e 1997, destacando que este último termina por se compor pela interseção dos 4 municípios.

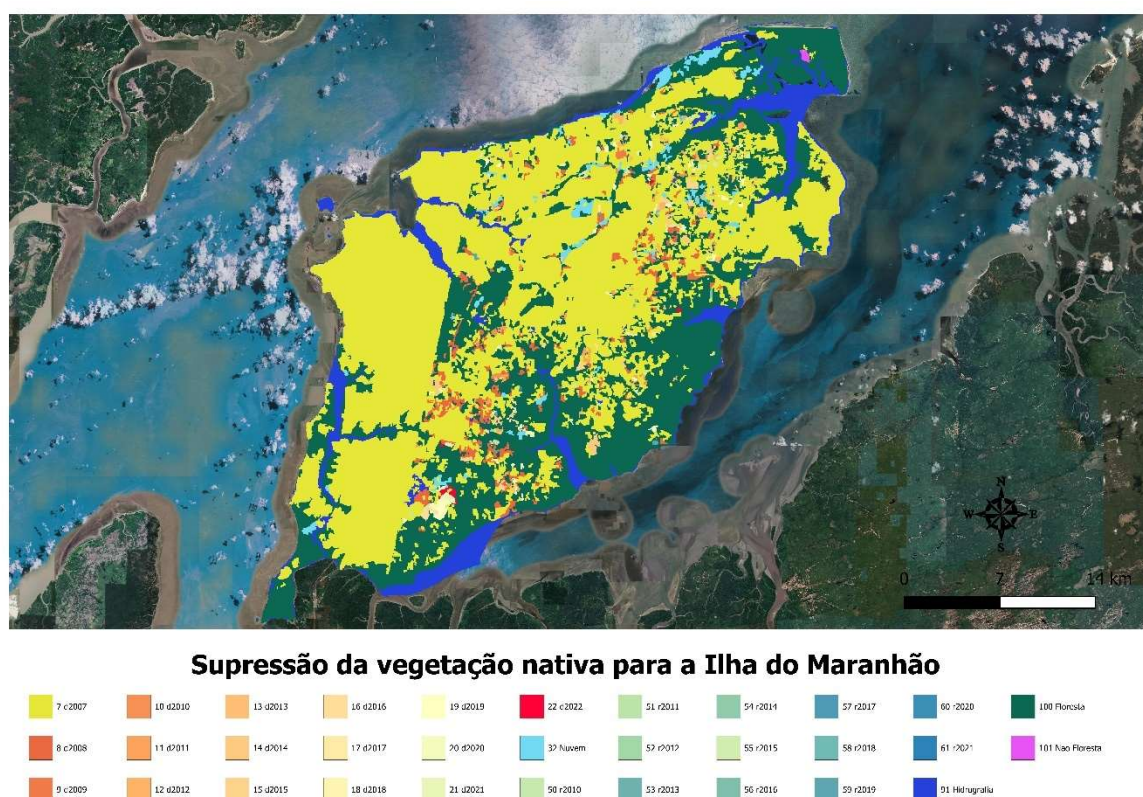


Figura 8. Supressão da vegetação nativa.
Fonte: Autor.

3.3. Avaliação Temporal Das Áreas Verdes Municipais Florestadas e Não Florestadas (Emissão De Carbono Da Perda Das Áreas - t)

Ao fornecer uma infinidade de serviços ecossistêmicos, desde a formação do nosso sistema imunitário e promoção da saúde física e mental até à regulação das ondas de calor e inundações, que são especialmente importantes no atual contexto de urbanização, esses espaços verdes urbanos também desempenham um papel importante no sequestro global de carbono, um serviço ecossistêmico vital para mitigar as emissões de CO² e os efeitos das mudanças climáticas.

Assim, foi realizada a avaliação temporal das áreas verdes municipais não florestais (Excluindo-se UCs e Manguezais) e obteve-se os seguintes resultados de emissão de Carbono oriunda da perda de área verde entre os anos de 1986 e 2021.

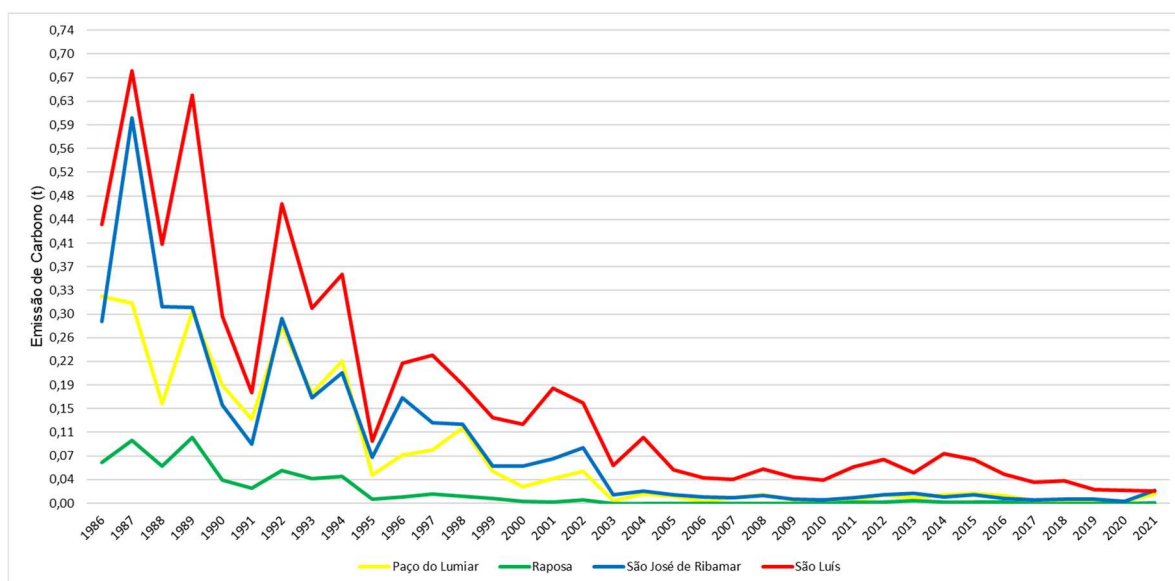


Figura 9. Avaliação Temporal da emissão de Carbono oriunda da perda de áreas verdes Municipais Florestadas
Fonte: Autor.

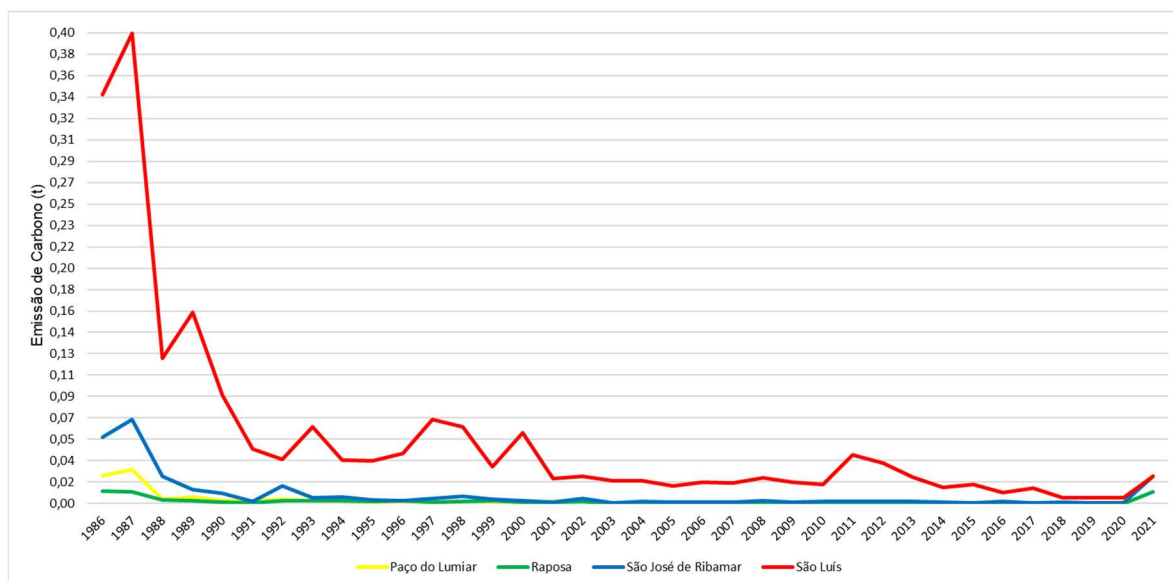


Figura 10. Avaliação Temporal da emissão de Carbono oriunda da perda de Municipais Não Florestadas
Fonte: Autor.

Observa-se um comportamento diretamente proporcional da emissão de carbono com os períodos de maior perda de cobertura vegetal, tanto em áreas florestais quanto em áreas não florestais, anos de pico como 1987 observasse a emissão de 0,68 t, acompanhado de 1989 com emissão de 0,64 t ambos referentes às áreas florestais perdidas no município de São Luís, já em São José de Ribamar observamos pico semelhante em 1987 com emissão de 0,60 t.

Por se tratar da maior cidade da ilha e a mais urbanizada, São Luís apresenta as taxas mais preocupantes de perda de cobertura vegetal tanto para ambientes florestais quanto para não florestais assim como consequente maior nível de emissões nos períodos de pico em comparação aos demais municípios que compõem a ilha.

4. Conclusão

A implementação de um planejamento de arborização como política pública para a compensação das emissões de gases de efeito estufa na Ilha do Maranhão é crucial para lidar com os desafios ambientais e climáticos que a região enfrenta. Assim como outras áreas urbanas, contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa, principalmente devido ao transporte e ao consumo de energia. Nesse cenário, o planejamento da arborização emerge como uma estratégia eficiente para

mitigar essas emissões, promovendo a absorção e o armazenamento de carbono atmosférico pelas árvores.

Foi possível observar no trabalho a relação direta entre a emissão de carbono e a perda de áreas verdes, demonstrando o papel dos municípios que compõem a ilha do Maranhão, com suas taxas demonstrando São Luís como o município com as taxas mais alarmantes, trazendo a necessidade de reflexão, discussão e principalmente ações para articular soluções enquanto ainda há tempo para isso.

Ademais, o planejamento da arborização também traz benefícios diretos na redução do impacto ambiental causado pela emissão de gases de efeito estufa. As árvores funcionam como sumidouros naturais de carbono, absorvendo o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera durante a fotossíntese. Além disso, as árvores auxiliam na redução da temperatura ambiente por meio da sombra proporcionada pela copa das árvores, diminuindo a necessidade de uso intensivo de sistemas de refrigeração artificial.

Para compensar a emissão de gases de efeito estufa na cidade de São Luís - MA, várias estratégias são utilizadas no planejamento da arborização. Uma delas é a seleção cuidadosa das espécies de árvores plantadas, dando prioridade àquelas que têm maior capacidade de capturar carbono e resistência às condições climáticas locais. Além disso, é necessário um planejamento adequado do espaçamento entre as árvores, garantindo que haja espaço suficiente para o crescimento saudável e o pleno desenvolvimento das mesmas.

No entanto, a implementação do planejamento da arborização como política pública para a compensação da emissão de gases de efeito estufa enfrenta desafios significativos. Um dos principais desafios é a falta de conscientização e engajamento da população em relação à importância da arborização urbana. Muitas vezes, a população não compreende os benefícios diretos que a presença de árvores pode trazer para sua qualidade de vida e para o meio ambiente.

Os resultados obtidos com o planejamento da arborização como política pública para a compensação da emissão de gases de efeito estufa na cidade de São Luís - MA têm sido promissores. Estudos indicam que áreas urbanas com maior cobertura arbórea apresentam temperaturas mais amenas, redução dos níveis de poluição

atmosférica e melhoria na qualidade do ar. Além disso, a presença de áreas verdes também contribui para o bem-estar psicológico e emocional da população.

Para aumentar a efetividade da política pública de arborização planejada na compensação da emissão de gases de efeito estufa, é necessário realizar melhorias e ajustes. Uma possível melhoria seria o aumento do investimento em programas educacionais voltados para conscientização ambiental, visando engajar a população no processo de plantio e manutenção das árvores. Além disso, é fundamental fortalecer as parcerias entre órgãos governamentais, instituições de pesquisa e organizações da sociedade civil, para garantir a implementação eficiente e sustentável da política.

Com o avanço das tecnologias e o aumento do conhecimento científico sobre os benefícios da arborização urbana, espera-se que haja um maior investimento nessa área. Além disso, é importante considerar o contexto específico da cidade, levando em conta as características climáticas, socioeconômicas e culturais locais para garantir a efetividade das políticas públicas implementadas.

5. Referências

- BAYERL, S. H. BACKES, F. A. A. L. **Produção de mudas de camélia (Camelliasinensis) através de alporquia para uso em micropaisagismo**. *Ágora: R. Divulg. Cient.*, ISSN 2237-9010, Mafra, v. 16, n. 2, 2009. Disponível em: <<http://www.periodicos.unc.br/index.php/agora/article/viewFile/38/134>>. Acesso em: 18 Maio de 2022.
- BRACK, C. L. **Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest**. *Environmental Pollution* 116, 2002, S195–S200.
- BRASIL (Município). **Código de Posturas do Município de São Luís**. 5. ed. São Luís, MA, 12 maio 1968. p. 01-37.
- BRIANÉZI, D. M. Sc. **Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do campus-sede da Universidade Federal de Viçosa**. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- BRUN, F. G. K. **Avaliação do potencial de estoque de carbono por Sibipirura (poincianella pluviosa var. peltophoroides (Benth.) L. P. Queiróz) na arborização viária de Maringá – PR**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) ESALQ/USP – Escola

Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

CABRAL, Ivo Decurcio. **Arborização Urbana: problemas e benefícios**. 2013.

Disponível em

<<http://www.ipog.edu.br/uploads/arquivos/3474154c808305a9ba984df5faa037c2.pdf>> . Acesso em 11 de Maio de 2022.

FERNANDES, A.; SALIS, S. M.; FERNANDES, F.; CRISPIM, S. **Estoques de carbono do estrato arbóreo de cerrados no Pantanal da Nhecolândia**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2008. (Comunicado Técnico 68).

GREY, Gene W. **The urban forest**. 2th ed. Michigan: John Wiley & Sons, 1978.

IBGE. São Luís: **Território e Ambiente**. 2015. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>> . Acesso em: 23 Maio 2022.

INCID, Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural, **Mapa de Arruamento e Bairros de São Luís**. São Luís, MA, 2010

LOBODA; Carlos Roberto; ANGELIS, Bruno Luís Domingos de; **ÁREAS VERDES PÚBLICAS URBANAS: CONCEITOS, USOS E FUNÇÕES**. 2005. Artigo –

Universidade Estadual de Maringá/PR. Disponível em :

<<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/157/185>>

Acessado em: 23 Maio 2022.

MACÊDO, B. R. M. de; LISBOA, C. M. C. A.; CARVALHO, F. G. **Diagnóstico e diretrizes para a arborização do Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte**. Revista da Sociedade Brasileira de

MELLO FILHO, L.E. de. **Arborização urbana**. In: **ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA**, 1985, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 1985. p.51-56.

MENDES, E. do N.; FIGUEREIDO, M. F.; BRAGA, P. E. T. **Flora arbustiva/arbórea nos bairros Betânia e Derby na cidade de Sobral, Ceará**. Revista Homem, Espaço e Tempo, ISSN 1982-3800. Universidade Estadual Vale do Acaraú/UVA. Vale do Acaraú-CE, 2012.

MILLER, R.W. **Urban forestry: planning and managing urban greenspaces**. 2 ed. New Jersey, Prentice Hall, 1997. 502p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Protocolo de Quioto**. 2014. Disponível em: . Acesso em: 19 Maio 2022.

MORAES, A. N.; PINTO, M. D. F.; SANTOS, I. M.; GOMES, I. B. A. 2010. **A problemática socioambiental gestada pelo processo de urbanização da cidade de São Luís-MA: um estudo de caso acerca da realidade do bairro do Jaracati**. Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre.

NOWAK, D. J.; HOEHN III, R. E.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C.; WALTON, J. **T.Forest Service's Northern Research Station at Syracuse, NY**. Assessing Urban Forest: Effects and Values.Northern Research Station Resource Bulletin NRS-9, Feb. 2007.

O ESTADO MA. **São Luís é a 6ª pior capital brasileira em ranking que avalia o bem-estar nas cidades**. 2016. Disponível em: <<http://imirante.com/mobile/oestadoma/noticias/2016/09/27/sao-luis-fica-em22o-lugar-entre-as-capitais-em-ranking-que-avalia-bem-estar-nascidades.shtml>>. Acesso em: 23 maio 2022

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. 2006. **LEI Nº 4.669 de 11 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor do município de São Luís e dá outras providências.

SOUZA, R. C.; DUARTE, A. P. C.; CARIDADE, E. **Relatório Parcial - Elaboração do Plano de Arborização Urbana de São Luís – MA**. Prefeitura Municipal de São Luís. Instituto Municipal da Paisagem Urbana – IMPUR. 2016. (Dados não publicados).

SOUZA, A.L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013.

VOOGT, J. A. **Urban heat islands: hotter cities**. 2004. Disponível em: <<http://www.actionscience.org/environment/voogt.html>>. Acesso em: 21 Maio 2022.

IV. CAPÍTULO II: EFEITO DE MARCOS TEMPORAIS DO CARBONO EM FATORES COMO ANÁLISE DE DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE DESMATAMENTO NA ILHA DO MARANHÃO

Fábio Augusto Siqueira dos Santos; Luan Victor Pereira de Sousa; Poliana de Cássia Araújo Ferreira; Camila Helena Espínola Schliebe; Alexandre Santana Azevedo; Rosana Sousa de Oliveira Pinho Azevedo; Ana Maisy de Miranda Castro; Flávia Rebelo Mochel; Naila Arraes de Araújo; Larissa Nascimento Barreto; Celso Henrique Leite Silva Junior; Denílson da Silva Bezerra;

RESUMO: A arborização urbana desempenha diversos papéis nos ecossistemas das cidades, como por exemplo, estabilização e melhoria microclimática; diminuição da poluição atmosférica, visual e sonora; incremento da qualidade ambiental, entre outros. Uma das pretensões do presente trabalho foi exatamente demonstrar que, em razão de seus inúmeros benefícios, a arborização, que vai além de um elemento estético da paisagem citadina, deve ser considerada como uma estratégia dos municípios no meio ambiente urbano, nesse sentido o intuito desse artigo é apresentar resultados coletados, a fim de ampliar a reflexão sobre como compensar a emissão de gases de efeito estufa na Ilha do Maranhão. Para elaboração desse artigo recorremos a dados de uma série temporal de 1986 à 2021, relativos a uso e cobertura da terra e séries temporais de desmatamento da coleção 7.1 do MapBiomass, afim de visualizar o desenvolvimento deste cenário nesse período, assim como verificar o efeito de alguns dos principais marcos temporais referentes ao carbono nos parâmetros analisados.

Palavras chave: Arborização Urbana, Poluição Atmosférica, Benefícios, Diminuição da Poluição

ABSTRACT: Urban afforestation plays several roles in city ecosystems, such as microclimatic stabilization and improvement; reduction of atmospheric, visual and noise pollution; increasing environmental quality, among others. One of the aims of this work was precisely to demonstrate that, due to its numerous benefits, afforestation, which goes beyond an aesthetic element of the city landscape, should be considered as a strategy for municipalities in the urban environment, in this sense the intention of this article is to present collected results, in order to broaden the reflection on how to offset the emission of greenhouse gases on Maranhão Island. To prepare this article, we used data from a time series from 1986 to 2021, relating to land use and coverage and deforestation time series from the MapBiomass 7.1 collection, in order to visualize the development of this scenario in this period, as well as verify the effect of some of the main time frames relating to carbon in the analyzed parameters.

Keywords: Urban Afforestation, Atmospheric Pollution, Benefits, Reduction of Pollution

Introdução

A temática sobre as mudanças climáticas tornou-se recorrente em vários setores, como em reuniões internacionais, em universidades e escolas, e em meios de comunicação. Uma particular ênfase é dada à origem das suas causas, à avaliação dos seus impactos, à análise da vulnerabilidade de infraestruturas, populações, e atividades socioeconômicas diante destes, e às respostas de mitigação e adaptação existentes ou planejadas (Farias 2012).

Estimativas do sexto relatório de avaliação do IPCC lançado este ano, indicam um risco climático muito maior do que nos relatórios anteriores, advinda do aumento considerável na concentração de CO₂ atmosférico nos últimos anos (Pörtner et al. 2022).

As emissões de Carbono (EC) estão crescendo e acelerando o efeito da mudança climática, diminuindo os sumidouros de carbono como resultado da conversão massiva em classes de uso/cobertura da terra (LULC). Desta forma, a urbanização é uma das variáveis mais cruciais que influenciam a Cobertura Vegetal (CV) urbana nas mudanças climáticas. É uma das questões mais prementes no contexto do aquecimento nacional e global. (Rahman et al, 2022).

De acordo com Zhang et al (2004), 80% do dióxido de carbono responsável

pelo aquecimento é provocado pela ação humana. Dessa forma, a Mudança no Uso da Terra e Florestas foi apontado como responsável por maior quantidade de emissões de CO₂ (75%), no setor de Energia as emissões de CO₂ em 1994, tiveram como resultado 23%, tendo aumentado 16% em relação às emissões de 1990. O subsetor de transportes foi responsável por 40% das emissões de dióxido de carbono do setor energia em 1994 e 9% do total de emissões de CO₂ (PNMC, 2008). Além disso, o uso de Práticas de Manejo Conservacionistas (PMC) tem um grande potencial em aumentar o sequestro de carbono no solo e minimizar os gases de efeito estufa para a atmosfera. (Machado et al, 2000).

O sequestro de carbono é um serviço ecossistêmico vital para mitigar as emissões de CO₂ e os efeitos das mudanças climáticas. O sequestro de carbono é a expressão utilizada para definir o processo de retirada de gás carbônico da atmosfera. Naturalmente, esse processo é realizado pelo crescimento dos vegetais por meio da fotossíntese e pela absorção do oceano e do solo.

A quantificação do armazenamento de carbono terrestre em paisagens urbanas é uma área de pesquisa contemporânea (Sonti et al. 2022) que tem importância local,

nacional e global. Localmente, a vegetação e a cobertura arbórea reduzem as temperaturas urbanas (Thorn et al. 2016), aumentam a biodiversidade (Beninde et al. 2015), melhoram a qualidade do ar (Jayasooriya et al. 2017) e, entre outros benefícios, melhoram bem-estar humano (por exemplo, Ulmer et al. 2016). (Robinson et al., 2023)

Os estudos existentes sobre os efeitos positivos e negativos da urbanização nas emissões de carbono e no consumo de energia são controversos. Por um lado, alguns estudos apontaram que o aumento da densidade populacional urbana e a construção de infraestrutura trazida pelo desenvolvimento da urbanização levarão diretamente ao aumento da intensidade das emissões de carbono, a rápida urbanização do solo agravará a deterioração da relação entre a urbanização e o meio ambiente ecológico, o que trará uma enorme pressão sobre a conservação de energia e redução de emissões (Prastiyo et al., 2020). Por outro lado, outros estudos apontaram que a urbanização é propícia à redução da escala de emissão de carbono, intensidade de emissão de carbono e emissão de carbono per capita, o efeito de redução de carbono é mais significativo para países ou regiões com baixo nível de desenvolvimento econômico, mas isso o efeito de redução de carbono diminuirá gradualmente com a

melhoria do nível abrangente de urbanização (Xiao et al., 2023).

Atualmente, as áreas urbanas contribuem com menos de 3% da superfície terrestre global, mas respondem por 78% das emissões de carbono, 60% do uso residencial de água e 76% da madeira usada para fins industriais (Singh et al., 2010). Prevê-se que as áreas urbanas se expandam rapidamente nas próximas décadas globalmente, resultando em 1,2 bilhões de pessoas adicionais em áreas urbanas e requerendo 1,2 a 1,8 milhões de km² de terra até 2030 (Liu et al., 2022). Assim, é necessário criar um modelo positivo de um futuro com baixa emissão de carbono – e um futuro que, além disso, conecte-se à vida cotidiana comum no presente.

O posicionamento privado passou de oposição a um setor em parte disposto a gerar oportunidades de negócio alinhadas com iniciativas de governança climática. Algumas das práticas envolvem processos internos de autorregulação e ações voluntárias para a redução de emissões e a criação de novos espaços de governança por meio de mercados de carbono. Diante disso, percebe-se que o mercado pode produzir um amplo leque de práticas em diferentes escalas e regiões, enquanto o Estado continua a ter um papel significativo na modelagem da governança climática privada (Bulkeley & Newell, 2010).

A questão que se coloca atualmente não é mais se é certa ou incerta a mudança climática, mas sim como se precaver, quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado. A partir destas constatações, um conjunto de políticas internacionais (como o Protocolo de Kyoto) e nacionais tem sido estabelecido. O que estas buscam, em geral, é uma “Economia de baixo carbono”. Uma economia de baixo carbono pode ser definida como uma economia com baixa emissão de gases de efeito estufa, incluindo, dentre outras ações, implementações de políticas de mitigação de GEE (Magalhães, 2013).

Com o amadurecimento dos estudos e da construção de conceitos relativos à sustentabilidade urbana, novas discussões acerca do que seria o modelo de crescimento urbano ambientalmente menos agressivo, vêm ganhando mais ênfase. (Sousa, 2017).

Há um grande debate em curso sobre a forma como as políticas de mitigação serão implementadas: por mecanismos econômicos, como impostos, subsídios e mercado de carbono, ou regulamentações (regulamentações governamentais, padrões de desempenho e programas voluntários, por exemplo). Um cenário alternativo pós-Quito, com a não-ratificação de um acordo global, seria a criação e fortalecimento de políticas nacionais de redução de GEE, que

poderiam tomar a forma de políticas de tributação, mercados regionais de créditos de carbono ou políticas de fortalecimento e incentivo à eficiência energética. Existem muitos exemplos de políticas nacionais já em funcionamento. A Dinamarca, por exemplo, é o principal país a adotar taxas sobre o carbono e alcançar as metas de redução de emissões propostas no Protocolo de Quioto. O maior mercado de carbono do mundo é o da União Europeia, o EU ETS (European Union's Emissions Trade Scheme), que tem servido como exemplo na proposição de esquemas semelhantes nos Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia. Programas de sucesso em termos de eficiência energética e que tem auxiliado o cumprimento de metas de redução de emissões podem ser encontrados na Suécia e Inglaterra. (Magalhães, 2013).

As áreas verdes nas cidades são importantes para o sequestro de carbono e para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Elas ajudam a reduzir a temperatura local e a melhorar a qualidade do ar. Além disso, as áreas verdes também ajudam a reduzir o escoamento superficial da água da chuva e a prevenir enchentes, tendo um papel fundamental no sequestro global de carbono. Além de absorver carbono, a vegetação também exerce um papel fundamental para a manutenção da qualidade ambiental nas cidades. Segundo

Martinez (2006) “As áreas verdes urbanas são espaços físicos com prevalência de vegetação arbórea de grande importância no aumento da qualidade de vida da população.”

A infraestrutura verde pode ser definida como uma rede de espaços verdes interconectados que conservam valores naturais de um ecossistema e que provêm benefícios às populações humanas. Podem ser compostas por parques, florestas, praças, hortas comunitárias e outras formas de paisagens naturais públicas ou privadas e cada vez mais são reconhecidos os efeitos benéficos que o contato com a natureza gera a saúde humana (COUTTS; HAHN, 2015) (Moura, 2019).

Cabe ao Poder Público Municipal ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, bem como garantir o bem-estar dos seus habitantes, devendo possuir como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana, o Plano Diretor, que dentre outras funções deverá determinar a função social da propriedade urbana. (Paulo, 2018)

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo autoriza a implementação de projetos de sustentabilidade pelos países desenvolvidos, nos países em desenvolvimento, como uma forma de cumprir parte de seus compromissos e pelos

quais serão emitidos Reduções Certificadas de Carbono – RCE, podendo, inclusive, ser negociadas no mercado de carbono, conforme prevê o art. 12.3 do Protocolo.

Conceitos e estudos, como os de metabolismo urbano e metabolismo de carbono (Guo et al., 2017; Weisz & Steinberger, 2010; Kennedy et al., 2007), têm surgido nas décadas recentes e também influenciado vertentes de planejamento urbano sustentável, como as Ecocidades, as Cidades Inteligentes, as Cidades de Baixo Carbono, as Cidades de Zero Carbono, entre outras (Tan et al., 2017; Su et al., 2016).

As áreas verdes urbanas desempenham um papel indispensável na manutenção do equilíbrio ecológico das cidades e na redução dos problemas ecológicos urbanos (Hou et al., 2022). No entanto, os estoques de carbono das árvores urbanas são geralmente subestimados nos estudos existentes, e a capacidade das árvores urbanas de reduzir as concentrações atmosféricas de CO₂ e mitigar o aquecimento global está longe de ser conhecida (Mngadi et al. 2021; Ren et al. 2019). Portanto, estimar com precisão os estoques de carbono das árvores urbanas é crucial para os gestores das cidades desenvolverem estratégias de mitigação das mudanças climáticas. (Qin et al., 2022).

Vários são os estudos que se utilizam de processamento de imagens, na

faixa do infravermelho termal, para estimar a temperatura da superfície terrestre e assim, compreender a relação das diferentes paisagens e coberturas urbanas com a radiação. Segundo Weng (2009), a maioria destes estudos efetua uma avaliação de ilhas de calor urbano, bem como a relação entre índices de vegetação e temperatura de superfície terrestre.

A temperatura da superfície terrestre é um importante parâmetro para os estudos termais do ambiente urbano e suas dinâmicas (WENG, 2009). As trocas e o balanço de energia superficial são funções

da interação da radiação com a cobertura da terra, as quais podem desdobrar apontamentos em relação ao clima urbano, ao nível de planejamento e à qualidade de vida da população. (Ferreira, 2019).

Assim, percebe-se a importância do desenvolvimento de estudos que compreendam o ciclo do carbono em uma escala local, de tal forma que políticas públicas, vinculadas à infraestrutura verde urbana, possam ser desenvolvidas a ponto de aprimorar o bem-estar social em termos de redução dos impactos da emissão de GEE (Assumpção, 2019).

Metodologia

Área De Estudo

A Ilha do Maranhão, situada no estado de mesmo nome, é a maior ilha costeira do Brasil, com uma extensão territorial de 329.651,496 km². Ela abriga uma população de cerca de 6.776.699 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de aproximadamente 20,56 pessoas por km². A cidade de São Luís, capital do estado, está localizada nesta ilha e é famosa por sua rica herança cultural, que é uma mistura das tradições indígenas, africanas e europeias. A ilha é conhecida por suas praias deslumbrantes, manguezais e locais históricos, que atraem turistas de todo o mundo. Suas coordenadas

geográficas são aproximadamente 2,5294° S de latitude e 44,3021° O de longitude, de acordo com o IBGE 2015.

Quanto ao clima, a Ilha do Maranhão tem um clima tropical, caracterizado por ser quente e úmido. A temperatura varia entre 22 e 24 graus na maior parte do ano, podendo chegar a 30 e 34 graus. O ano é dividido em duas estações: a estação chuvosa, que vai de dezembro a julho, e a estação seca, que vai de agosto a novembro. A precipitação média anual é de 2200 mm, sendo que a maior parte da chuva cai entre fevereiro e

maio. Março e abril são os meses mais chuvosos, enquanto setembro e outubro são os menos chuvosos, segundo o IBGE 2015.

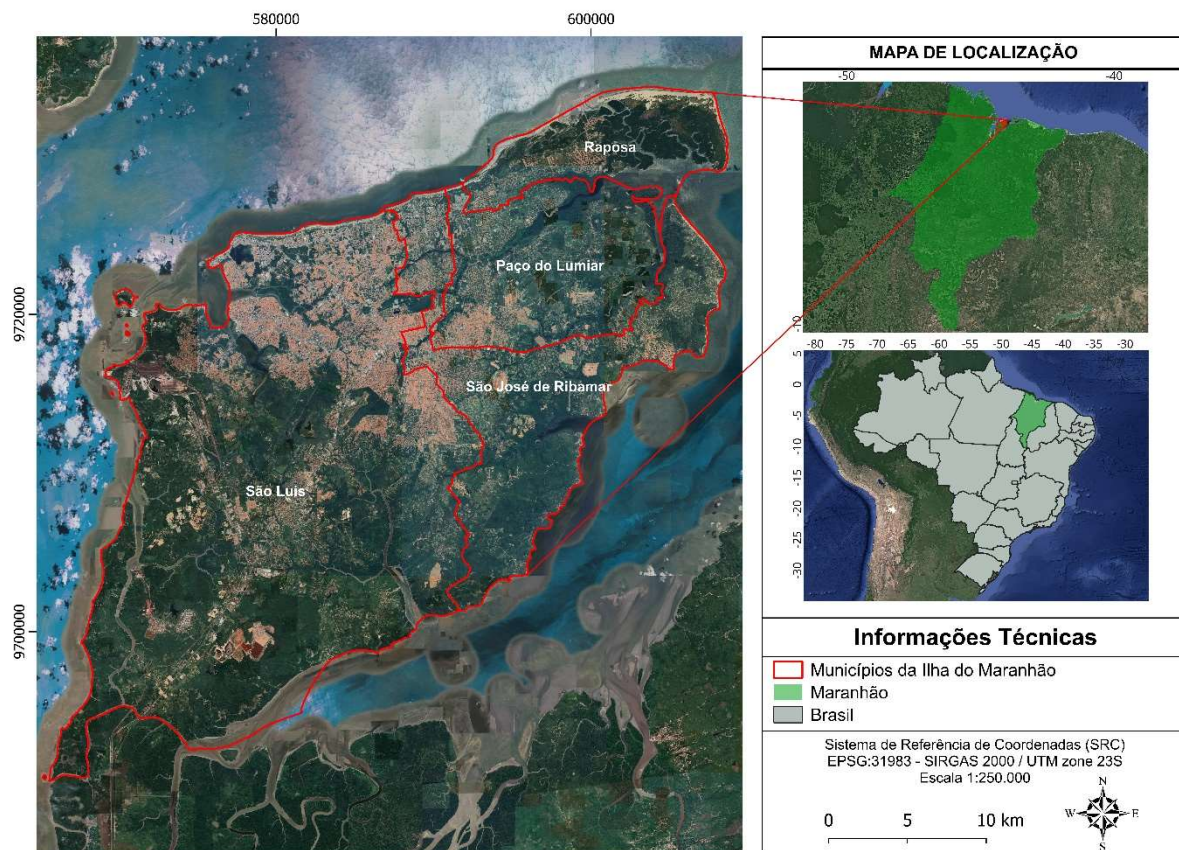


Fig. 1 Mapa de localização da área de estudo
Fonte: Autor.

Análise de Dados

Todos os dados da pesquisa foram organizados em tabelas e gráficos descritivos para melhor visualização dos mesmos. A análise estatística foi realizada através dos programas estatísticos R 3.5.1 pacote Rcmdr, Statistica v. 7.0 e SPSS v. 20, considerando-se um nível de significância de 5%.

Com o objetivo de comparar as médias de área desflorestada entre os

municípios monitorados na pesquisa e o tipo de vegetação (florestal e não-florestal) foi utilizada a técnica estatística de ANOVA fatorial. Como pré-testes, foram testados os pressupostos de homogeneidade de variâncias (teste de Levene) e normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk). A mesma técnica e pressupostos foram testados para comparação entre as médias de concentração de gás carbônico

em relação aos municípios e tipo de vegetação.

Possíveis relações significativas entre a área desflorestada e a concentração de CO₂ foram verificadas por meio da Correlação Linear de Pearson.

Para se analisar possíveis diferenças entre as médias da área desflorestada em função do marco temporal de surgimento das principais leis e regimentos ambientais de caráter internacional e nacional relacionadas ao carbono foi empregado o teste de ANOVA one-way, respeitando-se os mesmos pressupostos da ANOVA fatorial. O mesmo teste e pressupostos foram utilizados na comparação entre as médias de concentração de CO₂. Como pós-técnica para melhor identificação das possíveis diferenças entre os grupos, utilizou-se o teste de Tukey.

Dados De Uso E Cobertura Da Terra e Séries Temporais De Desmatamento:

Foram usados dados de Uso e Cobertura da Terra (UCT) da classificação fornecida pelo MapBiomas Amazônia Collection 7.1. O mapeamento MapBiomas é processado usando o Google Earth Engine e é baseado em uma classificação florestal aleatória supervisionada que usa métricas espectro-temporais de imagens de satélite do Programa Landsat como entradas (MapBiomas, 2021). Abrangem o período

de 1985 em diante em uma base anual (MapBiomas, nd-b).

Dado que a classificação florestal do MapBiomas não faz distinção entre florestas primárias e secundárias, incluímos dados sobre a distribuição espacial das florestas secundárias de terra firme (https://github.com/celsohlsj/gee_brazil_sv) do estudo de Silva-Junior et al. (2020). Este produto é baseado nas transições de classes anuais do MapBiomas de pixels classificados como agricultura, infraestrutura urbana ou mineração em pixels florestais desde 1986 (Silva-Junior, 2020). Consequentemente, definimos florestas primárias de terra firme em um determinado ano como as áreas florestais que não foram contabilizadas como florestas secundárias de terra firme até aquele ano pelo produto de Silva Junior et al. (2020).

Também foi criada uma classe denominada “desmatamento no ano” (1986-2021) para representar todas as áreas classificadas como agricultura, infraestrutura urbana ou mineração a cada ano que foram classificadas no ano anterior como florestas primárias (florestas em pé no ano de 1985). Esse raciocínio foi usado para calcular a série temporal do desmatamento (os dados do desmatamento estão disponíveis em: <https://zenodo.org/record/6808579#.YuQ5>

o3bMK3B). Este procedimento permite a geração de informações consistentes para todas as regiões, embora esteja sujeita a imprecisões derivadas de erros de classificação no produto MapBiomas. Como resultado, alguns dos pixels em dados de desmatamento podem estar representando a perda florestal de outros processos, como extração seletiva de madeira, incêndios florestais e derrubadas, que podem ser classificados como

Mapeamento

Utilizou-se imagens do satélite LANDSAT 8 (LS8) do ano de 2023, o satélite LS8 é uma iniciativa conjunta da National Aeronautics and Space Administration (NASA) com outras empresas e órgãos governamentais americanos e é operado atualmente pela U.S Geological Survey (USGS), a qual disponibiliza as imagens provenientes do satélite de forma gratuita (USGS, 2013). O satélite apresenta resolução temporal de 16 dias e é equipado com dois sensores imageadores, OLI e o TIRS, que produzem imagens em diferentes comprimentos de onda e com características complementares. A imagem foi adquirida através do site do **NVDI**

Quanto ao índice de vegetação utilizado no trabalho foi o NDVI que é

agricultura, embora geralmente sejam seguidos pela regeneração florestal. No entanto, uma série de filtros temporais e espaciais de pós-classificação são usados no produto MapBiomas para reduzir transições de classe incorretas (MapBiomas, 2021). Foram comparadas estimativas anuais de desmatamento de nossa abordagem MapBiomas com estimativas de abordagens governamentais oficiais.

USGS Earth Explorer da NASA disponível em (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), as imagens foram processadas e manipuladas em um sistema de informação geográfica (SIG).

Para a elaboração do material cartográfico, foram adotados os padrões do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enfocando em normas de precisão, simbologia, escalas e convenções cartográficas. A elaboração dos mapas temáticos envolveu o uso de (SIG) por meio do programa QGIS 3.24.0, ajustando a simbologia e as escalas às diretrizes do IBGE.

definido pela seguinte equação $NDVI = \frac{(\text{Infravermelho} - \text{Próximo Vermelho})}{(\text{Infravermelho} + \text{Próximo Vermelho})}$

Vermelho), que para as bandas de Landsat 8 $NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4)$. Os valores do NDVI variam de -1 à 1, assim quanto mais próximo de 1 maior a densidade da cobertura vegetal, de modo que quanto menor a densidade da vegetação

Foram adquiridos do Mapbiomas disponível em <https://brasil.mapbiomas.org/downloads/>.

Os dados do mapbiomas são criados a partir dos mosaicos Landsat com uma resolução média de 30m e são elaboradas as classificações que resultam nos mapas de

Resultados e Discussões

Índice de vegetação x Uso e cobertura do solo

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, na sigla em inglês) é uma medida que varia de -1 a 1 e é usada para avaliar a densidade e a condição da vegetação em uma determinada área.

Na figura 2 podemos observar que há predominância de duas faixas, sendo elas, a de 0 a 0,33 e a de 0,33 a 0,66 e pontualmente -1 a 0, que geralmente indicam a ausência de vegetação ou a presença de objetos não vegetativos. Isso pode incluir áreas de água, rochas, areia ou solo descoberto.

Os valores de NDVI na faixa de 0 a 0,33 geralmente indicam áreas com

menor o valor do NDVI (POLONIO, 2015; PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Uso e Cobertura do Solo

cobertura e uso da terra para cada ano. Enquanto os dados de carbono foram criados utilizando dados do Repositório SoilData juntamente com dezenas de covariáveis ambientais que representam os fatores de formação e vetores de transformação do solo.

vegetação esparsa ou moderada. Isso pode incluir áreas com arbustos e prados.

Já os valores de NDVI na faixa de 0,33 a 0,66 geralmente indicam vegetação moderada a densa. Isso pode incluir áreas com arbustos, prados e florestas temperadas.

Outro aspecto observado é quanto ao uso e cobertura do solo, onde há presença massiva de Áreas Urbanas, Formação Florestal e Pasto, corroborando com as informações geradas pelo NDVI, é possível identificar que além das áreas de mangue e unidades de conservação a ilha como todo tem pouca disponibilidade de áreas de adensamento florestal, ainda mais quando

focamos em áreas urbanas, bairros quase sempre pouco ou nada arborizados.

A gestão de carbono em uma cidade está intimamente ligada à quantidade e qualidade da vegetação urbana. As árvores e a vegetação desempenham um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, pois absorvem dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases de efeito estufa, através do processo de fotossíntese.

Se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na ilha está predominantemente nas faixas de 0 a 0,33 e 0,33 a 0,66, isso sugere que a mesma tem uma quantidade moderada a alta de vegetação. Isso normalmente pode indicar que está sequestrando uma quantidade significativa de carbono, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

No entanto, a gestão eficaz de carbono não depende apenas da quantidade de vegetação em si, mas da qualidade e capacidade de sequestro das espécies existentes, o que no caso da ilha se apresenta deficitário ao constataremos uma vegetação de arbustiva à herbácea, além da saúde e diversidade da vegetação, bem como de outras práticas de gestão de carbono, como a eficiência energética, o transporte sustentável e a gestão de resíduos.

Portanto, embora um NDVI moderado a alto possa ser um bom indicador da capacidade de sequestro de carbono de uma cidade, é importante que a cidade também implemente outras estratégias de gestão de carbono para maximizar a redução das emissões de gases de efeito estufa, como um bom plano de arborização de áreas urbanas com espécies adequadas por exemplo.

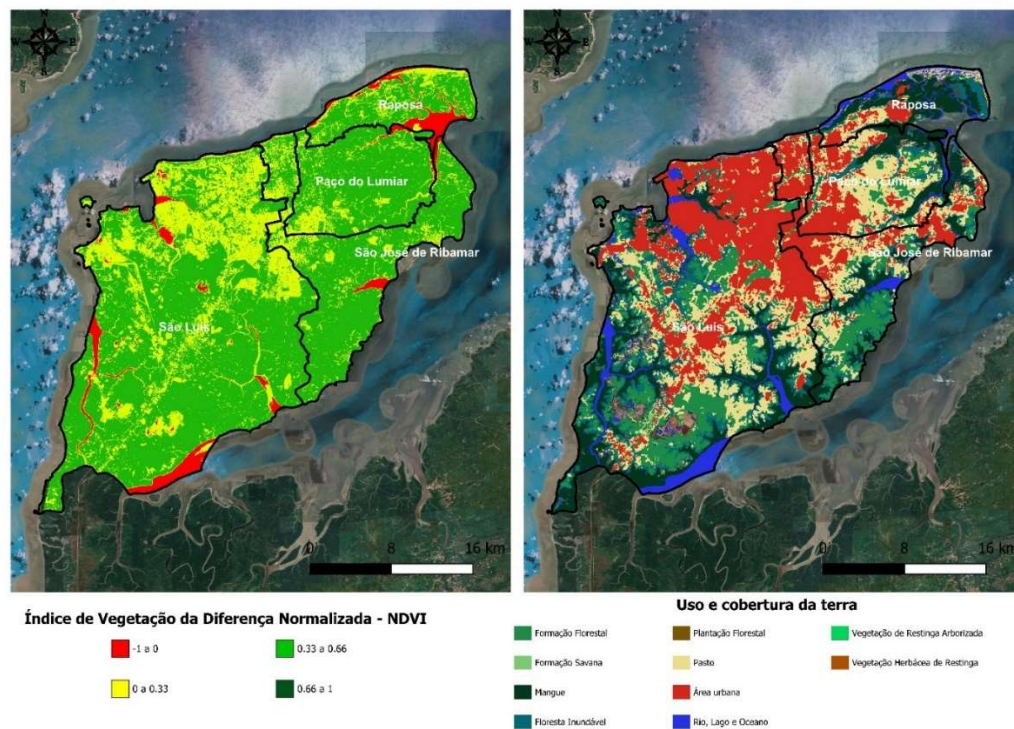


Fig. 2 Mapas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada NDVI e Uso e Cobertura da Terra - Mapbiomas
Fonte: Autor.

Área desflorestada

Quando comparamos as médias de área desflorestada por município em função do tipo de vegetação, foi detectado um efeito de interação estatisticamente significativo ($F(3, 280) = 6,0595$; $p = 0,00052$) (Figura 3). Ou seja, tanto o tipo de vegetação (se florestal ou não-florestal) quanto o município interferem simultaneamente na diferença de área

desflorestada, sendo as maiores médias encontradas em vegetação florestal no município de São Luís ($4,14 \pm 3,70 \text{ km}^2$) (Tabela 1). Também podemos observar na figura abaixo que não há diferenças significativas entre as médias de desflorestamento dentro da vegetação não florestal em comparação aos municípios.

Fig. 3 Comparação entre as médias de área desflorestada (km²) em relação aos municípios considerando as vegetações florestal e não-florestal por ANOVA fatorial.

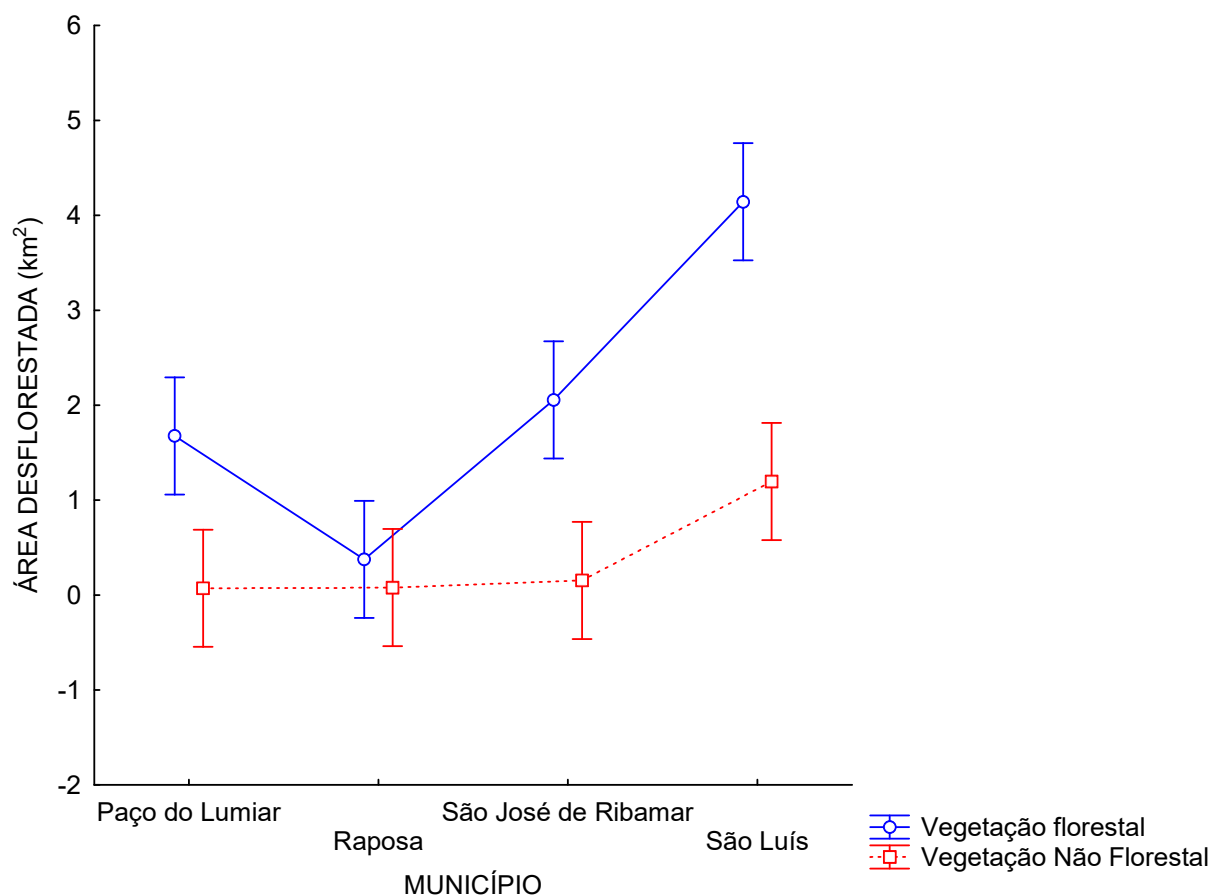


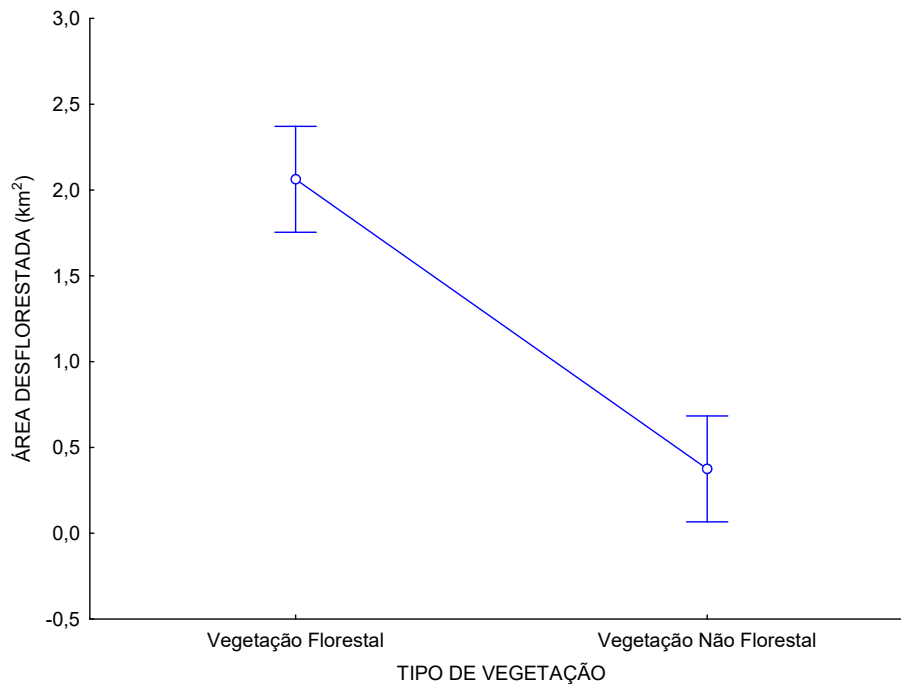
Tabela 1. Médias de áreas desflorestadas por município e tipo de vegetação

Município	Tipo de vegetação (km2)		
	Florestal	Não florestal	Geral
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
Paço do Lumiar	1,68 ± 2,16	0,07 ± 0,14	0,87 ± 1,72
Raposa	0,38 ± 0,60	0,08 ± 0,11	0,23 ± 0,43
São José de Ribamar	2,06 ± 2,64	0,15 ± 0,28	1,11 ± 2,10
São Luís	4,14 ± 3,70	1,20 ± 1,59	2,67 ± 3,19
Geral	2,06 ± 3,19	0,38 ± 0,94	-

Tratando-se particularmente do tipo de vegetação, observa-se que há maior média de desflorestamento em vegetação

florestal ($F(1, 280) = 57,965$; $p = 0,00000$) ($2,06 \pm 3,19 \text{ km}^2$) (Figura 4).

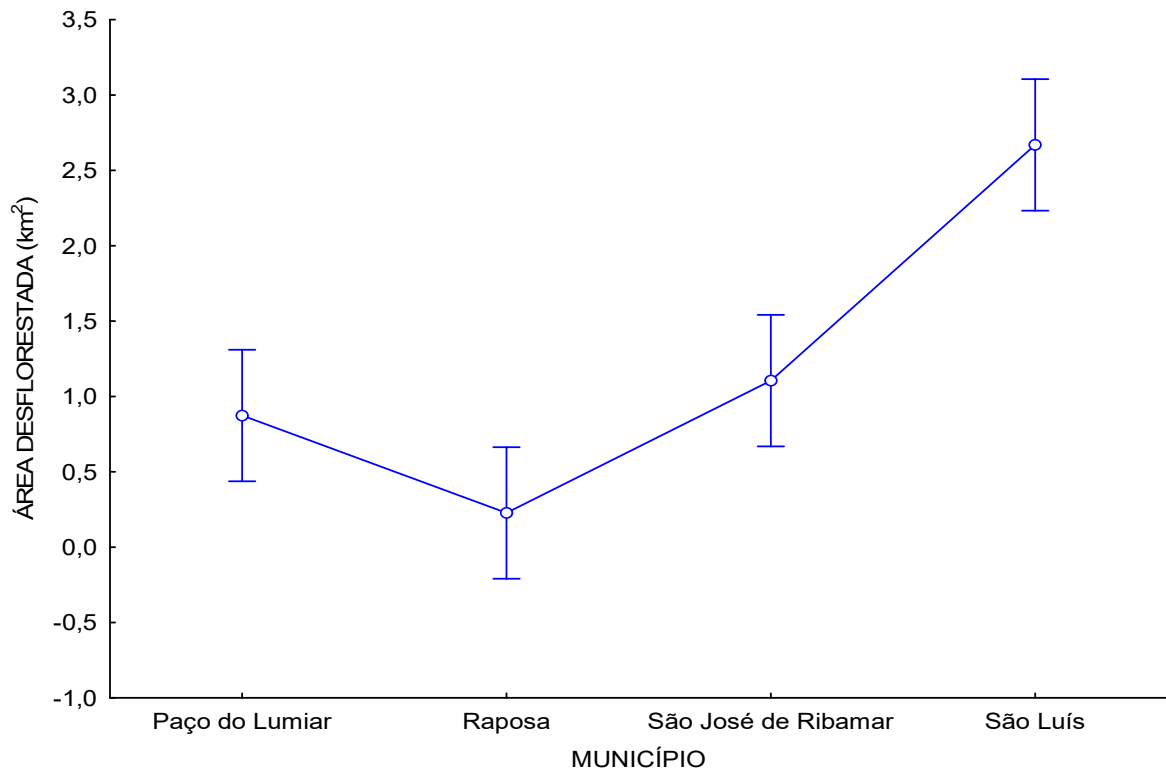
Fig. 4. Comparação entre as médias de desflorestamento (km^2) em relação aos tipos de vegetação.



Por sua vez, a figura 5 indica que o município de São Luís apresenta maior média de área desflorestada em comparação aos demais municípios da grande ilha (média de $2,67 \pm 3,19 \text{ km}^2$) ($F(3, 280) =$

$21,842$; $p = 0,00000$). Apesar da segunda maior média ser representada por São José de Ribamar ($0,87 \pm 1,72 \text{ km}^2$), não foi possível a separação estatística das médias entre este e os demais municípios.

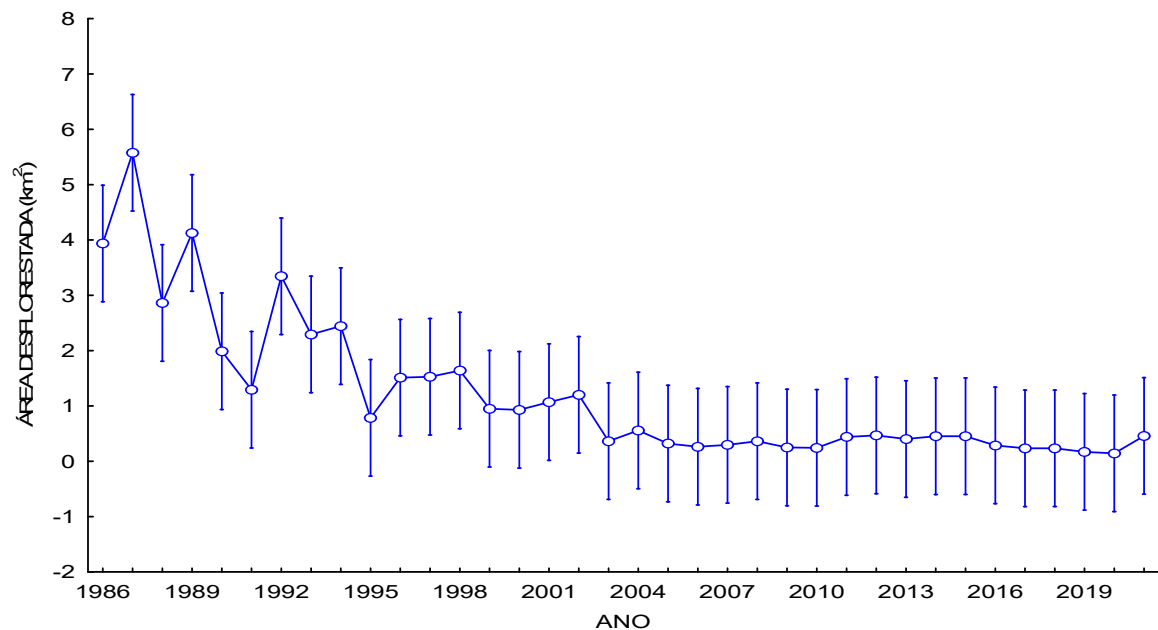
Fig. 5. Comparação entre as médias de desflorestamento (km²) em relação aos municípios.



Na análise por ano, observa-se que o pico de área desflorestada ocorreu no ano de 1987 ($F_{(35, 248)} = 6,1033$; $p = 0,00000$)

(média de $5,58 \pm 5,42$ km²), com mínimo de 0,30 km² e máximo de 14,60 km² (Figura 6).

Fig. 6. Comparação entre as médias de desflorestamento (km²) em relação aos anos.



Concentração de CO₂

Na comparação das médias de concentração do gás carbônico, também foi detectado efeito de interação estatisticamente significativo entre os municípios e o tipo de vegetação ($F_{(3,280)} = 3,7114$; $p = 0,01207$) (Figura 7). Desta maneira, assim como para a área desflorestada, as médias de concentração de

CO₂ permanecem maiores para as regiões naturais florestais de São Luís ($0,167 \pm 0,174$ ton) (Tabela 2). O mesmo resultado verificado na análise anterior para a área desflorestada é refletido para a concentração de CO₂.

Fig. 7. Comparação entre as médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos municípios considerando as vegetações florestal e não-florestal por ANOVA fatorial.]

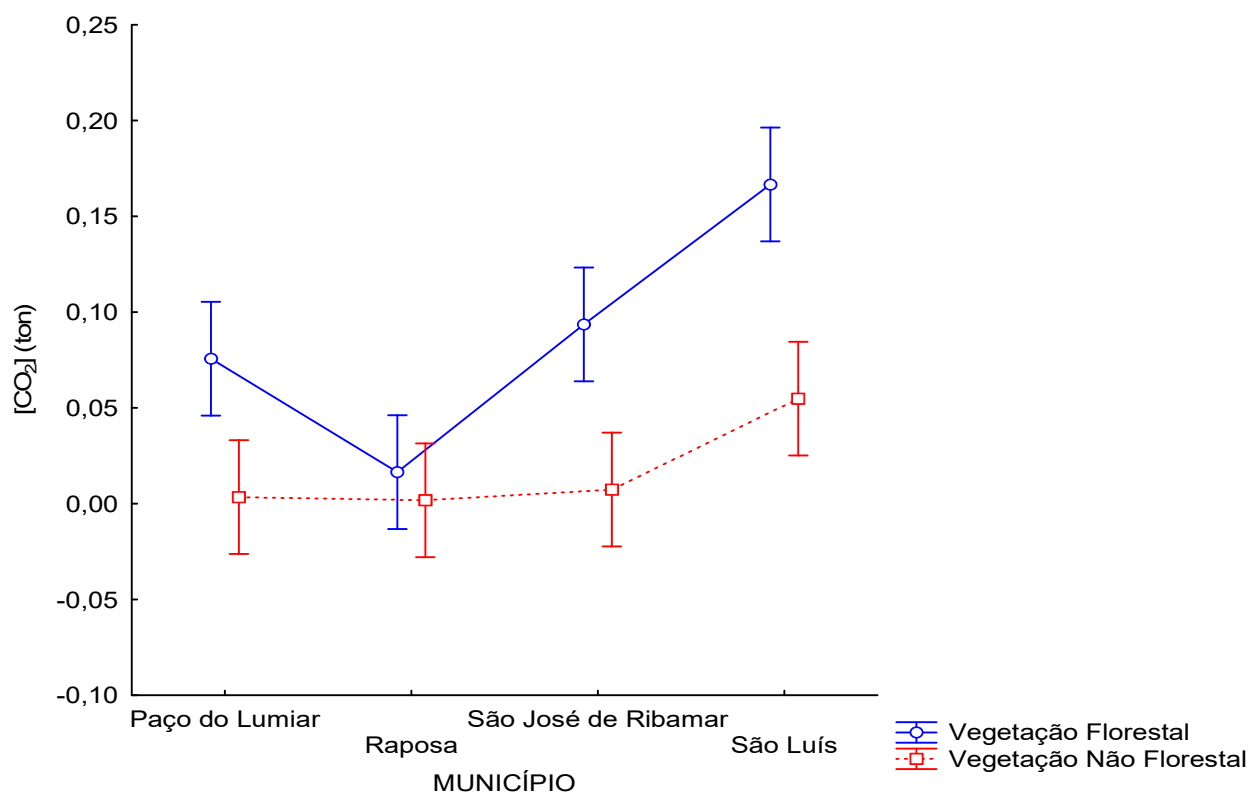


Tabela 2. Médias de concentração de CO₂ por município e tipo de vegetação.

Município	Tipo de vegetação (km ²)		Geral
	Florestal	Não florestal	
	Média ± DP	Média ± DP	
Paço do Lumiar	0,076 ± 0,101	0,003 ± 0,007	0,039 ± 0,079
Raposa	0,016 ± 0,028	0,002 ± 0,003	0,009 ± 0,021
São José de Ribamar	0,094 ± 0,129	0,007 ± 0,015	0,050 ± 0,101
São Luís	0,167 ± 0,174	0,055 ± 0,084	0,111 ± 0,147
Geral	0,088 ± 0,131	0,017 ± 0,048	-

Isoladamente, a concentração de CO₂ também apresenta maiores médias em áreas florestadas ($F_{(1, 280)} = 44,595$; $p = 0,00000$) ($0,088 \pm 0,131$ ton) (Figura 8),

assim como dentro do município de São Luís ($F_{(3, 280)} = 15,960$; $p = 0,00000$) (média de $0,111 \pm 0,147$ ton) (Figura 9).

Fig. 8. Comparação entre as médias de concentração de CO₂ (ton) em relação às vegetações florestal e não-florestal.

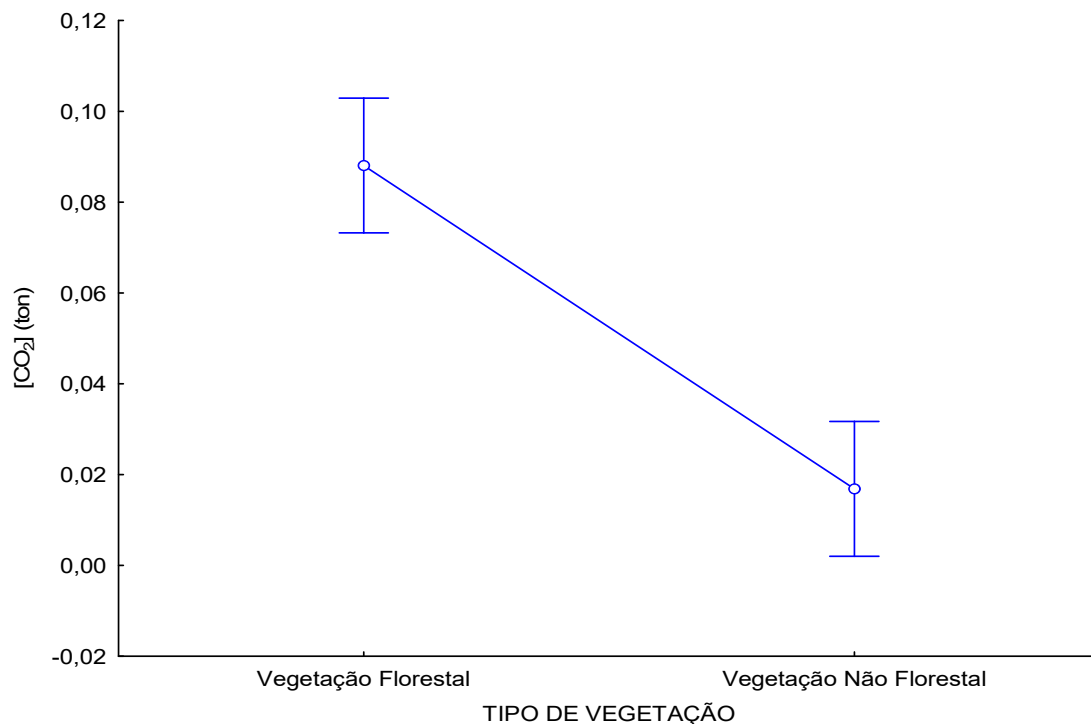
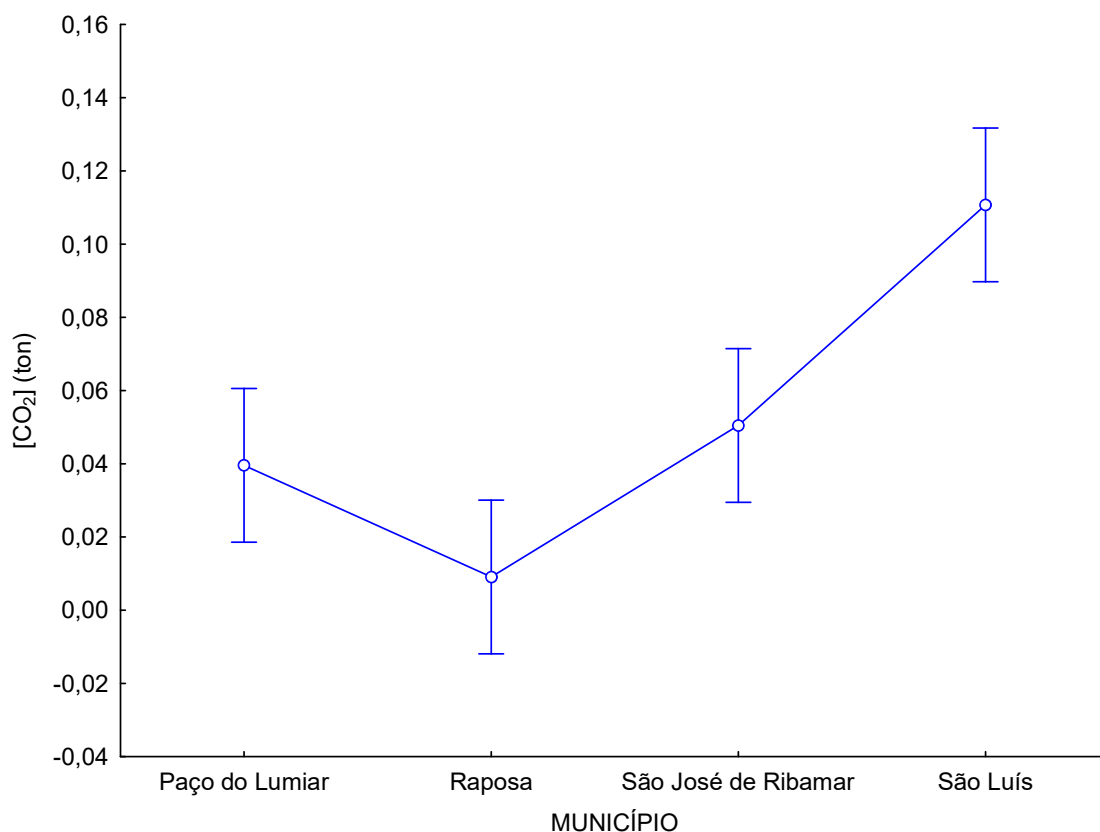
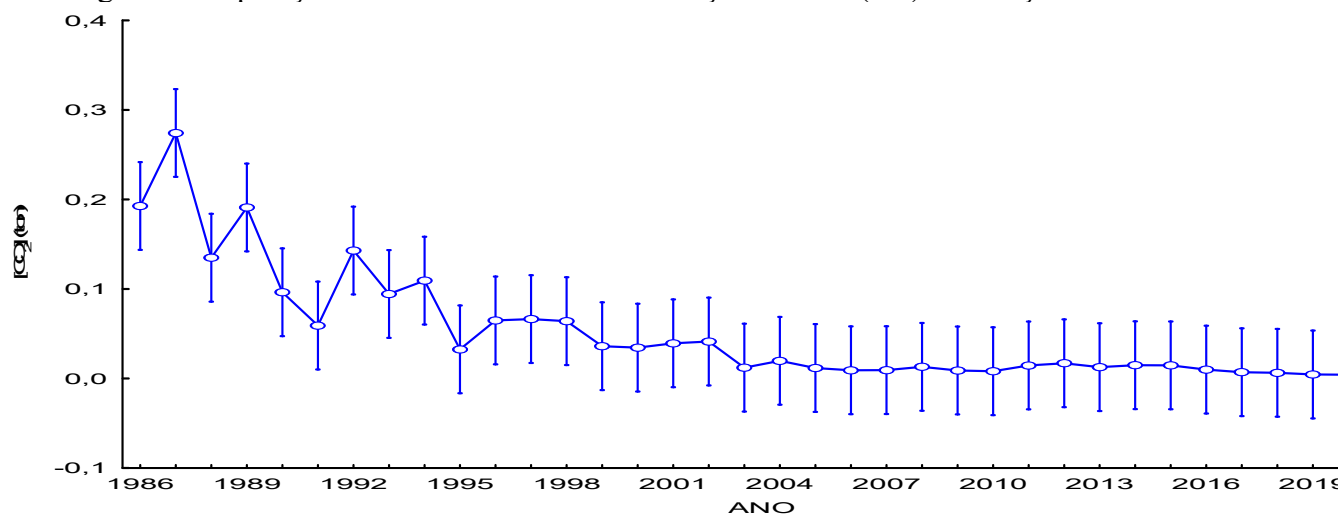


Fig. 9. Comparação entre as médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos municípios



Em relação ao ano, a maior média de concentração de CO₂ se deu também em 1987 ($F_{(35, 248)} = 6,6539$; $p = 0,00000$) (média de $0,274 \pm 0,264$ ton), com mínimo de 0,01 ton e máximo de 0,676 ton (Figura 10).

Fig. 10. Comparação entre as médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos anos.

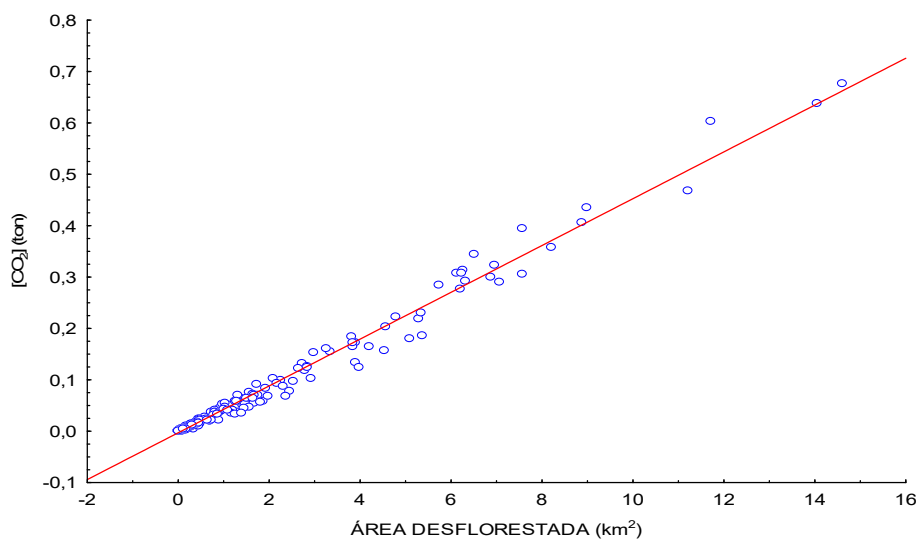


Área desflorestada x Concentração de CO₂

Pela técnica de correlação, pode-se observar uma correlação positiva altamente significativa entre a área desflorestada e a concentração de gás carbônico ($r^2 = 0,9857$;

$r = 0,9928$; $p = 0,0000$). Desta maneira, quanto maior a área desflorestada, maior será a concentração deste gás (Figura 11).

Fig. 11. Correlação entre os valores de áreas desflorestadas e as concentrações de CO₂



Por se tratar da maior cidade da ilha e a mais urbanizada e eutrofizada também, São Luís apresenta as taxas mais preocupantes de perda de cobertura vegetal tanto para ambientes florestais quanto para

não florestais, assim como consequente maior nível de emissões nos períodos de pico em comparação aos demais municípios que compõem a ilha.

Marco temporal das leis ambientais

Quando observamos de forma geral, sem considerar os marcos temporais, o pico de área desflorestada ocorreu no ano de

1987, com mínimo de 0,30 km² e máximo de 14,60 km² (Figura 12 e Tabela 3).

Fig. 12. Médias de desflorestamento (km²) em relação aos anos.

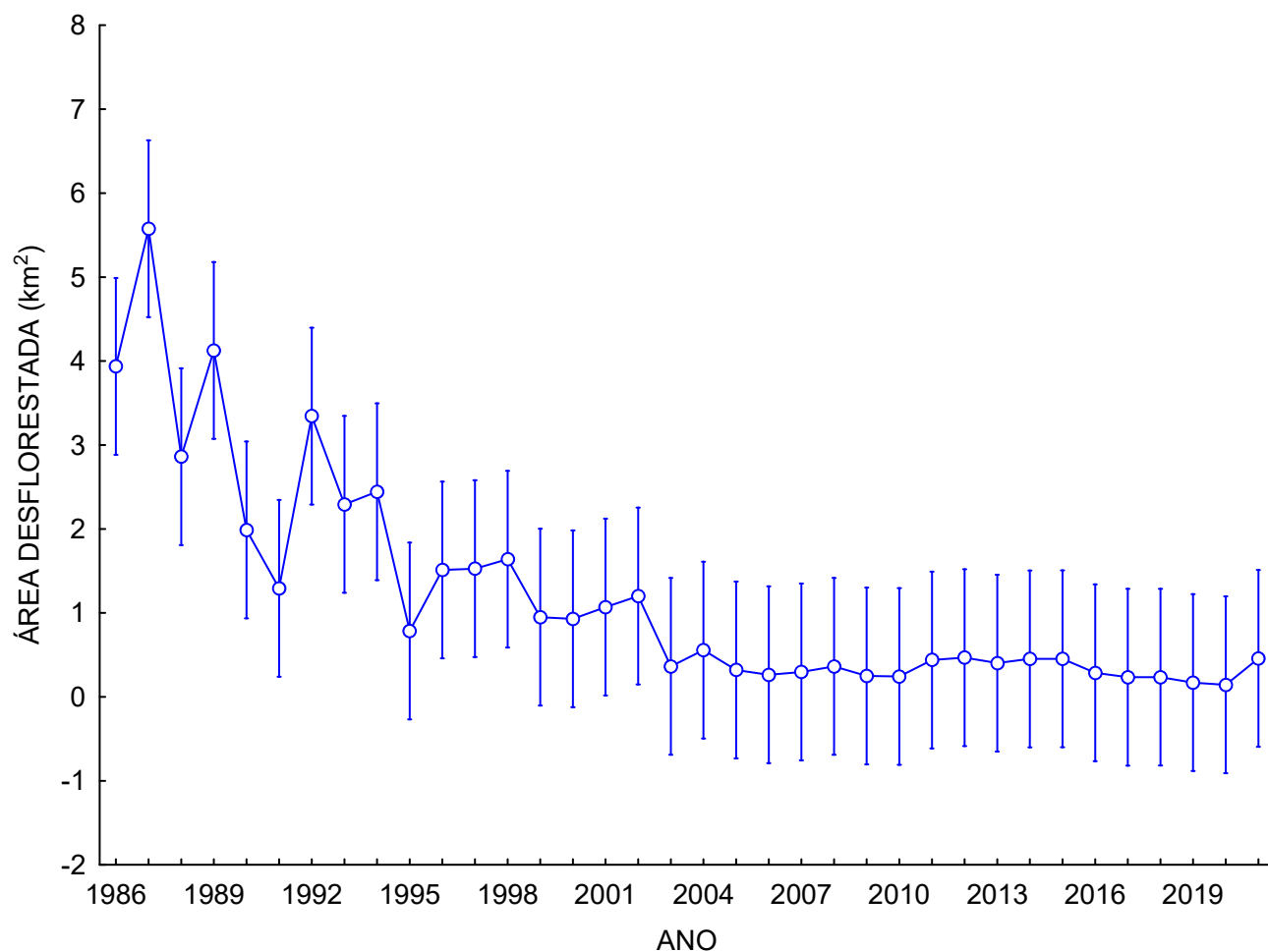


Tabela 3. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por ano.

Ano	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1986	3,94	3,47	0,43	9,00
1987	5,58	5,42	0,30	14,60
1988	2,86	3,18	0,07	8,89
1989	4,13	4,82	0,12	14,06
1990	1,99	2,25	0,05	6,33
1991	1,29	1,45	0,02	3,85
1992	3,34	4,25	0,07	11,22
1993	2,29	2,70	0,06	7,56
1994	2,44	3,05	0,07	8,22
1995	0,79	0,92	0,02	2,53
1996	1,51	1,99	0,03	5,30
1997	1,53	1,87	0,03	5,33
1998	1,64	1,93	0,04	5,38
1999	0,95	1,31	0,03	3,91
2000	0,93	1,35	0,03	3,99
2001	1,07	1,73	0,03	5,09

2002	1,20	1,56	0,09	4,54
2003	0,36	0,63	0,01	1,86
2004	0,56	0,98	0,004	2,92
2005	0,32	0,50	0,01	1,49
2006	0,26	0,41	0,01	1,22
2007	0,30	0,44	0,01	1,31
2008	0,36	0,56	0,01	1,68
2009	0,25	0,41	0,01	1,19
2010	0,24	0,40	0,01	1,17
2011	0,44	0,66	0,03	1,83
2012	0,47	0,68	0,02	1,99
2013	0,40	0,52	0,03	1,55
2014	0,45	0,82	0,02	2,44
2015	0,45	0,79	0,01	2,36
2016	0,29	0,48	0,02	1,44
2017	0,23	0,43	0,004	1,27
2018	0,24	0,48	0,002	1,39
2019	0,17	0,30	0,01	0,89
2020	0,14	0,23	0,004	0,70
2021	0,46	0,20	0,05	0,71

O mesmo comportamento ocorre para a concentração de CO₂ em 1987 (média de $0,274 \pm 0,264$ ton), com mínimo de 0,01

ton e máximo de 0,676 ton (Figura 13 e Tabela 4).

Fig. 13. Médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos anos.

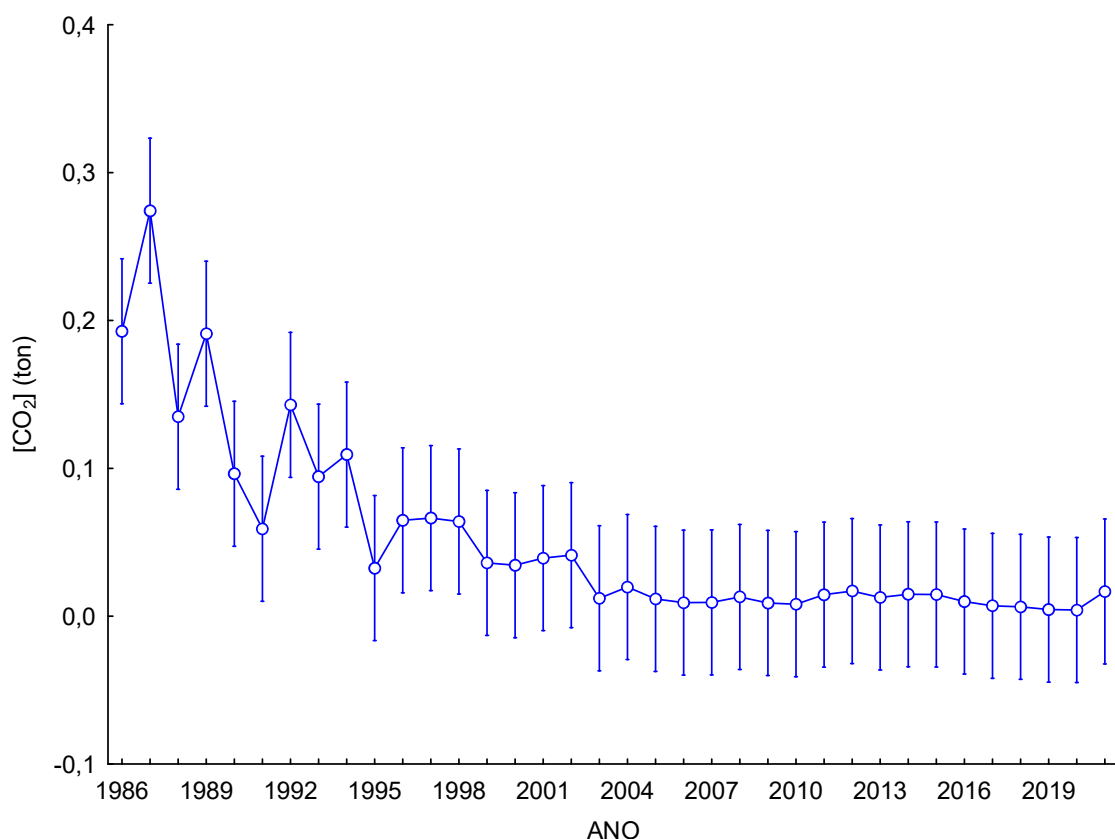


Tabela 4. Valores de média, mínimo e máximo de concentração de CO₂ por ano.

Ano	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1986	0,193	0,171	0,010	0,436
1987	0,274	0,264	0,010	0,676
1988	0,135	0,150	0,003	0,405
1989	0,191	0,219	0,002	0,639
1990	0,096	0,106	0,001	0,293
1991	0,059	0,066	0,0004	0,173
1992	0,143	0,177	0,002	0,468
1993	0,094	0,110	0,002	0,305
1994	0,109	0,135	0,002	0,358
1995	0,033	0,037	0,001	0,097
1996	0,065	0,084	0,002	0,220
1997	0,066	0,081	0,001	0,231
1998	0,064	0,071	0,001	0,186
1999	0,036	0,045	0,002	0,134
2000	0,035	0,044	0,001	0,124
2001	0,039	0,062	0,001	0,180
2002	0,041	0,055	0,002	0,157
2003	0,012	0,020	0,000	0,059
2004	0,020	0,035	0,001	0,103
2005	0,012	0,018	0,000	0,052
2006	0,009	0,014	0,000	0,040

2007	0,009	0,013	0,001	0,037
2008	0,013	0,018	0,001	0,054
2009	0,009	0,014	0,000	0,041
2010	0,008	0,012	0,001	0,036
2011	0,015	0,022	0,001	0,057
2012	0,017	0,024	0,001	0,069
2013	0,013	0,016	0,0002	0,048
2014	0,015	0,026	0,0003	0,078
2015	0,015	0,023	0,0001	0,069
2016	0,010	0,015	0,001	0,045
2017	0,007	0,011	0,000	0,033
2018	0,006	0,012	0,000	0,036
2019	0,005	0,007	0,000	0,022
2020	0,004	0,007	0,000	0,002
2021	0,017	0,008	0,001	0,024

Considerou-se como marcos temporais os períodos de surgimento de cada uma das leis ambientais relacionadas ao carbono, tanto de caráter internacional, quanto nacional desde o ano de 1986 até 2021. Assim, pode-se classificar estes marcos da seguinte forma:

Tabela 5. Marcos temporais das leis ambientais de caráter internacional no período de 1986 até 2021.

Marco legal internacional (1986 – 2021)	Período
Ausente	1986 - 1991
Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC)	1992 - 1996
Protocolo de Kyoto	1997 - 2014
Acordo de Paris	2015 - 2020
Mecanismo de Ajuste de Fronteira de Carbono (MAFC)	2021

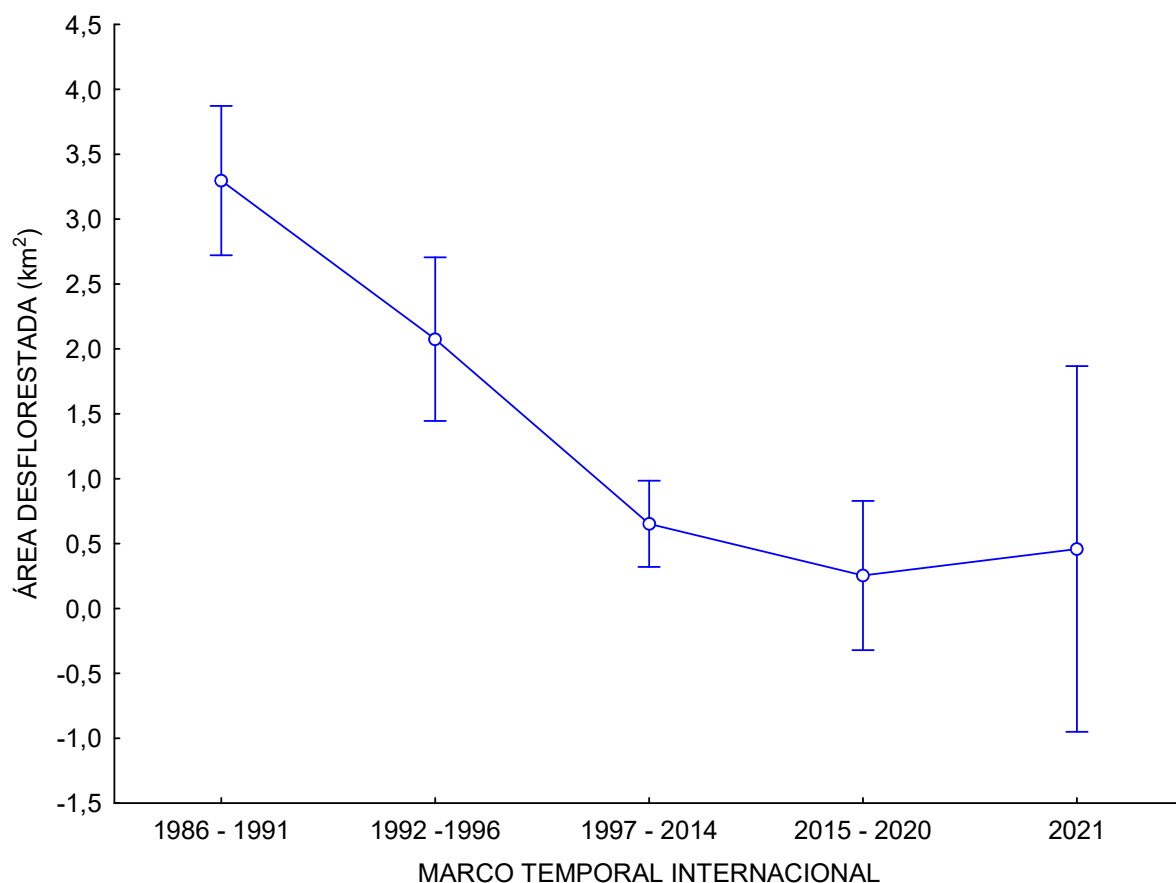
Tabela 6. Marcos temporais das leis ambientais de caráter nacional no período de 1986 até 2021.

Marco legal nacional (1986 – 2021)	Período
Ausente	1986 - 2008
Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)	2009 - 2015
Política Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA)	2016 - 2020
Projeto de Lei nº 528/2021	2021

Ao inserirmos os marcos temporais nas análises, há diferença estatisticamente significativa entre as médias de áreas de

desflorestamento ($F_{(4, 283)} = 20,266$; $p = 0,00000$) em relação aos marcos internacionais (Figura 14).

Fig. 14. Marcos temporais das leis ambientais de caráter nacional no período de 1986 até 2021.



A análise de Tukey mostrou que a maior média de desflorestamento ocorreu no período de 1986 – 1991 (média de 3,30

$\pm 3,78 \text{ km}^2$), com máximo de $14,60 \text{ km}^2$ e mínimo de $0,02 \text{ km}^2$ ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por marco temporal internacional

Período	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1986 - 1991	3,30	3,78	0,02	14,60
1992 - 1996	2,08	2,80	0,02	11,22
1997 - 2014	0,65	1,10	0,004	5,38
2015 - 2020	0,25	0,47	0,002	2,36
2021	0,46	0,20	0,05	0,71

O mesmo padrão também é observado para a concentração de CO₂ ($F_{(4, 283)} = 24,603$; $p = 0,00000$) para a legislação internacional (Figura 15). Onde no período

de 1986 – 1991 foi observado o maior pico, com média de $0,158 \pm 0,181$ ton, e variação de 0,001 a 0,676 ton ($p < 0,05$) (Tabela 13).

Fig. 15. Médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos marcos temporais internacionais.

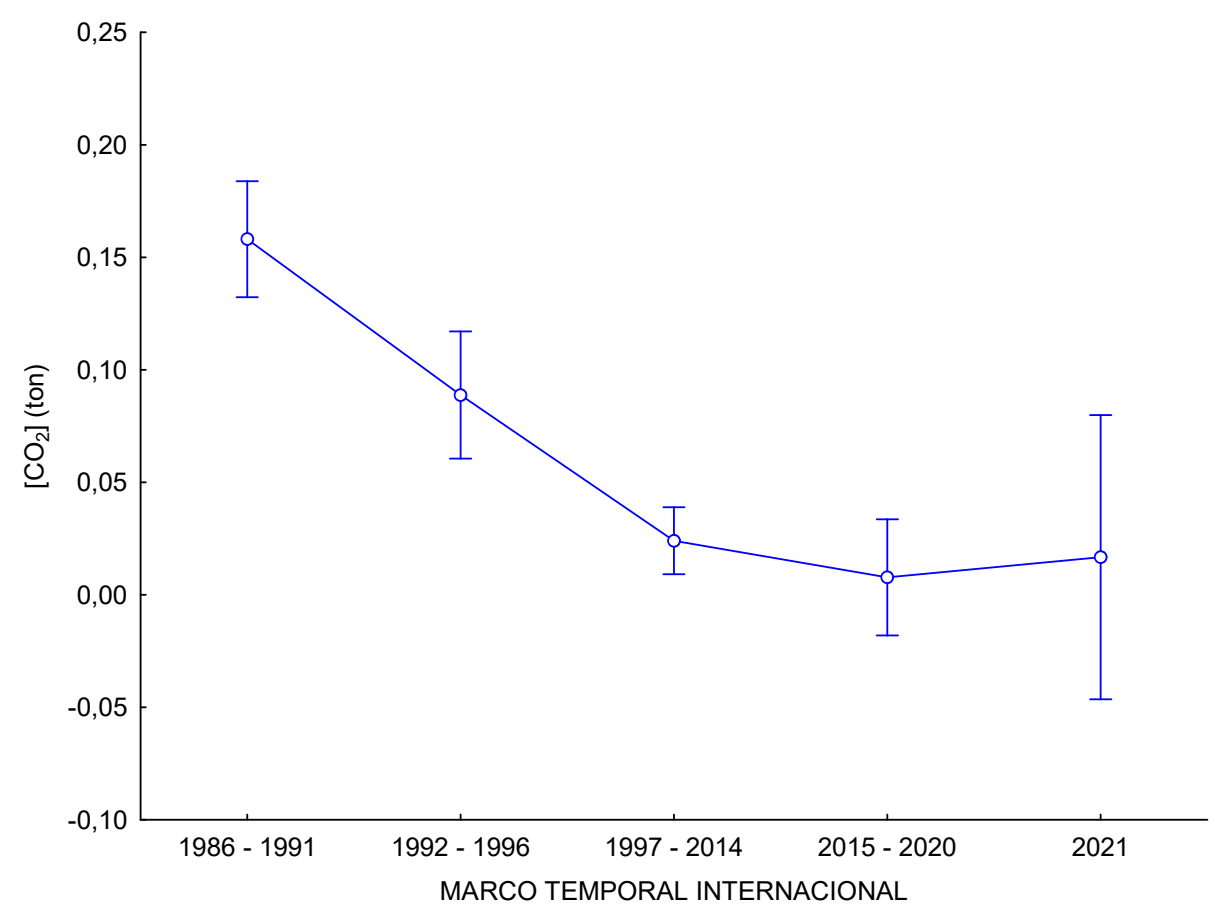


Tabela 8. Valores de média, mínimo e máximo da concentração de CO₂ por marco temporal internacional.

Período	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1986 - 1991	0,158	0,181	0,001	0,676
1992 - 1996	0,089	0,119	0,001	0,468
1997 - 2014	0,024	0,041	0,000	0,231
2015 - 2020	0,008	0,013	0,000	0,069
2021	0,017	0,008	0,001	0,024

Este período de pico corresponde ao período de ausência de legislação vigente, ratificando o maior pico no ano de 1987

descrito nas médias gerais de desflorestamento e concentração de gás carbônico entre os anos pesquisados.

Para o padrão nacional, também se observa diferença estatisticamente significativa entre os períodos avaliados (F

$(3, 284) = 9,0846$; $p = 0,00001$) nas médias de área desflorestada (Figura 16).

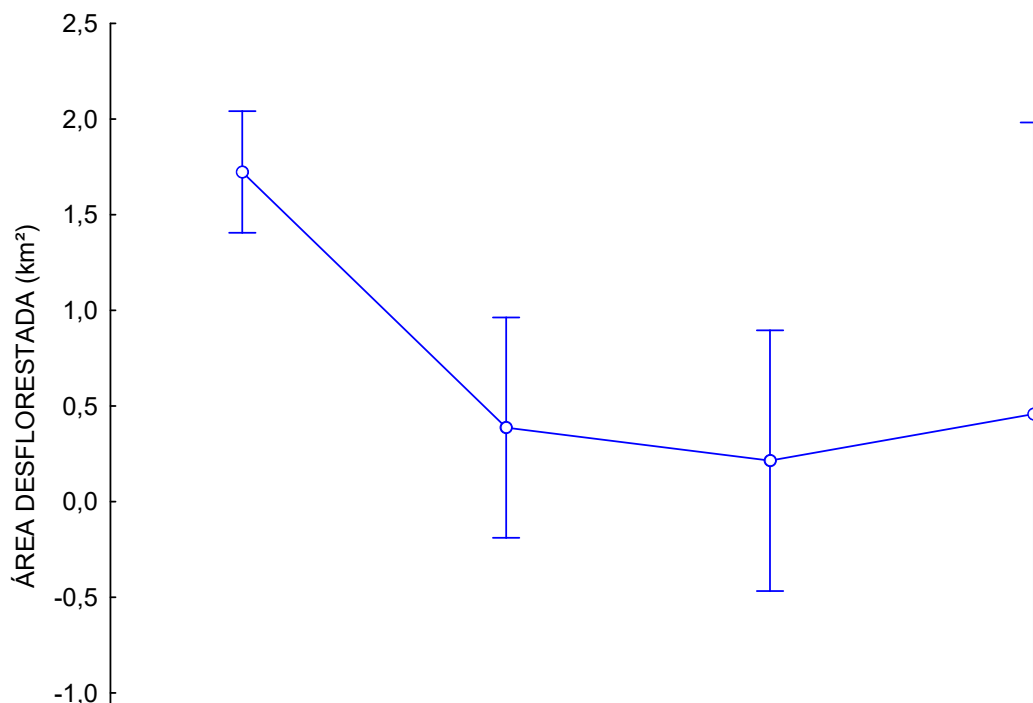


Figura 16: Comparação entre as médias de desflorestamento (km²) em relação aos marcos temporais nacionais.

MARCO TEMPORAL NACIONAL

O teste de Tukey nos revela que o período de 1986 – 2008 não apresentou diferenças nas médias de áreas desflorestadas em relação a 2021 ($p =$

$0,3785$); sendo sua média superior aos períodos de 2009 – 2015 e 2016 – 2020 ($p < 0,050$) (Tabela 9).

Tabela 9: Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por marco temporal nacional.

Período	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1986 - 2008	1,72	2,70	0,00	14,60
2009 - 2015	0,39	0,60	0,01	2,44
2016 - 2020	0,21	0,38	0,00	1,44
2021	0,46	0,20	0,05	0,71

Considerando a concentração de CO₂, há diferenças significativas para suas

médias em relação aos marcos temporais (F $(3, 284) = 9,4372$; $p = 0,00001$) (Figura 17).

Onde a análise de Tukey demonstra que o período de 1986 – 2008 não se difere do ano de 2021 ($p = 0,3578$). O mesmo

comportamento de médias para a área desflorestada é verificado na concentração de gás carbônico (Tabela 10).

Fig. 17. Médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos marcos temporais nacionais

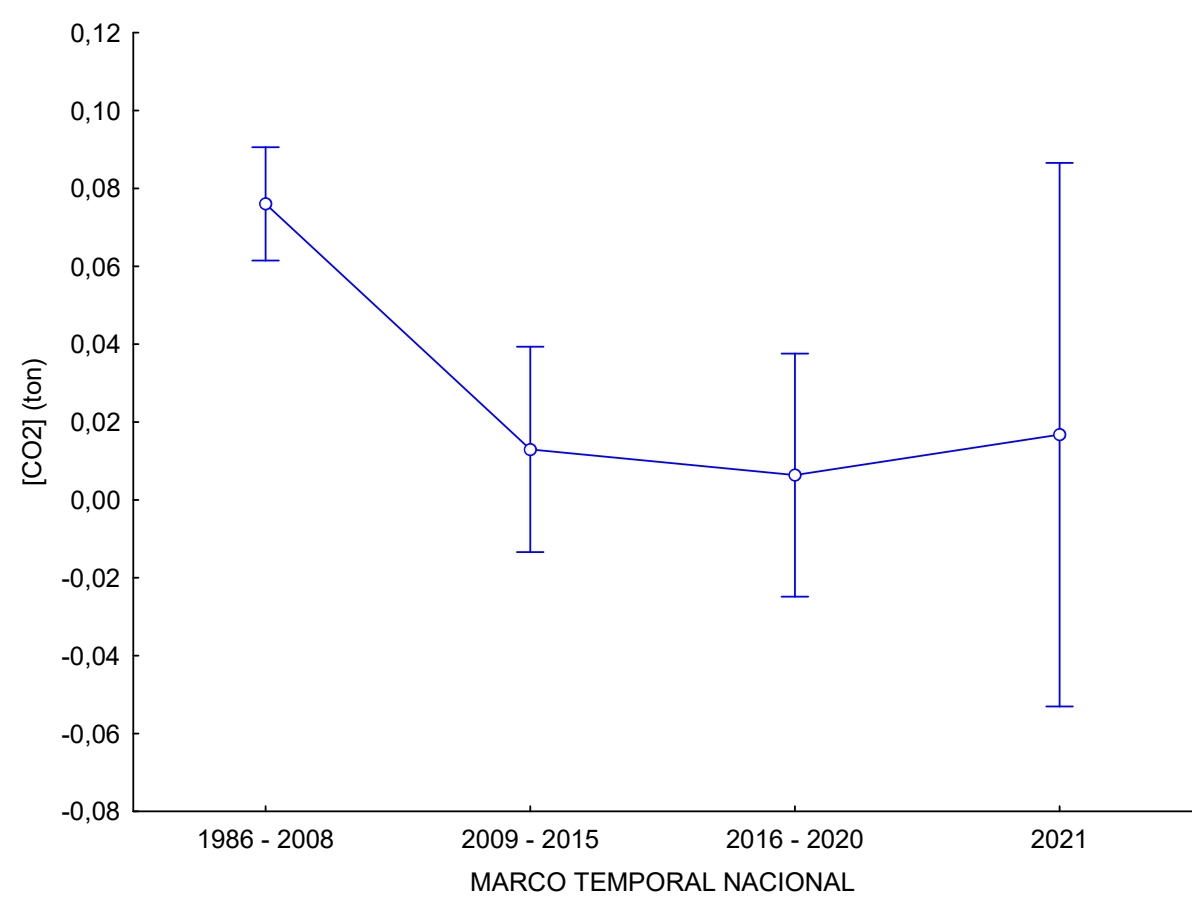


Tabela 10: Valores de média, mínimo e máximo da concentração de CO₂ por marco temporal nacional.

Período	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1986 - 2008	0,761	0,124	0,000	0,676
2009 - 2015	0,013	0,019	0,000	0,078
2016 - 2020	0,006	0,011	0,001	0,045
2021	0,018	0,008	0,000	0,024

Quando juntamos os padrões de legislação nacional e internacional em um mesmo marco temporal, ainda observamos diferenças estatísticas nas médias de área

desflorestada ($F_{(6, 281)} = 13,722$; $p = 0,0000$) (Figura 18), com o pico no período de ausência de legislação (Tabela 10). O teste de Tukey informa que para o último

ano analisado, só se observam diferenças significativas entre as médias deste ano em relação ao ano de ausência de leis na temática ($p = 0,005$).

Fig. 18. Comparação entre as médias de desflorestamento (km2) em relação aos marcos temporais internacionais e nacionais combinados

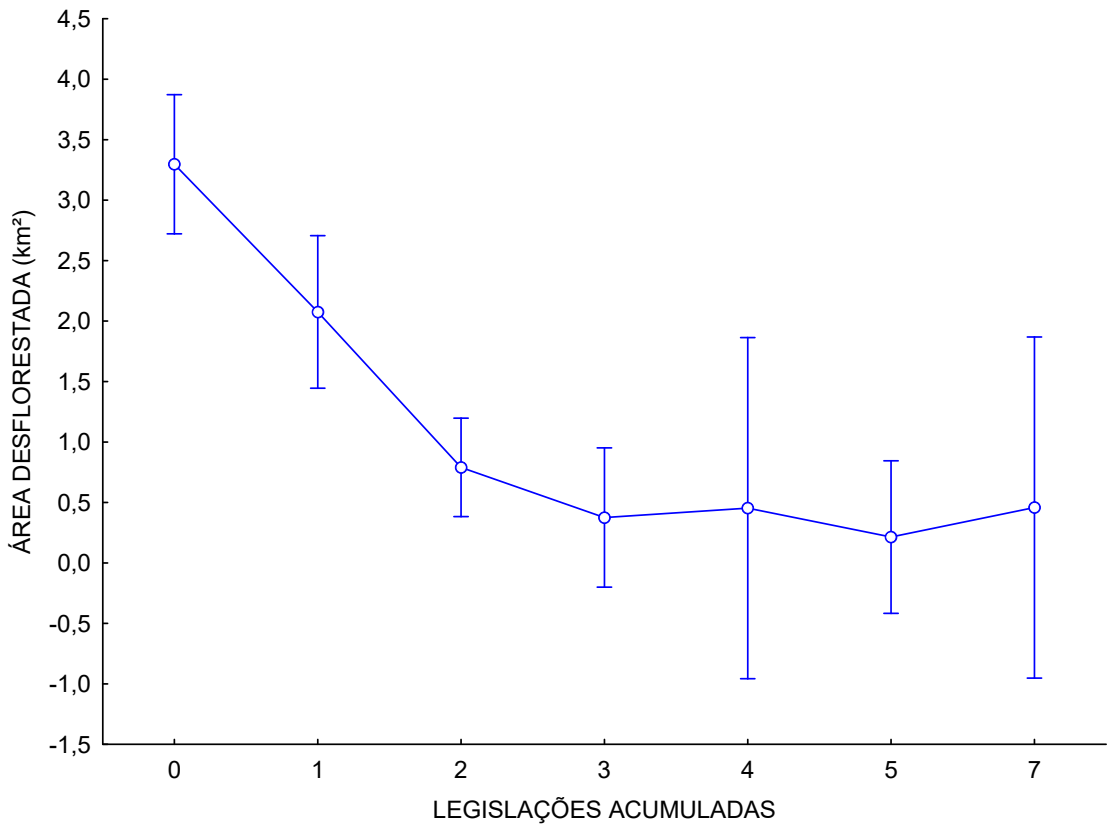


Tabela 11. Valores de média, mínimo e máximo das áreas desflorestadas por marco temporal internacional e nacional combinados.

Período	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
0	3,30	3,78	0,02	14,60
1	2,08	2,80	0,02	11,22
2	0,79	1,26	0,00	5,38
3	0,38	0,57	0,01	2,44
4	0,45	0,79	0,01	2,36
5	0,21	0,38	0,00	1,44
7	0,46	0,20	0,05	0,71

Na mesma comparação da concentração de CO₂, também são encontradas diferenças de médias entre os períodos ($F(6, 281) = 16,551$; $p = 0,0000$), com a maior concentração no marco inicial (Figura 19), confirmada pelo teste de Tukey (Tabela 12).

Fig. 19. Médias de concentração de CO₂ (ton) em relação aos marcos temporais internacionais e nacionais combinados.

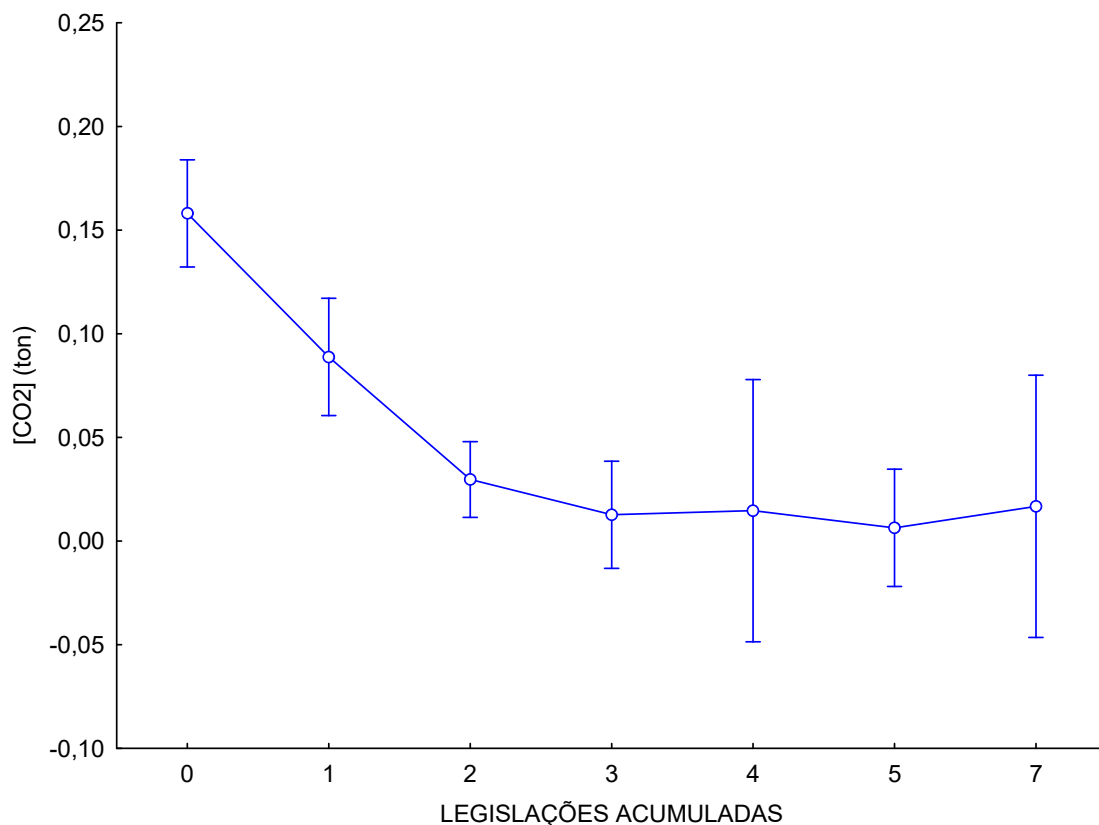


Tabela 9. Valores de média, mínimo e máximo concentração de CO₂ por marco temporal internacional e nacional combinados.

Período	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
0	0,158	0,181	0,000	0,676
1	0,089	0,119	0,001	0,468
2	0,030	0,047	0,000	0,231
3	0,013	0,019	0,000	0,078
4	0,015	0,023	0,000	0,069
5	0,006	0,011	0,001	0,045
7	0,018	0,008	0,000	0,024

Conclusão

A análise dos dados revelou uma correlação positiva significativa entre a área desflorestada e a concentração de CO₂ na Ilha do Maranhão. São Luís, a maior e mais

urbanizada cidade da ilha, apresenta as taxas mais preocupantes de perda de cobertura vegetal e consequentemente maior nível de emissões de CO₂.

A implementação de leis ambientais, tanto em nível nacional quanto internacional, parece ter um impacto nas taxas de desflorestamento e nas concentrações de CO₂. No entanto, ainda há espaço para melhorias na eficácia dessas leis. As análises também revelam diferenças significativas no desflorestamento e na concentração de CO₂ entre áreas de vegetação florestal e não florestal.

O teste de Tukey revelou que não houve diferenças significativas nas médias de áreas desflorestadas entre o período de 1986 – 2008 e 2021, embora as médias sejam superiores aos períodos de 2009 – 2015 e 2016 – 2020. A concentração de CO₂ apresenta diferenças significativas em relação aos marcos temporais, com o período de 1986 – 2008 não diferindo do ano de 2021.

Essas descobertas destacam a complexa interação entre desflorestamento, concentração de CO₂ e legislação ambiental. Portanto, é crucial que a cidade implemente estratégias de gestão de carbono para maximizar a redução das emissões de gases de efeito estufa.

é importante ressaltar que as florestas nativas geram uma série de benefícios externos relacionados à biodiversidade e aos serviços ambientais que não são encontrados em florestas plantadas.

A implementação de um planejamento de arborização como política pública para compensar a emissão de gases de efeito estufa na cidade de São Luís - MA é crucial para mitigar os impactos ambientais causados pela rápida urbanização. Através do plantio estratégico de árvores, é possível diminuir significativamente a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, o principal gás responsável pelo aquecimento global. Além disso, o planejamento da arborização ajuda a melhorar a qualidade do ar, pois as árvores atuam como filtros naturais, retendo partículas poluentes presentes no ar.

Os benefícios ambientais do planejamento da arborização são diversos e devem ser levados em consideração na formulação de políticas públicas voltadas para o ambiente urbano. A redução do calor urbano é um desses benefícios, pois as árvores fornecem sombra e diminuem a temperatura das áreas urbanas. Isso é especialmente relevante em cidades tropicais como São Luís - MA, onde as altas temperaturas são comuns. Além disso, a presença de áreas verdes contribui para a conservação da biodiversidade local, fornecendo habitat e alimento para várias espécies de plantas e animais.

No entanto, a implementação do planejamento da arborização como política

pública enfrenta desafios significativos. Um dos principais obstáculos é a falta de recursos financeiros destinados à execução dos projetos de plantio e manutenção das árvores. Além disso, muitas vezes há uma falta de conscientização da população sobre a importância da arborização e dos benefícios que ela traz para a qualidade de vida urbana. Para superar esses desafios, é essencial estabelecer parcerias entre diferentes setores, como o poder público, empresas privadas e organizações não governamentais, visando a captação de recursos e a promoção de campanhas de conscientização.

Para promover a participação da comunidade no planejamento da arborização, é necessário adotar estratégias eficazes. Campanhas de educação ambiental são uma opção viável, pois informam e sensibilizam a população sobre os benefícios da arborização e incentivam o engajamento ativo no plantio e cuidado das árvores. Além disso, incentivos fiscais para o plantio de árvores em propriedades privadas podem estimular os cidadãos a contribuírem para a expansão da cobertura vegetal urbana. Programas de voluntariado também são uma alternativa interessante, permitindo que os moradores se envolvam diretamente nas atividades relacionadas à arborização.

Ao definir as áreas prioritárias para o plantio de árvores em São Luís - MA, é importante levar em consideração critérios como densidade populacional, índice de áreas verdes por habitante e níveis de poluição atmosférica. Locais com maior concentração populacional e menor quantidade de áreas verdes devem ser priorizados, visando proporcionar um ambiente mais saudável e equilibrado para seus habitantes. Além disso, áreas com altos índices de poluição atmosférica devem receber atenção especial, uma vez que as árvores têm a capacidade de absorver poluentes e melhorar a qualidade do ar.

Referencias

Assumpção, M. P., Tavares, P. A., & Coutinho, E. C. (2019). Balanço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém, Brasil. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, e20180186. [https://doi.org/10.1590/2175-](https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180186)

3369.011.e20180186

Beninde, J.; Veith, M.; Hochkirch, A. Biodiversity in cities needs space: A meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, v. 18, n. 6, p. 581-592, 2015.

- Brasil. Plano nacional sobre mudança do clima. Comitê Interministerial Sobre Mudança do Clima, 2008. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf. Acesso em: 27.01.2024
- Bulkeley, H. E Newell, P. (2010). *Governing climate change*. Londres e Nova York, Routledge (Global Institutions Series).
- Coutts C, Hahn M. Green Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2015; 12(8):9768-9798. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809768>
- FARIAS, Gloria Barbosa de Lima et al. Cidades, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: um estudo na Região Metropolitana de Belém. 2012. Acesso em 28 abr 2022.
- Ferreira, Rosimére Araújo, *Variação Sazonal e Espacial do Sequestro de Carbono e da Temperatura da Superfície Terrestre da Região de Integração do Rio Caeté, no estado do Pará, por Sensoriamento Remoto*, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019
- Guo, R., Zhao, Y., Shi, Y., Li, F., Hu, J., & Yang, H. (2017). Low carbon development and local sustainability from a carbon balance perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 270-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.019>
- H. Liu et al. Exploring zonation strategy in land management of urban agglomeration. *Ecological Indicators* 145 (2022) 109664
- Hou C, Yin F, Wang S, Zhao A, Li Y, Liu Y. *Helicobacter pylori* Biofilm-Related Drug Resistance and New Developments in Its Anti-Biofilm Agents. *Infect Drug Resist*. 2022 Apr 5;15:1561-1571. doi: 10.2147/IDR.S357473. PMID: 35411160; PMCID: PMC8994595.
- Jayasooriya, V., Ng, A., Muthukumaran, S. & Perera, B. 2017. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 34-47.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59. <http://dx.doi.org/10.1162/jie.2007.1107>.

MACHADO, Nadja Gomes; DA SILVA, Francisco Carlos Paiva; BIUDES, Marcelo Sacardi. EFFECT OF WEATHER CONDITIONS ON THE RISK OF FIRE AND THE NUMBER OF URBAN BURNINGS AND FIRES RECORDED BY REMOTE SENSING IN CUIABA-MT, BRAZIL. *Ciência e Natura*, v. 36, n. 3, p. 459, 2014.

Magalhães, Aline Souza. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa, Minas Gerais,. FACE/UFMG, 2013.

Martinez, P. H. História Ambiental no Brasil: pesquisa e ensino. São Paulo: Cortez, 2006. (Col. Questões da nossa época; v. 130).

Mngadi, Noluthando Ajoodha, Ritesh Jadhav, Ashwini 2020/11/25A Conceptual Model to Identify Vulnerable Undergraduate Learners at Higher-Education Institutions DO - 10.1109/IMITEC50163.2020.9334103

Moura, Verena Cibeles Soares. Impactos Ambientais da Urbanização: Esforços de Pesquisa Brasileira e Mapeamento e Percepção de Moradores na Cidade e Santarém, Pará, Santarém, SIBI/UFOPA, 2019

Paulo, Rodolfo Fares. Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da Sociedade diante dos impactos socioambientais, Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2018.

Pörtner, Hans O. et al. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. 2022.

PRASTIYO, Slamet Eko et al. How agriculture, manufacture, and urbanization induced carbon emission? The case of Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 33, p. 42092-42103, 2020.

Qin, Haiming & Zhou, Weiqi & Qian, Yuguo & Zhang, Hongxing & Yao, Yang. (2022). Estimating aboveground carbon stocks of urban trees by synergizing ICESat-2 LiDAR with GF-2 data. *Urban Forestry & Urban Greening*. 76. 127728. 10.1016/j.ufug.2022.127728.

Rahman, A. et al. Improvement of Mechanical, Thermal, and Physical Behaviors of Jute/Cotton Biocomposites Reinforced by Spent Tea Leaf Particles. *Journal of Composites Science*, v. 6, n. 5, p. 145, 17 maio 2022.

Ren, R., Castro, J. W., Acuña, S. T., and de Lara, J. (2019). Evaluation

techniques for chatbot usability: A systematic mapping study. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 29(11n12):1673–1702.

Robinson RK, Birrell MA, Adcock JJ, Wortley MA, Dubuis ED, Chen S, McGilvery CM, Hu S, Shaffer MSP, Bonvini SJ, Maher SA, Mudway IS, Porter AE, Carlsten C, Tetley TD, Belvisi MG. Mechanistic link between diesel exhaust particles and respiratory reflexes. *J Allergy Clin Immunol*. 2018 Mar;141(3):1074-1084.e9. doi: 10.1016/j.jaci.2017.04.038. Epub 2017 May 19. PMID: 28532657; PMCID: PMC5840514.

Singh, H.; Linkkhandelwal, A.; Linkkachewar, S. *Atlas of Human Anatomy on CT Imaging*. New Delhi: JPB, 2010.

SONTI, Nancy F. et al. Urban net primary production: Concepts, field methods, and Baltimore, Maryland, USA case study. *Ecological Applications*, v. 32, n. 4, p. e2562, 2022.

Sousa, Cyntia Alves Félix de. Impactos negativos provenientes do UrbanSprawn sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame, no município de João Pessoa, PB, Brasil, UFPB/CT, 2017

Su, M., Zheng, Y., Yin, X., Zhang, M., Wei, X., Chang, X., & Qin, Y. (2016). Practice of low-carbon city in china: the status quo and prospect. *Energy Procedia*, 88, 44-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.014>.

Tan, F., Dalmis, I. S., Koc, F., 2017. Effects of compaction pressure on silage fermentation in bunker silo. *Agronomy Research* 15, 298-306.

Thorn, C. J.; Bissinger, K.; Thorn, S.; Bogner, F. X. "Trees live on soil and sunshine!": coexistence of scientific and alternative conception of tree assimilation. *PLoS One*, San Francisco, v. 11, n. 1, e0147802, 2016.

Ulmer JM, Wolf KL, Backman DR, Tretheway RL, Blain CJ, O'Neil-Dunne JP, Frank LD. Multiple health benefits of urban tree canopy: The mounting evidence for a green prescription. *Health Place*. 2016 Nov;42:54-62. doi: 10.1016/j.healthplace.2016.08.011. Epub 2016 Sep 14. PMID: 27639106.

Weisz, H., & Steinberger, J. K. (2010). Reducing energy and material flows in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(3), 185-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.010>.

Weng, Y., 2009, "Ultra-fine grained steels", Beijing: China Iron & Steel Research Institute Group.

Xiao, Yi, et al. Can new-type urbanization reduce urban building carbon emissions New evidence from

China, *Sustainable Cities and Society* 90 (2023) 104410

Zhang, S., Y. Sun, Y. Song and Z. Yu 2004 Kinetic features of four heavy metals bioaccumulation of mussel *Mytilus edulis*. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 35(5):438-445.

IV. CAPÍTULO III: GESTÃO DE CARBONO POR MEIO DA ARBORIZAÇÃO PLANEJADA, UMA PROPOSTA PARA BASE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ILHA DO MARANHÃO

Resumo

Com a imensidão de atividades realizadas nos grandes centros urbanos, é necessário além de uma reflexão com práticas cada vez mais sustentáveis, uma abordagem de responsabilidade social já que em sua devida proporção a maior parte destas empreitadas tem sua contribuição nas contínuas emissões de carbono, já que em algum momento do processo é inevitável tal desembaraço, assim é importante além de conhecer a realidade da cidade de São Luís e seus desafios em decorrência disso, a proposição de metodologias e direcionamentos relacionados à gestão urbana, seja ela em consonância à arborização, descarbonização ou conversão em cidade inteligente, é interessante observar que no diagnóstico prévio que foi levantado, tem-se o reflexo de atividades como energia, agronegócio e transportes como algumas das principais fontes de GEE, outra consideração importante a se destacar são as espécies de pequeno, médio e grande porte para proposição de um plano de arborização elegendo-se áreas prioritárias para que seja executada da melhor forma possível amenizando o efeito que as mudanças climáticas vem exercendo nos dias atuais.

Palavras-Chave: Mudanças Climáticas, GEE, Arborização, Gestão Municipal

Abstract

With the immensity of activities carried out in large urban centers, it is necessary, in addition to a reflection on increasingly sustainable practices, an approach of social

responsibility since, in due proportion, most of these projects have their contribution to continuous carbon emissions, as that at some point in the process such disentanglement is inevitable, so it is important, in addition to knowing the reality of the city of São Luís and its challenges as a result, to propose methodologies and directions related to urban management, be it in line with afforestation, decarbonization or conversion into a smart city, it is interesting to note that in the previous diagnosis that was raised, there is a reflection of activities such as energy, agribusiness and transport as some of the main sources of GHG, another important consideration to highlight are the species of small, medium and large size to propose an afforestation plan, choosing priority areas so that it can be executed in the best possible way, mitigating the effect that climate change is having today.

Keywords: Climate Change, GHG, Afforestation, Municipal Management

1. Introdução

O aumento do aquecimento global tem causado alterações significativas no clima, resultando em eventos extremos como enchentes, secas prolongadas e tempestades intensas. Além disso, o aumento da temperatura média tem impactado diretamente na saúde da população, aumentando os casos de doenças respiratórias e cardiovasculares. Portanto, é fundamental adotar medidas efetivas para combater essa emissão e minimizar seus efeitos nocivos (DE MARCO, 2020).

A arborização planejada como política pública para a compensação da emissão de gases de efeito estufa na cidade de São Luís - MA é de extrema importância para mitigar os impactos negativos causados por essa emissão. Através da implementação de um plano estratégico de arborização, é possível promover a absorção do dióxido de carbono (CO₂) emitido pela atividade humana, contribuindo para a redução do aquecimento global e das mudanças climáticas. Além disso, a arborização planejada também pode proporcionar benefícios sociais, econômicos e ambientais para a população local (ALBUQUERQUE, 2018).

A arborização planejada apresenta diversas vantagens como estratégia para compensar a emissão de gases de efeito estufa na cidade de São Luís - MA. Além de absorver CO₂, as árvores também atuam na redução do calor urbano, através da sombra proporcionada por sua copa, contribuindo para o conforto térmico da população. Além disso, a presença de áreas verdes ajuda a melhorar a qualidade do

ar, filtrando poluentes e liberando oxigênio. Também favorece o aumento da biodiversidade, proporcionando abrigo e alimento para diversas espécies animais (LEMONS, 2022).

Os benefícios da arborização planejada como política pública vão além da compensação das emissões de gases de efeito estufa. A presença de áreas verdes na cidade proporciona uma série de vantagens ambientais, sociais e econômicas. Em relação ao meio ambiente, a arborização contribui para a redução da poluição atmosférica, através da captura de partículas em suspensão e absorção de gases poluentes. Além disso, as árvores atuam como barreiras naturais contra o ruído urbano, promovendo um ambiente mais tranquilo e saudável para os moradores. Do ponto de vista social, a arborização planejada pode melhorar a qualidade de vida das pessoas, proporcionando espaços de lazer e convívio comunitário. Por fim, do ponto de vista econômico, as áreas verdes valorizam os imóveis próximos e podem atrair investimentos em turismo e lazer (SOUZA, 2016).

Para superar esses desafios, é importante buscar exemplos bem-sucedidos de arborização planejada em outras cidades do Brasil ou do mundo. Esses exemplos podem servir como referência para São Luís - MA, destacando os benefícios alcançados e as lições aprendidas. É fundamental analisar as estratégias adotadas, os resultados obtidos e adaptá-los à realidade local. Dessa forma, é possível aproveitar as experiências positivas de outras localidades e aplicá-las de maneira efetiva (AGUIAR, 2016).

Diversas soluções podem ser adotadas para promover a arborização planejada como política pública na cidade de São Luís - MA. Uma delas é a busca por parcerias com empresas privadas, que podem contribuir financeiramente para a execução do plano de arborização. Além disso, campanhas educativas são essenciais para conscientizar a população sobre os benefícios da arborização e incentivar o engajamento da comunidade nesse processo. Por fim, é importante considerar a implementação de incentivos fiscais para estimular a participação dos cidadãos e das empresas na arborização planejada, tornando-a uma prática mais atrativa e viável economicamente (NETO & AMORIM, 2019).

Assim o presente trabalho teve por objetivo apresentar propostas de embasamento para elaboração e aplicação de políticas públicas relacionadas à

arborização planejada como proposta para compensação da emissão de gases de efeito estufa na cidade de São Luís – MA.

2. Metodologia

A metodologia levantada para realizar o estudo da foi baseada em uma abordagem quali-quantitativa. A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico, Geoprocessamento e análise documental. No levantamento bibliográfico, foram consultados artigos científicos, livros e relatórios técnicos que abordavam a temática da arborização urbana e suas contribuições para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Já o Geoprocessamento foi realizado todo com a utilização de base de dados da Prefeitura de São Luís, que gentilmente disponibilizou todo material disponível em seu banco. Por fim, a análise documental envolveu a consulta a documentos oficiais do poder público municipal relacionados à política pública de arborização (PONTES, 2017).

2.1. Coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís – MA

A coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA desempenha um papel fundamental na formulação de políticas públicas de arborização planejada. Esses dados são essenciais para embasar a tomada de decisões e direcionar os esforços no combate às emissões, visando mitigar os impactos das mudanças climáticas. Além disso, a coleta de dados permite identificar as áreas da cidade com maiores índices de emissão, bem como os setores responsáveis por essas emissões, o que possibilita uma abordagem mais direcionada e eficiente na implementação das políticas públicas (CAMARGO, 2016).

Os métodos utilizados na coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA envolvem diferentes abordagens. Dentre eles, destacam-se as medições diretas realizadas por equipamentos específicos, como analisadores portáteis de gases, que permitem obter informações precisas sobre as concentrações dos gases emitidos e plataformas como SEEG (<https://seeg.eco.br/>) que já possui uma excelente compilação de dados já trabalhados. Além disso, é necessário realizar análise de registros disponíveis em órgãos competentes, como secretarias municipais e estaduais do meio ambiente, que possuem dados sobre as atividades econômicas e industriais da região. Também é importante realizar levantamento de informações

junto a empresas e indústrias para obter dados mais detalhados sobre suas emissões (SOUZA, 2016).

Após a coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA, os próximos passos envolvem a elaboração de um plano de arborização planejada, considerando as áreas prioritárias identificadas nos resultados obtidos. Esse plano deve ser embasado nos dados coletados e estabelecer metas e prazos para redução das emissões. Além disso, é necessário realizar um monitoramento contínuo dos resultados alcançados, visando avaliar a efetividade das medidas adotadas e promover ajustes necessários ao longo do tempo. Esse monitoramento deve ser realizado por meio da coleta regular de dados sobre as emissões, permitindo uma avaliação precisa do impacto das políticas implementadas (MONTEIRO, 2018).

2.2. Levantamento da cobertura arbórea na cidade

Diversos métodos são utilizados no levantamento da cobertura arbórea, sendo que um dos mais eficientes é o uso de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto. Essas ferramentas permitem mapear as áreas verdes da cidade com precisão, identificando tanto as grandes áreas florestais quanto as pequenas manchas de vegetação dispersas pelo território urbano. Além disso, essas técnicas também permitem estimar a densidade arbórea em cada região, fornecendo informações valiosas para o planejamento e monitoramento das políticas públicas (AGUIAR, 2016).

2.3. Análise de políticas públicas de arborização urbana em São Luís - MA

Diversas políticas públicas têm sido implementadas em São Luís - MA com o objetivo de promover a arborização urbana. Destacam-se iniciativas como o esboço de um Programa Municipal de Arborização Urbana, que visa incentivar a plantação de árvores em espaços públicos e privados da cidade, e o Plano Diretor Municipal, que estabelece diretrizes para o planejamento e gestão do espaço urbano, incluindo a promoção da arborização. Além disso, parcerias com instituições acadêmicas e organizações não governamentais têm sido estabelecidas para desenvolver projetos de pesquisa e capacitação voltados para a arborização urbana (BORRALHO, 2023).

No entanto, a implementação e manutenção das políticas públicas de arborização urbana em São Luís - MA enfrentam diversos desafios. Um dos principais desafios é a falta de recursos financeiros para a realização de atividades como o plantio e manutenção das árvores. Além disso, a falta de conscientização da população sobre a importância da arborização urbana e a resistência de alguns setores da sociedade em relação à poda ou remoção de árvores também representam obstáculos para a implementação das políticas públicas (LEMONS, 2022).

3. Resultado e Discussão

3.1. Gases de efeito estufa em São Luís – MA.

Os principais resultados encontrados no estudo revelaram que a cidade de São Luís - MA apresenta uma alta emissão de gases de efeito estufa, principalmente provenientes do setor energético e do transporte. Segundo a plataforma SEEG, estima-se que as emissões anuais sejam da ordem de 3.783 ktCO₂e, ocupando o 73º lugar no ranking de emissões por municípios como observado na figura I e figura II em que apresenta a série histórica das emissões de carbono de São Luís com base em informações da mesma plataforma. Destacando-se assim a arborização planejada como fator com papel significativo na compensação dessas emissões.

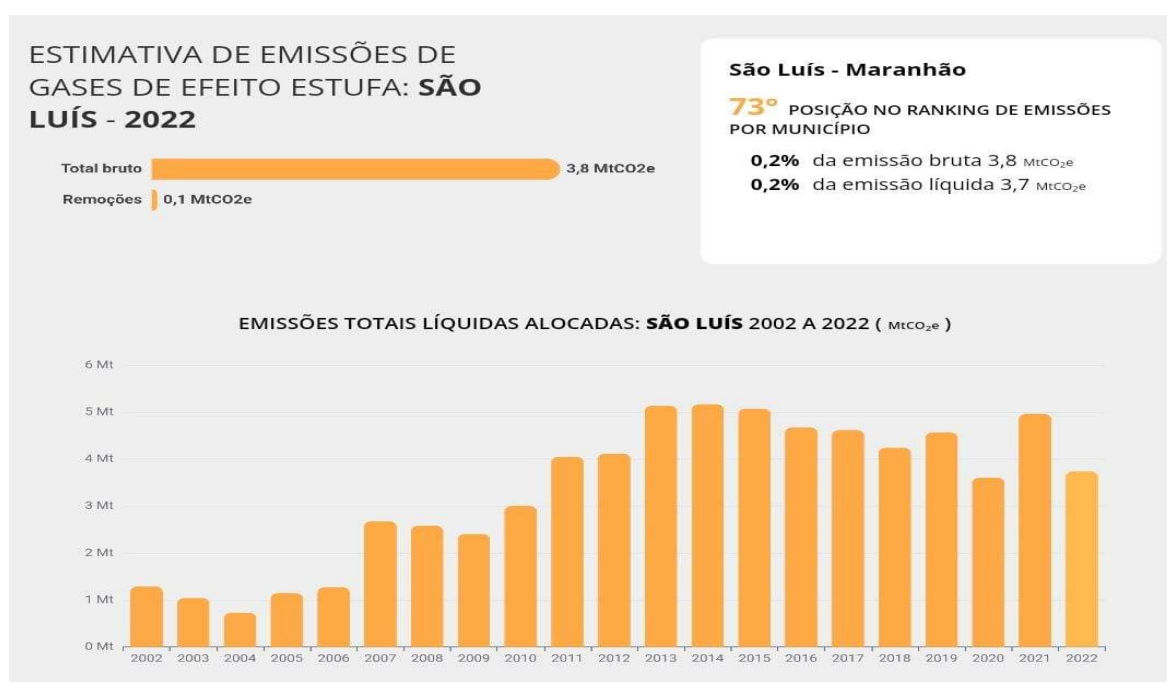


Figure I. Estimativa de gases de efeito estufa na cidade de São Luís

Fonte: Plataforma SEEG.

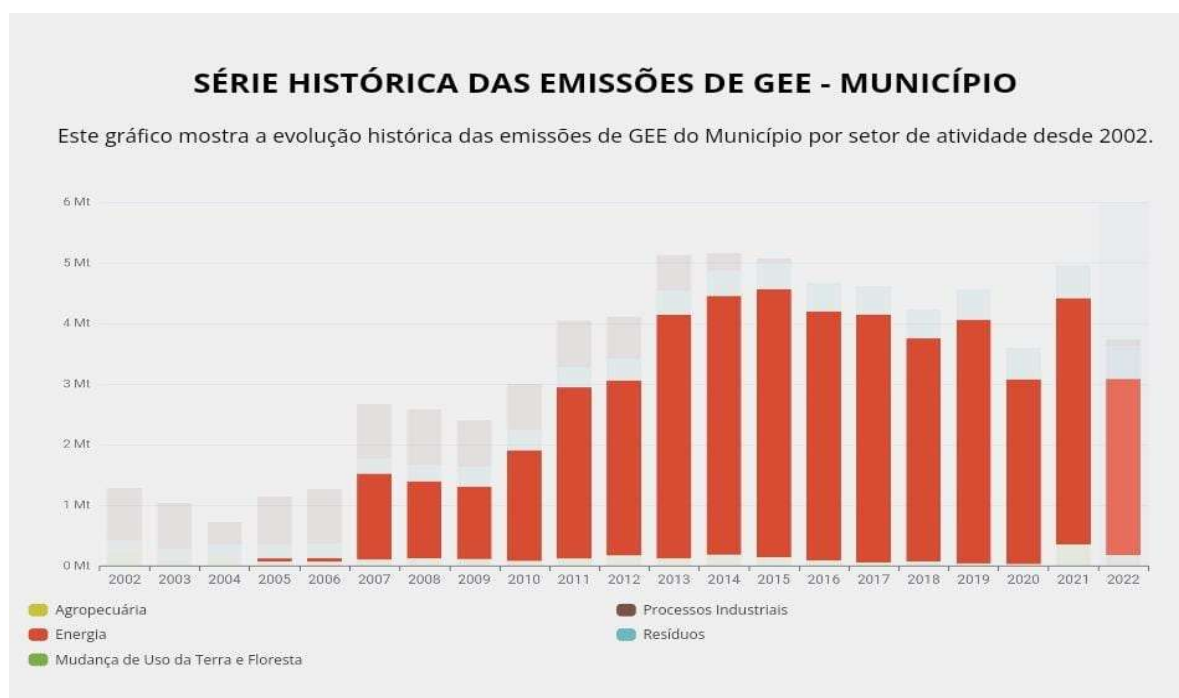


Figure II. Série Histórica das Emissões de GEE em São Luís

Fonte: Plataforma SEEG.

Já nas Figuras III e IV observa-se os principais resultados obtidos na coleta de dados também da plataforma SEEG, sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA revelam áreas da cidade com maiores índices de emissão, como regiões industriais e vias com grande fluxo veicular. Além disso, identifica-se que, além da mudança de uso da terra e florestas, os setores responsáveis por essas emissões são principalmente a indústria, o setor energético, Resíduos e Agropecuária. Esses resultados são fundamentais para direcionar as ações de arborização planejada, uma vez que permitem identificar as áreas prioritárias para intervenção e os setores que demandam maior atenção na redução das emissões (NETO & AMORIM, 2019).



As emissões em porcentagens são referentes ao ano 2022.

Figure III. Principais fontes das Emissões de GEE em São Luís

Fonte: Plataforma SEEG.



Figure IV. Participação das principais fontes de emissão de GEE em São Luís em relação ao perfil estadual e nacional.

Fonte: Plataforma SEEG.

No entanto, a coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA também apresenta limitações. Uma das principais limitações é a falta de registros precisos por parte das empresas e indústrias, o que dificulta a obtenção de informações detalhadas sobre suas emissões. Além disso, há dificuldades na obtenção de informações junto às empresas e indústrias, muitas vezes motivadas pela falta de transparência ou resistência em divulgar seus dados. Essas limitações podem comprometer a precisão dos resultados obtidos e dificultar a implementação efetiva das políticas públicas (BORRALHO, 2023).

Para superar as limitações encontradas na coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA, é necessário buscar soluções como parcerias com órgãos governamentais, visando estabelecer acordos para compartilhamento de informações. Além disso, é importante incentivar a transparência das empresas no fornecimento dos dados sobre suas emissões, por meio da criação de mecanismos que garantam confidencialidade e segurança nas informações divulgadas. Investimentos em tecnologias mais avançadas para medição das emissões também são necessários para melhorar a qualidade dos dados coletados e reduzir a dependência de informações fornecidas pelas empresas, integrando às informações já existentes hoje em iniciativas da academia, por meio de pesquisas, de Plataformas e Relatórios/Dashboards que alguns órgãos já possuem (SILVA, 2021).

Atualmente, existem políticas públicas em São Luís - MA relacionadas à redução da emissão de gases de efeito estufa, como programas de incentivo ao uso de energias renováveis e ações de eficiência energética. No entanto, essas políticas ainda apresentam limitações, como a falta de integração entre os setores envolvidos e a falta de recursos financeiros para implementação efetiva das medidas propostas. Para melhorar essas políticas, é necessário investir em capacitação técnica e promover parcerias com instituições locais, visando uma abordagem mais abrangente e eficiente (MORAES, 2021).

A divulgação dos resultados da coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa em São Luís - MA é de extrema importância para conscientizar a população sobre o problema e mobilizar esforços para implementação da política pública de arborização planejada. A divulgação desses resultados permite que a sociedade compreenda a gravidade do problema e se engaje na busca por soluções. Além disso, contribui para o fortalecimento da transparência e prestação de contas

por parte dos órgãos públicos envolvidos, aumentando a confiança da população nas políticas adotadas (DANTAS, 2021).

3.2. Cobertura arbórea em São Luís - MA

Ao observarmos a figura V com o uso e cobertura vegetal da cidade de São Luís, observa-se uma quantidade relativamente significativa de áreas verdes existentes. No entanto, foi observada uma distribuição desigual dessas áreas ao longo do território urbano, com concentração maior nas regiões periféricas e escassez nas áreas centrais. Essa disparidade evidencia a necessidade de intervenções específicas nessas regiões, visando aumentar a cobertura arbórea e promover uma distribuição mais equitativa das áreas verdes (Magnusson et al., 2016).

Na avaliação da cobertura arbórea, são utilizados diversos indicadores para medir a quantidade e qualidade das áreas verdes urbanas. A densidade de árvores por área é um dos principais indicadores, pois permite avaliar a quantidade de vegetação presente em determinada região. Além disso, a diversidade de espécies é um indicador importante, pois uma maior variedade de árvores contribui para a resiliência do ecossistema urbano. Outro indicador relevante é a distribuição espacial das árvores, que permite identificar áreas com maior ou menor concentração de vegetação, auxiliando na definição de estratégias de arborização (GAMA, 2019).

Com base nos dados cedidos pelo INCID, constatou-se que a cidade possui uma cobertura arbórea média de 36%, o que representa uma quantidade considerável de biomassa vegetal capaz de absorver e armazenar carbono. Além disso, os resultados indicaram que a arborização planejada pode contribuir para a redução da temperatura urbana, melhoria da qualidade do ar e aumento da biodiversidade local (DANTAS, 2021).

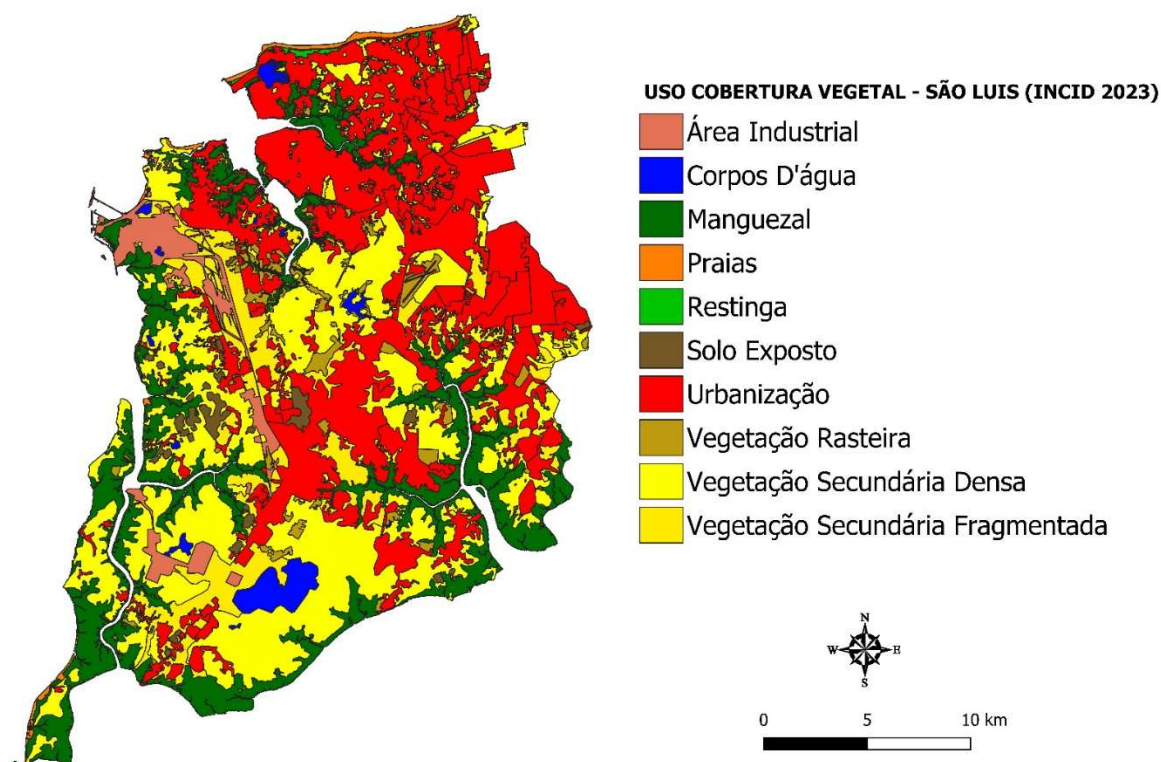


Figure V. Mapa de Uso e Cobertura Vegetal

Fonte: Autor.

Durante o levantamento da cobertura arbórea, deve-se identificar diversas espécies arbóreas presentes na cidade. Dentre essas espécies, destacam-se aquelas que são mais eficientes na captura e armazenamento de carbono, como as árvores de grande porte e com densa folhagem. Essas espécies desempenham um papel fundamental na mitigação dos gases de efeito estufa, contribuindo para a redução do aquecimento global e para a melhoria da qualidade do ar (LEMONS, 2022).

No entanto, a realização do levantamento da cobertura arbórea enfrenta alguns desafios. Um dos principais é a falta de dados atualizados sobre as áreas verdes da cidade. Muitas vezes, os levantamentos existentes são antigos e não refletem a realidade atual. Além disso, há dificuldade em acessar determinadas áreas da cidade, seja por questões de segurança ou pela falta de autorização dos proprietários. Esses obstáculos dificultaram a obtenção de informações precisas e completas sobre a cobertura arbórea em São Luís - MA (RASEIRA, 2021).

Para aumentar a cobertura arbórea na cidade, é necessário adotar estratégias eficientes. Uma das possibilidades é o plantio de novas árvores em espaços públicos e privados. A criação de incentivos fiscais para proprietários que adotem práticas sustentáveis também pode ser uma estratégia eficaz para estimular o plantio e a conservação de árvores. Além disso, é importante promover a conscientização da população sobre a importância da arborização e incentivar a participação ativa dos cidadãos nesse processo (DE MARCO, 2020).

3.3. Políticas públicas de arborização urbana em São Luís - MA

Os resultados a serem alcançados com a implementação das políticas públicas direcionadas à arborização urbana em São Luís - MA têm futuro positivo. A cidade tem observado um aumento sensível necessidade no aumento da quantidade de áreas verdes urbanas, com o plantio de árvores nos próximos anos. Além disso, segundo the Weather Channel, os indicadores de qualidade do ar têm apresentado melhorias, evidenciando os benefícios da arborização na redução das emissões de gases poluentes com incipientes ações de plantio de mudas e campanhas de preservação de áreas verdes, tanto do poder público quanto da iniciativa privada. No entanto, além do fato de serem iniciativas pontuais e descoordenadas uma das outras, é importante ressaltar que ainda há desafios a serem enfrentados, como a necessidade de ampliar o alcance das políticas públicas e garantir sua continuidade ao longo do tempo (GAMA, 2019).

Para conscientizar a população sobre a importância da arborização urbana como política pública em São Luís - MA, são utilizadas diversas estratégias. Campanhas de comunicação e educação ambiental são realizadas, visando informar a população sobre os benefícios da arborização e incentivar a participação em atividades relacionadas ao tema. Além disso, a realização de eventos como palestras, workshops e mutirões de plantio também contribui para sensibilizar a população e promover o engajamento em ações de arborização (QUINTAS NETO, 2017).

Assim, apesar da importância de qualquer ação de arborização urbana, as políticas públicas existentes em São Luís - MA ainda apresentam limitações em relação à redução das emissões de gases de efeito estufa. Embora haja iniciativas voltadas para o plantio de árvores em áreas urbanas, muitas vezes essas ações não

são suficientes para compensar as emissões geradas pela atividade humana na cidade. Além disso, a falta de monitoramento adequado dificulta a avaliação da efetividade dessas políticas públicas no combate às mudanças climáticas (RAKAUSKAS, 2022).

3.4 Elaboração de propostas de arborização planejada

Para elaboração de propostas de arborização planejada para São Luís - MA, deverão ser utilizadas diversas estratégias que visam garantir o sucesso e a sustentabilidade desses projetos. Entre as principais estratégias estão: o mapeamento das áreas prioritárias para o plantio de árvores; a definição de metas e objetivos claros; a seleção criteriosa das espécies vegetais mais adequadas ao clima e às características locais; o envolvimento da comunidade no processo de planejamento e implementação; e a busca por parcerias com instituições públicas, privadas e do terceiro setor (SARUBBI, 2016).

No entanto, a implementação da arborização planejada como política pública em São Luís - MA enfrenta diversos desafios. Um dos principais é a falta de recursos financeiros para a realização dos projetos, que muitas vezes demandam investimentos significativos. Além disso, também é necessário superar obstáculos relacionados à falta de conhecimento técnico especializado, à resistência por parte da população em relação ao manejo das árvores e à falta de integração entre os diferentes órgãos governamentais envolvidos na gestão urbana (MONTEIRO, 2018).

Sendo fundamental estabelecer parcerias entre o poder público, a sociedade civil e o setor privado. O poder público deve assumir um papel de liderança na elaboração e implementação das políticas de arborização, enquanto a sociedade civil pode e deve contribuir através da participação ativa nos processos decisórios e na manutenção das áreas verdes. Já o setor privado pode colaborar através do financiamento de projetos e da adoção de práticas sustentáveis em suas atividades (AGUIAR, 2016). Além disso, é importante estabelecer parcerias com outras instituições, como universidades, terceiro setor e fontes de fomento para fortalecer as ações de plantio e manutenção das árvores. Essas parcerias podem viabilizar investimentos financeiros e técnicos, além de contribuir para o desenvolvimento de pesquisas científicas sobre o tema (SILVA, 2021).

Para promover a participação da comunidade, são utilizadas estratégias como campanhas educativas e programas de voluntariado. As campanhas educativas têm o objetivo de informar a população sobre os benefícios da arborização e incentivar o engajamento em atividades relacionadas ao tema. Já os programas de voluntariado permitem que os cidadãos participem ativamente do plantio e cuidado das árvores, fortalecendo o senso de pertencimento e responsabilidade em relação ao meio ambiente urbano (RASEIRA, 2021).

A identificação de áreas prioritárias para a implantação de arborização é uma estratégia fundamental para compensar a emissão de gases de efeito estufa. A escolha dessas áreas permite direcionar os esforços e recursos disponíveis para locais onde a arborização terá maior impacto na redução das emissões, além de proporcionar benefícios socioambientais significativos. Dessa forma, a identificação das áreas prioritárias se torna um passo essencial no planejamento e implementação da política pública de arborização planejada (MATOS, 2023).

Para identificar as áreas prioritárias, são utilizados critérios que levam em consideração fatores como densidade populacional como podemos destacar na figuras VI e VII que destaca bairros como por exemplo, Complexo Cohatrac, Cidade Olímpica, Cidade Operária, Residenciais Araras/Primavera/Pinheiros e Cohab como alguns dos mais populosos, há também o índice de poluição atmosférica, a disponibilidade de espaços verdes e ainda a temperatura que também destacamos na figura VIII já que 2023 alcançou as maiores taxas já registradas. A densidade populacional é um indicador importante, pois áreas com maior concentração de pessoas tendem a apresentar maior demanda por serviços ambientais, como sombreamento e melhoria da qualidade do ar. Já o índice de poluição atmosférica indica as regiões mais afetadas pela emissão de gases poluentes, sendo necessário priorizar essas áreas para mitigar os impactos negativos à saúde da população. Além disso, a disponibilidade de espaços verdes é um fator determinante na seleção das áreas prioritárias, pois é necessário considerar a capacidade desses locais em abrigar árvores e promover a biodiversidade (SCHVAMBACH, 2023).

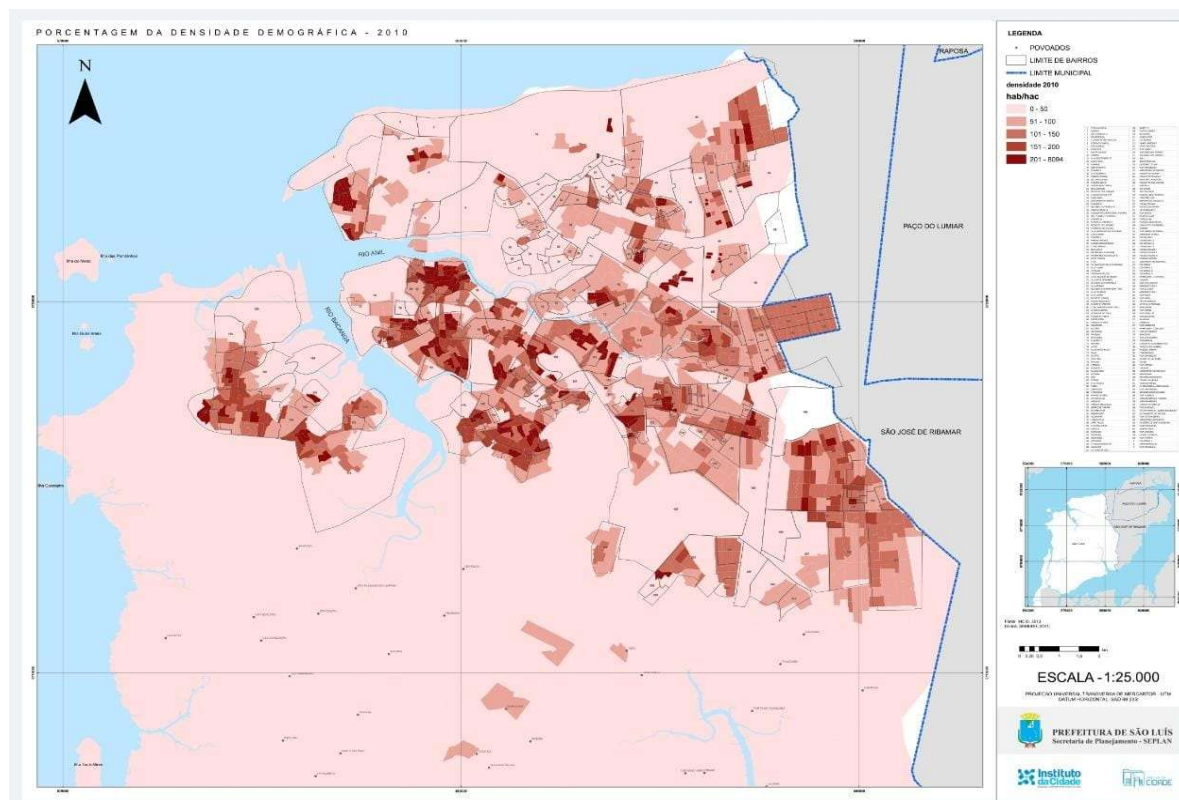


Figure VI. Mapa de Densidade Demográfica por Bairro

Fonte: INCID São Luís.

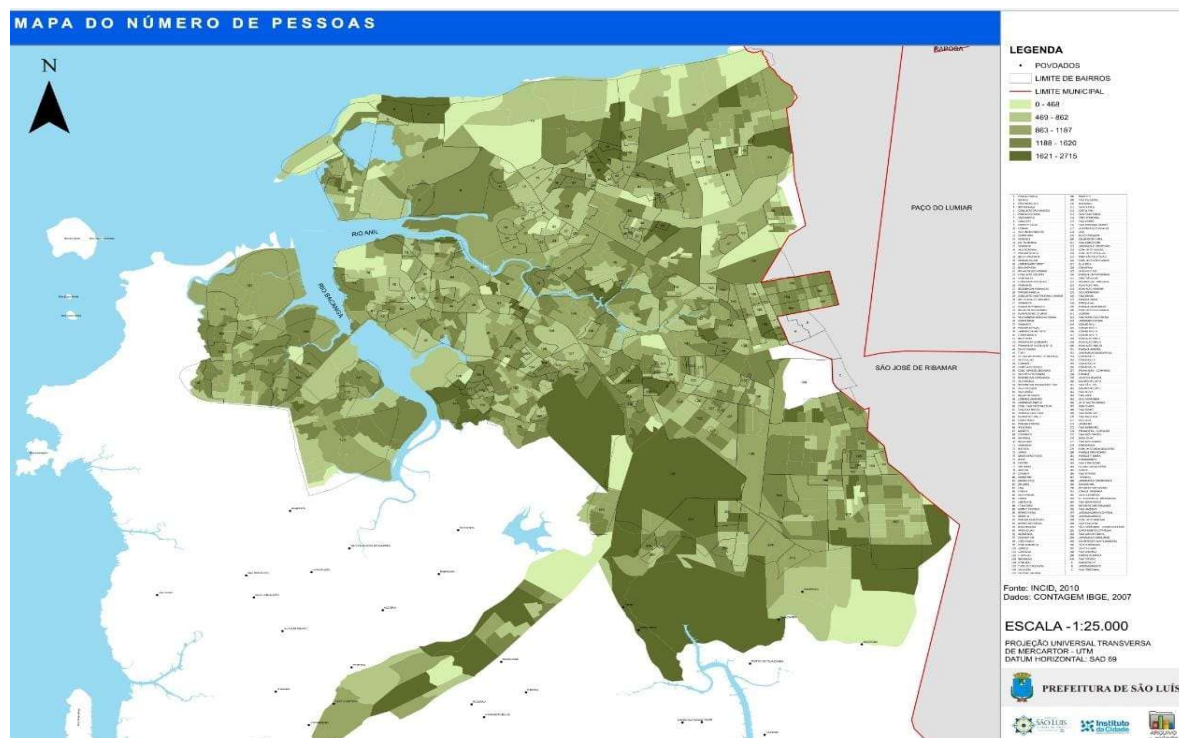


Figure VII. Mapa do Número de Pessoas por Bairro

Fonte: INCID São Luís.

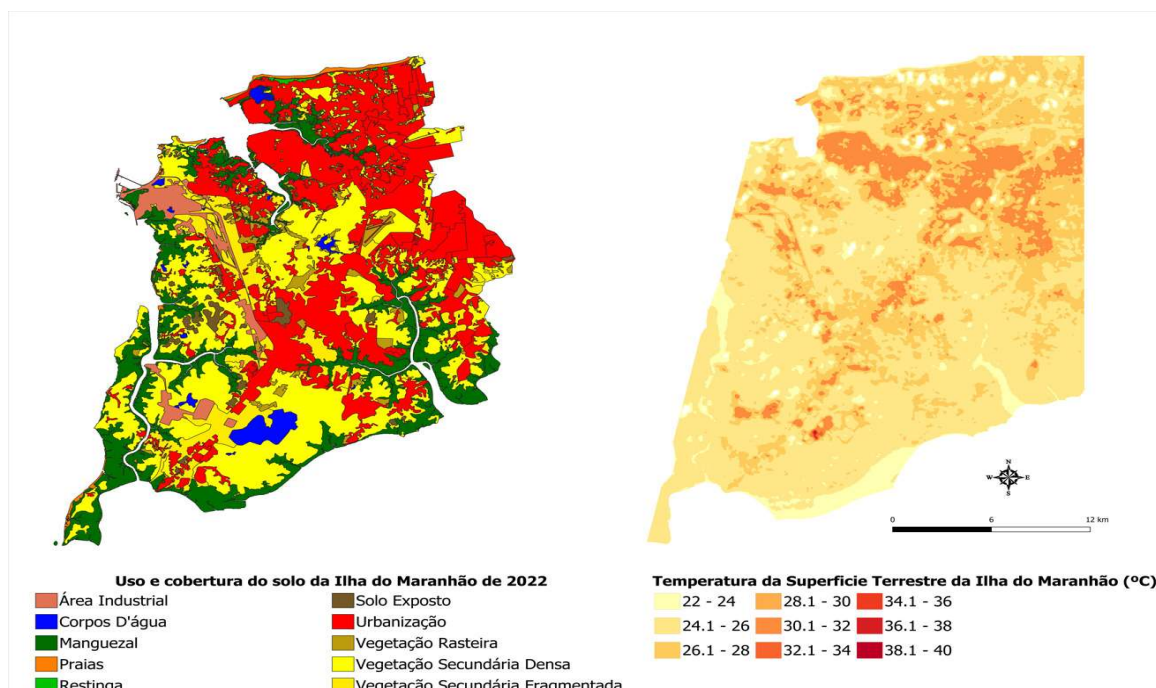


Figure VIII. Mapas de Uso e Cobertura do Solo e Temperatura da Superfície Terrestre da Ilha do Maranhão

Fonte: Autor.

A definição mais difundida de áreas prioritárias se baseia na metodologia de Planejamento Sistemático da Conservação (PSC). Nesse processo, é feita, de forma simultânea, a coleta e o processamento de informações espaciais sobre a ocorrência de espécies e ecossistemas, custos e oportunidades para a conservação. O PSC é um método objetivo e eficiente que envolve geoprocessamento, modelagem matemática e um processo participativo com diversos setores da sociedade.

Em resumo, essa metodologia visa à tomada de decisão, de forma objetiva e participativa, sobre o planejamento e a implementação de medidas adequadas à conservação, à recuperação e ao uso sustentável de ecossistemas. Ela resulta na construção do mapa das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade em todos os grandes biomas e na Zona Costeira e Marinha, além de um banco de dados com informações sobre essas áreas.

No entanto, a identificação das áreas prioritárias para a implantação de arborização enfrenta algumas dificuldades. Uma delas é a falta de espaços disponíveis, especialmente em áreas urbanizadas e densamente povoadas. Nesses casos, é necessário buscar alternativas como o uso de espaços verticais ou a

recuperação de áreas degradadas. Além disso, muitas vezes há resistência por parte dos moradores em relação ao corte ou poda de árvores existentes, o que pode dificultar o processo de identificação das áreas prioritárias (NETO & AMORIM, 2019), para fins didáticos, com base nas informações disponíveis o presente trabalho sugere algumas áreas como prioritárias como exposto na figura IX, considerando o cruzamento de temperatura, densidade demográfica e Uso e Cobertura do Solo.

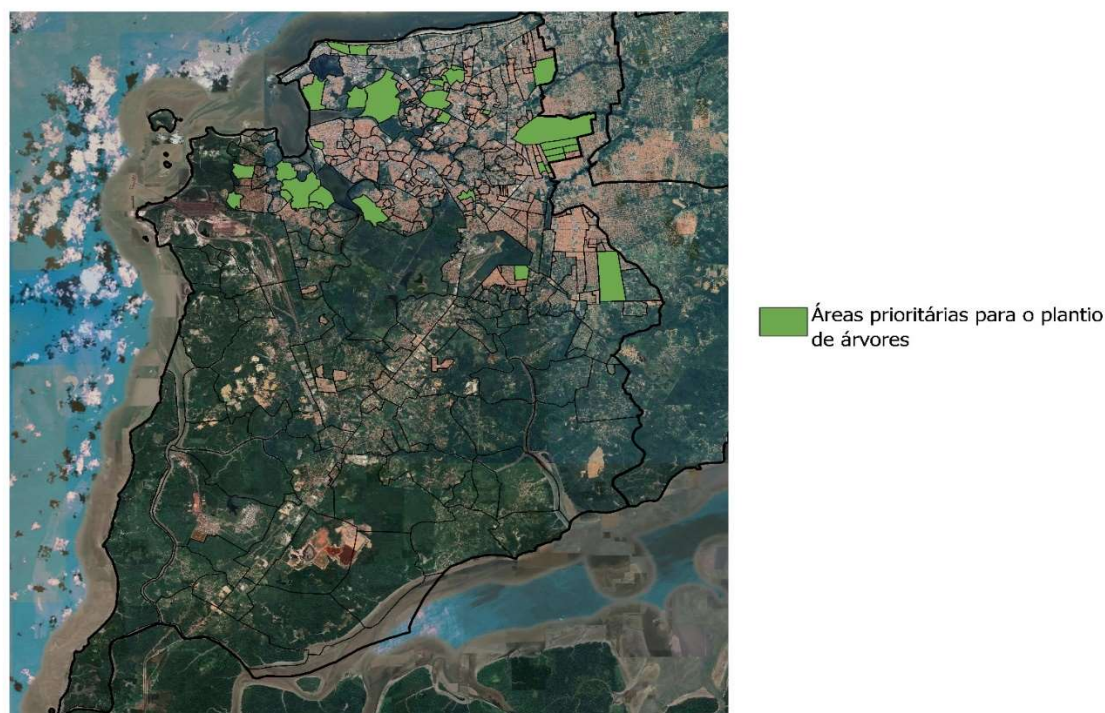


Figure IX. Mapas de Áreas Prioritárias para Plantio de Árvores

Fonte: Autor.

A seleção das espécies vegetais mais adequadas para a arborização planejada deve levar em consideração uma série de critérios. Entre eles estão: a adaptabilidade ao clima local; a resistência a pragas e doenças; o porte adequado para as áreas urbanas; a capacidade de absorção de carbono; a produção de sombra; a beleza estética; e a disponibilidade de mudas no mercado. É importante ressaltar que a diversidade de espécies é fundamental para evitar problemas como a disseminação de pragas e doenças (CAMARGO, 2016). É importante considerar as espécies arbóreas mais adequadas para a arborização planejada levando em conta fatores como adaptabilidade ao clima local e capacidade de absorção de carbono. Dentre as espécies recomendadas estão **Espécies de Grande Porte:** (Mogno – *Swietenia*

macrophylla, Ipê Amarelo – *Tabeluia serratifolia*, Jequitibá – *Cariniana legalis*); **Espécies de Médio Porte:** (Araticum - *Annona crassiflora*, Copaíba – *Capaífera langsdorffii*, Pau-Brasil – *Paaubrasilia echinata*); **Espécies de Pequeno Porte:** (Pitangueira – *Eugenia uniflora*, Araçá – *Psidium cattleianum*, Murici – *Byrsonima crassifolia*) Essas espécies possuem características que as tornam adequadas para o clima quente e úmido da região, além de apresentarem alta capacidade de absorção de carbono (COSTA & DE ARAÚJO, 2022).

Para acompanhar os resultados da arborização planejada, são utilizadas medidas de monitoramento e avaliação. Essas medidas incluem o acompanhamento do crescimento das árvores, a análise da qualidade do ar, a avaliação do impacto na temperatura local, o levantamento da satisfação da população com as áreas arborizadas, entre outros indicadores. Com base nesses dados, é possível realizar ajustes nas estratégias adotadas e garantir a efetividade das políticas de arborização (Magnusson et al., 2016).

Por fim, é fundamental as ações sejam constantemente monitoradas e avaliadas. O monitoramento contínuo dos resultados permite verificar a efetividade dessas políticas na redução das emissões de gases de efeito estufa, identificar possíveis ajustes necessários e promover a transparência na gestão pública. Além disso, o acompanhamento dos indicadores relacionados à arborização urbana possibilita a tomada de decisões embasadas em dados concretos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável do meio ambiente urbano (CARVALHO, 2021).

4. Conclusão

A pesquisa realizada em São Luís indicou que a implementação estratégica de arborização pode ser uma política pública eficaz para compensar as emissões de gases de efeito estufa. As áreas mais adequadas para essa implementação são aquelas com baixa cobertura vegetal e alta concentração de fontes emissoras de gases de efeito estufa, como indústrias e vias de tráfego intenso.

No entanto, o estudo também encontrou alguns obstáculos. A ausência de dados precisos sobre as emissões de gases de efeito estufa na cidade dificultou a avaliação dos impactos reais da arborização planejada na redução dessas emissões.

Ademais, foi ressaltado que os bairros na periferia e as regiões de menor renda, que são mais impactados pela escassez de arborização, devem ser os principais alvos dessas iniciativas. A mensuração dos resultados alcançados se mostrou um desafio, uma vez que é complicado distinguir os efeitos da arborização dos outros fatores que afetam as emissões. Por fim, a elaboração de leis específicas e o estabelecimento de parcerias robustas entre entidades governamentais e instituições acadêmicas são fundamentais para assegurar a continuidade e a eficácia dessa política pública.

Acompanhar e avaliar os resultados da arborização planejada como política pública é crucial para identificar os benefícios alcançados e permitir ajustes nas estratégias utilizadas. É essencial estabelecer métricas de desempenho que permitam medir a efetividade das ações implementadas, como a quantidade de CO₂ absorvido pelas árvores, a diminuição da temperatura ambiente e o crescimento da biodiversidade local. Com base nesses dados, é possível direcionar recursos e esforços para as áreas que mais necessitam de arborização e promover aprimoramentos contínuos nas políticas públicas relacionadas.

A implementação bem-sucedida da arborização planejada como política pública na cidade de São Luís - MA requer a colaboração entre o governo, empresas privadas e organizações não governamentais. O governo deve desempenhar um papel central na coordenação das ações, fornecendo os recursos financeiros e estruturais necessários para a realização dos projetos. As empresas privadas podem contribuir investindo em programas de responsabilidade socioambiental, patrocinando eventos relacionados à arborização e fornecendo mão de obra especializada. As organizações não governamentais têm um papel importante na mobilização da sociedade, conscientizando a população sobre a importância da arborização e promovendo atividades práticas relacionadas ao tema. A cooperação entre esses diferentes atores é fundamental para garantir o sucesso das políticas públicas voltadas para a arborização planejada em São Luís.

Em conclusão, a arborização planejada é uma estratégia eficaz para mitigar os impactos ambientais causados pela urbanização acelerada e para melhorar a qualidade de vida urbana. No entanto, para que essa estratégia seja bem-sucedida, é necessário um compromisso conjunto de diferentes setores da sociedade e um monitoramento e avaliação contínuos dos resultados alcançados.

Diante desses desafios, a pesquisa sugere que futuras políticas públicas e pesquisas relacionadas à arborização planejada em São Luís sejam mais abrangentes. É necessário realizar estudos mais detalhados para quantificar com maior precisão os impactos da arborização na redução das emissões. Essas medidas ajudarão a maximizar o potencial da arborização planejada como uma estratégia eficaz para a gestão do carbono em São Luís.

7. Referencias

AGUIAR, Christiano Roberto Lima de et al. MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO: PAUTAS PARA ELABORAÇÃO DA AGENDA AMBIENTAL ESCOLAR. 2016.

ALBUQUERQUE, Marina Macêdo Gomes. A arborização urbana como uma política pública sustentável: Um estudo do plano de arborização de Fortaleza. 2018.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; et al. (Orgs.). Meio ambiente: gestão e sustentabilidade. 2. ed. Tupã: ANAP. 2017.

BORRALHO, Jéssica Anire Abdoral. Grandes projetos urbanos e mobilidade na Amazônia: danos socioambientais do BRT (Bus Rapid Transport) da Augusto Montenegro e a repercussão da política pública de mobilidade urbana, Belém/PA. Orientador: André Luís Assunção de Farias. Coorientador: Mário Vasconcellos Sobrinho. 2023. 69 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/16020>. Acesso em: 10/12/23.

CAMARGO, Márcia da Costa Rodrigues de. A sustentabilidade ambiental das cidades sob a ótica da pegada de carbono e do sistema verde de Brasília. 2016.

CARVALHO, Isadora Eduarda Barros Braz de et al. Avanços e desafios para arborização do município de Recife-PE. 2021.

CORDEIRO, Hemerson Thiago de Lima. A arborização das áreas públicas dos bairros de Fortaleza-Ceará é influenciada pelas condições socioeconômicas da população. 2017.

COSTA, João Evangelista BF; DE ARAÚJO, Paulo Sérgio Rodrigues. **Logística reversa como estratégia à destinação de pneumáticos pós-consumo: demanda de eficiência em processos de logística:: estudo de caso**. Editora Dialética, 2022.

DA SILVA, Guilherme Teixeira. **Incêndios florestais, da terra ardida ao despertar da consciência**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior (Portugal).

DANTAS, Gabrielle Rodrigues Santiago. **Desenvolvimento econômico, questão ambiental e “questão social” no Rio Grande do Norte**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

DE MARCO, Júlio César et al. A gestão ambiental de Belo Horizonte através da arborização urbana: da estruturação urbana rumo à infraestrutura sustentável. 2020.

DE MORAES, Kamila Guimarães. **Obsolescência planejada e direito:(in) sustentabilidade do consumo à produção de resíduos**. Livraria do Advogado Editora, 2021.

DOS SANTOS MONTEIRO, Mônica. **Serviços ecossistêmicos e planejamento urbano: a natureza a favor do desenvolvimento sustentável das cidades**. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2018.

GAMA, Caroline Souza da. Análise do procedimento para corte de árvores urbanas no município de Três Rios/RJ. 2019.

LEMONS, Maria Fernanda Campos. **Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança**. 2022. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

LEMONS, Maria Fernanda Campos. **Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança**. 2022. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

Magnusson, William & Bergallo, Helena de & Cerqueira, Rui & Colli, Guarino & Fernandes, G. & Gusmao, Luis & Pillar, Valério & Queiroz, Helder. (2016). O Programa de Pesquisa em Biodiversidade.

MATOS, Ana Cristina Costa. **Interações entre ações de adaptação e mitigação às mudanças climáticas: as experiências de políticas públicas e ações associadas ao clima na cidade de São Paulo**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MONTEIRO, M. S. Serviços ecossistêmicos e planejamento urbano—. **A natureza a favor do desenvolvimento**.

NETO, Duarte; AMORIM, Raimundo. Um estudo sobre as dimensões da mobilidade inteligente na cidade de Imperatriz-MA. 2019.

PONTES, Tânia Cristina Lemes Soares. **Diagnóstico da arborização urbana no município de Caraguatatuba–SP**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Brasil.

QUINTAS NETO, Mario. A educação ambiental no município de Palmas–TO: análise entre o discurso e a prática. 2017.

RAKAUSKAS, Felipe et al. Contribuição do transporte de carga rodoviário à poluição atmosférica na região portuária de Vicente de Carvalho, Guarujá-SP. 2022.

RASEIRA, Etienne Judith. Redução do iptu para iniciativas verdes: o tributo à serviço do meio ambiente.

SARUBBI, Michele Puga. Avaliação comparativa de metodologias de indicadores para a gestão ambiental urbana. 2016.

SCHVAMBACH, Amabilly. **Efeito da implantação do plano de mobilidade urbana do município de Brusque/SC na emissão de gases de efeito estufa**. 2023. Tese de Doutorado.

SILVA, Brenda Veneranda Fernandes. **Diretrizes para elaboração de planos de mobilidade urbana sustentável**. 2021. Tese de Doutorado. [sn].

SOUZA, Marcilon de. Entre o proposto e o concreto: uma análise sobre políticas públicas e o meio ambiente em Criciúma-SC. 2016.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O carbono retido em nossas áreas verdes desempenha um papel crucial na preservação da biodiversidade do solo e na sustentabilidade de nossos parques, resultando em economia para os cofres públicos. Até o momento, a quantidade, os fatores controladores e a sensibilidade do carbono ao aquecimento global em áreas

verdes urbanas não foram avaliados, o que levou a uma incerteza significativa nas previsões futuras sobre a extensão do sequestro de carbono nesses ecossistemas.

As políticas públicas de arborização são fundamentais para o sequestro de carbono. As árvores absorvem o dióxido de carbono da atmosfera e o armazenam em suas estruturas, como troncos, galhos e raízes. Além disso, as árvores contribuem para a redução da temperatura local e a melhoria da qualidade do ar.

Existem diversas políticas públicas que promovem a arborização tanto em áreas urbanas quanto rurais. Algumas delas incluem: programas de plantio de árvores em áreas urbanas e rurais; incentivos fiscais para proprietários de terras que plantam árvores; restrições ao desmatamento; e pagamento por serviços ambientais.

Essas políticas públicas são vitais para ajudar a reduzir as emissões de carbono e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Em suma, as políticas públicas de arborização são uma maneira eficaz de tentar reduzir os efeitos das mudanças climáticas. Elas ajudam a diminuir as emissões de carbono e a melhorar a qualidade do ar. Além disso, as árvores ajudam a reduzir a temperatura local e a criar um ambiente mais saudável para as pessoas.

No entanto, é importante lembrar que as políticas públicas por si só não são suficientes. Cada um de nós pode fazer a sua parte para ajudar a reduzir as emissões de carbono. Podemos plantar árvores em nossas casas e comunidades, usar transporte público ou bicicleta em vez de carro, comprar produtos locais e sazonais, reduzir o consumo de carne e laticínios, reciclar e compostar.

Em conclusão, a arborização planejada é uma estratégia eficaz para mitigar os impactos ambientais causados pela urbanização acelerada e para melhorar a qualidade de vida urbana. No entanto, para que essa estratégia seja bem-sucedida, é necessário um compromisso conjunto de diferentes setores da sociedade e um monitoramento e avaliação contínuos dos resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ I.A. **Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação**. Tese de Doutorado, ESALQ/USP, 2004.

ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA U. R.; MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; CANETTI, A. **Arborização urbana no semiárido: espécies potenciais da Caatinga**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Florestas. Colombo-PR, 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75650/1/Doc.-243arborizacao-urbana.pdf>>. Acesso em: 08 mai.2023.

Amaral, Rubens, et al. **Sequestro de Carbono em Trechos da Floresta Urbana de Belo Horizonte: Por um Sistema de Espaços Livres mais Eficiente no Provimento de Serviços Ecosistêmicos Urbanos**, PAISAG. AMBIENTE: ENSAIOS - N. 39 - São Paulo - P. 163 - 179 – 2017

Assumpção, M. P., Tavares, P. A., & Coutinho, E. C. (2019). **Balanco de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém**, Brasil. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 11, e20180186. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180186>

BARBOSA, L. M.; BARBOSA, J. M.; BARBOSA, K. C. et al. **Recuperação florestal com espécies nativas no estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias**. Florestar Estatístico. V. 6, n. 14, p. 28-34, 2003.

BRAND, M. A.; OLIVEIRA, L. C. de; MARTINS, S. A. et al. **Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia**. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 5.; SEMINÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO, 1., 2009, Belém. [Anais...] Lages: Solumad, 2009. Disponível em <<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171821311.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2023.

Brianezi, Daniel, et al. **Equações Alométricas para Estimativa de Carbono em Árvores de uma Área Urbana em Viçosa – MG**, Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1073-1081, 2013

Carvalho, N. M., Quartucci, F., Maria, I. (2022). **Estoque de carbono e diagnóstico físico e químico do solo de praças urbanas no município de Tatuí-SP**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.10, n.3, p.168-186.

D.A. Friess et al. Blue carbon science, management and policy across a tropical urban landscape. Landscape and Urban Planning 230 (2023) 104610

D.T. Robinson et al. Estimating Settlement carbon stock and density using an inventory approach and quantifying their variation by land use and parcel size. Urban Forestry & Urban Greening 82 (2023) 127878

F. Heisel et al. High-resolution combined building stock and building energy modeling to evaluate whole-life carbon emissions and saving potentials at the Building and urban scale. Resources, Conservation & Recycling 177 (2022) 106000

Ferreira, Rosimére Araújo, **Variação Sazonal e Espacial do Sequestro de Carbono e da Temperatura da Superfície Terrestre da Região de Integração do Rio Caeté, no estado do Pará, por Sensoriamento Remoto**, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019

GANEM, R. S. (Org.). **Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas**. Câmara dos Deputados, Edições Câmara. Série memória e análise de leis, n. 2, 437 p. Brasília-DF, 2011.

GENGO, R. DE C.; HENKES, J. A. **A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana**. R. gest. sust. ambient., v. 1, n. 2, p. 55 – 81. Florianópolis, 2013.

GONÇALVES, W.; PAIVA, H.N., **Árvores para o ambiente urbano. Viçosa: Aprenda Fácil**. 243 p. (Coleção Jardinagem e Paisagismo. Série Arborização Urbana, 3). 2004.

H. Liu et al. Exploring zonation strategy in land management of urban agglomeration. *Ecological Indicators* 145 (2022) 109664

H. Qin et al. Estimating aboveground carbon stocks of urban trees by synergizing ICESat-2 LiDAR with GF-2 data. *Urban Forestry & Urban Greening* 76 (2022) 127728

KIILL, L. H. P. (Coord.) **Plantas da caatinga ameaçadas de extinção: estudos preliminares e manejo: relatório final**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido: FNMA: UNEB: CODEVASF. 302 p. 2008.

L. Brilli, et al. Combination of ground and remote sensing data to assess carbon stock changes in the main urban park of Florence. *Urban Forestry & Urban Greening* 43 (2019) 126377

M.G. Muluneh and B.B. Worku. Contributions of urban green spaces for climate change mitigation and biodiversity conservation in Dessie city, Northeastern Ethiopia. *Urban Climate* 46 (2022) 101294

Magalhães, Aline Souza. **Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa**, Minas Gerais,. FACE/UFMG, 2013.

MARICATO, Ermínia et al. **As idéias fora do lugar e o lugar fora das idéias: planejamento urbano no Brasil. A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. Petrópolis: Vozes, p. 121-192, 2000.

Medeiros, Johnatan Palmer da Silva. **Estoque de Carbono no Solo de Mata Ciliar em Zonas Urbanas**. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG, 2014.

Mendonça, Francisco; et al. **A cidade e os problemas socioambientais urbanos: uma perspectiva interdisciplinar**. – Dados eletrônicos. – Curitiba: Ed. UFPR, 2020.

Momm-Schult, Sandra Irene, et al. **Uso urbano e serviços ecossistêmicos em áreas protegidas: o caso do Parque Guaraciaba em Santo André (SP)**, Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo - APP URBANA 2014, Belém – PA, 2014

Moura, Verena Cíbele Soares. **Impactos Ambientais da Urbanização: Esforços de Pesquisa Brasileira e Mapeamento e Percepção de Moradores na Cidade e Santarém**, Pará, Santarém, SIBI/UFOPA, 2019

Novo Plano Diretor de São Luís | Instituto da Cidade, Pesquisa e
<<https://www.saoluis.ma.gov.br/incid/conteudo/4023>> Acessado em: 23 maio. 2023.

NOWAK, J. N.; et al. Peole & Trees: assessing the US Urban Forest Resource. *Journal of Forestry*, v. 99, n. 3, p. 37-42, 2001.

Nunes, Keila Alves de Campos. **As Geotecnologias no Ensino de Geografia: O uso do Google Earth no Processos de Ensino Aprendizagem sobre a Cidade**, UFG, 2019

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **World Urbanization Prospects: Highlights. New York**: Department of Economic and Social Affairs, 2014.

PAULO, Rodolfo Fares. **Crescimento Urbano Desordenado: o papel do Estado e da Sociedade diante dos impactos socioambientais**, Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2018.

Peres, Renata Bovo. **O Planejamento Regional e Urbano e a Questão Ambiental: Análise da Relação entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara e São Carlos, SP, Brasil**. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2012.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. da. **Arborização urbana**. Jaboticabal: UNESP/FCAV/FUNEP. 69p. (Boletim Acadêmico. Série Arborização Urbana). 2002.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. **Arborização urbana**. Jaboticabal: UNESP/FCAV/FUNEP, (Boletim Acadêmico. Série Arborização Urbana), 2002.

Prefeitura da Cidade de Recife. **Recife Sustentável e de Baixo Carbono Plano de Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)**, Urban LEDS, Recife, 2016.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS - [saoluis.ma.gov.br](https://www.saoluis.ma.gov.br).
<https://www.saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/4023_anexo_iii_plano_diretor_2023_-_tabelas_-_macrozoneamento_urbano.pdf> Acessado em: 23 maio. 2023.

R. Pradhan et al. Biomass carbon and soil nutrient status in urban green sites at foothills of eastern Himalayas: Implication for carbon management. Current Research in Environmental Sustainability 4 (2022) 100168

Reis, Allan Rodrigo Nunho dos, et al. **Estoques de Carbono e Dióxido de Carbono Equivalente em Árvores de Rua de Cidades Brasileiras**. REVSBAU, Curitiba – PR, v.14, n.4, p. 26-35, 2019.

Revisão e atualização da legislação ... - São Luís, Maranhão.
<<https://saoluis.ma.gov.br/projeto/20/revisao-e-atualizacao-da-legislacao-urbanistica/>> Acessado em: 23 maio. 2023.

Revisão e atualização da legislação ... - São Luís, Maranhão.
<<https://saoluis.ma.gov.br/projeto/20/revisao-e-atualizacao-da-legislacao-urbanistica/>> Acessado em: 23 maio. 2023.

RODRIGUES, L. S.; COPATTI, C. E. **Diversidade arbórea as escolas da área urbana de São Vicente do Sul/RS**. Biodiversidade Pampeana, v. 7, n. 1, p. 7-12, 2009.

Ruschel, Rodrigo Semeria, Demanboro, Antônio Carlos, **Serviços Ecosistêmicos Urbanos: Fixação de Carbono nas Áreas de Preservação Permanente de Campinas-SP**, Revista Ambiente & Sociedade, São Paulo. Vol. 23, 2020

S.K. Behera, et al. Assessment of carbon sequestration potential of tropical tree species for urban forestry in India, Ecological Engineering 181 (2022) 106692

Silva Junior, Eleudo Esteves de Araújo. **Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica** xxvi, 272 p., 297 mm. ENC/FT/UnB, Geotecnia, 2019.

Silva, Sammy Daves dos Santos, et al. **Estimativa de Sequestro de Carbono em Área Urbana: Av. Gov. Paes de Carvalho, Conceição do Araguaia – PA**, VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB, 2016

Sousa, Cyntia Alves Félix de. **Impactos negativos provenientes do Urban Sprawn sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame, no município de João Pessoa**, PB, Brasil, UFPB/CT, 2017

TOLEDO, F. dos S.; SANTOS, D. G. dos. **Espaços livres de construções**. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana** – REVSBAU v.3, n.1, mar. 2008, p. 73-91. Piracicaba-SP, 2008. Revista Árvore, v.30, n.4, p.679-686. Viçosa-MG, 2006.

Tôsto, Sérgio Gomes, et al. **Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde**, EMBRAPA, Brasília DF, 2014.

U.S. Sagar et al. Future impacts of Urban and Peri-urban agriculture on carbon stock and land surface temperatures in India. *Urban Climate* 45 (2022) 101267

Urban Data, 2016. Disponível em: < http://urbandata.unhabitat.org/data-country/?countries=BR&indicators=total_length_road,rural_population,urban_population_countries,urban_slum_population_countries,population> . Acessado em: 23 abr. 2023.

V. Wang and J. Gao. Estimation of carbon stock in urban parks: Biophysical parameters, thresholds, reliability, and sampling load by plant type. *Urban Forestry & Urban Greening* 55 (2020) 126852

X. Hou et al. Effect of the elevated ozone on greening tree species of urban: Alterations in C-N-P stoichiometry and nutrient stock allocation to leaves and fine roots. *Urban Forestry & Urban Greening* 76 (2022) 127735

Xiao, Yi, et al. Can new-type urbanization reduce urban building carbon emissions New evidence from China, *Sustainable Cities and Society* 90 (2023) 104410

Xiaoran Hou , Tao Lv , Jie Xu , Xu Deng , Feng Liu , Electrification transition and carbon emission reduction of urban passenger Transportation systems——A case study of Shenzhen, China, *Sustainable Cities and Society* (2023), doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104511>

Z.A. Rahaman et al. Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. *Building and Environment* 222 (2022) 109335

ANEXOS

[RBGF] Agradecimento pela submissão

Caixa de entrada x





Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio via Portal de Periódicos UFPE

<conexao.revistas@ufpe.br>

para mim, Poliana, Camila, Alexandre, Rosana, Ana, Flavia, Naila, Larissa, Celso, Denilson

▼

20:36 (há 0 minuto)



Olá,

Fabio Augusto Siqueira dos Santos submeteu o manuscrito, "EFEITO DE MARCOS TEMPORAIS DO CARBONO EM FATORES COMO ANÁLISE DE DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA E DE DESMATAMENTO NA ILHA DO MARANHÃO" ao periódico Revista Brasileira de Geografia Física.

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio
Josiclêda Domiciano Galvêncio Editora Chefe da Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF Editor-in-Chief of Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF <http://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

 Responder

 Responder a todos

 Encaminhar