



Universidade de Brasília

Programa de Pós-graduação do Centro de Desenvolvimento Sustentável

Mestrado em Desenvolvimento Sustentável

LUCAS EMANUEL SARAIVA PARAHYBA

**SUMIDOUROS DE CARBONO NO DISTRITO FEDERAL: ANÁLISE POR
SENSORIAMENTO REMOTO**

Brasília, Novembro de 2024

Lucas Emanuel Saraiva Parahyba

Sumidouros de Carbono no Distrito Federal: análise por sensoriamento remoto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte do requisito necessário para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília, Novembro de 2024

LUCAS EMANUEL SARAIVA PARAHYBA

**SUMIDOUROS DE CARBONO NO DISTRITO FEDERAL: ANÁLISE POR
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do
Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de
Brasília como parte do requisito necessário para obtenção do
título de Mestre em Desenvolvimento Sustentável.

Membros da banca examinadora

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista
PPG-CDS, UnB
(Orientador)

Prof. Dr. Diego Pereira Lindoso
PPG-CDS, UnB
(Membro Interno)

Prof. Dr. Rubens do Amaral
GDF, Brasília
(Membro Externo)

Brasília, Novembro de 2024

RESUMO

A intensificação das mudanças climáticas e as problemáticas que ela acarreta forçam que os países se organizem para combatê-la. É sedimentado o conhecimento que a aceleração das mudanças climáticas tem causas antropogênicas. O processo está intimamente relacionado com o aumento dos gases efeito estufa (GEE) na atmosfera. A produção desses gases na zona urbana está ligada à ocupação da cidade. As áreas verdes das cidades prestam serviços ecossistêmicos (SE), isto é, benefícios que a população obtém a partir dos ecossistemas naturais. De forma direta, dentre os vários SE prestados nas cidades pelas áreas verdes no combate às mudanças climáticas, destacamos a capacidade de absorção de GEE, particularmente o dióxido de carbono (CO₂), atuando como sumidouros de carbono, retirando o gás da atmosfera e estocando-o na biomassa vegetal. Da mesma forma, a gestão, planejamento e manutenção de áreas verdes urbanas pode ser compreendido como uma Solução baseada na Natureza (SbN). Esse estudo tem como objetivo comparar a capacidade fotossintética, que podem sugerir a capacidade de sumidouros de GEE, das áreas verdes presentes nos Setores Noroeste, Sudoeste, Asa Norte e Asa Sul, Brasília – Distrito Federal, Brasil. Para tal utilizou-se de técnicas de geoprocessamento através de seleção, tratamento e análise de sensores multiespectrais utilizando do índice CO₂flux. A pesquisa propõe-se ainda a entender como áreas protegidas ambientalmente dentro dos Setores contribuem na capacidade fotossintética indicando-as como sumidouros de carbono. A intenção é subsidiar com dados os tomadores de decisões da forma urbana para o combate às mudanças climáticas e caminhar para o desenvolvimento sustentável nas cidades brasileiras. Concluiu-se que os Setores Noroeste e Sudoeste têm os piores valores de CO₂flux e a Asa Norte e Asa Sul os melhores, indicando que as diretrizes urbanísticas e paisagísticas não foram seguidas. Pode-se notar ainda que as áreas ambientalmente geram impacto de CO₂flux na região, mas a proporção dessa influência depende do quão bem é preservada a área e o Setor.

Palavras-chave: 1. Serviços ecossistêmicos; 2. Geoprocessamento; 3. Áreas verdes urbanas; 4. Mitigação climática; 5. Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The intensification of climate change and the challenges it brings compel nations to organize their efforts to combat it. It is well-established that the acceleration of climate change has anthropogenic causes, closely linked to the increase in greenhouse gases (GHG) in the atmosphere. The production of these gases in urban areas is associated with the morphology of city occupation. Green areas in cities provide ecosystem services (ES), meaning the benefits that populations derive from natural ecosystems. Among the various ES provided by urban green areas to combat climate change, we highlight their capacity to absorb GHG, particularly carbon dioxide (CO₂), acting as carbon sinks that remove this gas from the atmosphere and store it in plant biomass. Likewise, the management, planning, and maintenance of urban green spaces can be understood as a Nature-Based Solution (NbS). This study aims to compare the photosynthetic capacity, which may suggest the GHG sink capacity, of green areas present in the Northwest, Southwest, Asa Norte and Asa Sul Sectors, Brasília – Federal District, Brazil. To achieve this, geoprocessing techniques were employed, utilizing selection, processing, and analysis of multispectral sensors through the CO₂flux index. The research also aims to understand how environmentally protected areas within the Sectors contribute to photosynthetic capacity, indicating them as carbon sinks. The intention is to provide data to inform decision-makers on urban morphology for climate change mitigation and to advance sustainable development in Brazilian cities. The findings indicate that the Noroeste and Sudoeste districts have the lowest CO₂flux values, while Asa Norte and Asa Sul show the highest, suggesting that urban and landscape guidelines were not followed. Additionally, it is observed that environmentally protected areas have an impact on CO₂flux in the region; however, the extent of this influence depends on the degree of preservation within each area and district.

Keywords: 1. Ecosystem services; 2. Geoprocessing; 3. Urban green areas; 4. Multispectral analysis; 5. Sustainable development

.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E BEM-ESTAR HUMANO	26
FIGURA 2: OFERTA E DEMANDA DE SE.....	27
FIGURA 3: TIPOS DE SBN	36
FIGURA 4: PLANO PILOTO DE BRASÍLIA POR LÚCIO COSTA	39
FIGURA 5: RECORTE DOS DESENHOS ORIGINAIS DE LÚCIO COSTA PARA AS ÁREAS RESIDENCIAIS.	40
FIGURA 6: ANEXO DO DOCUMENTO "BRASÍLIA REVISITADA	42
FIGURA 7: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, DISTRITO FEDERAL	43
FIGURA 8: POLIGONAL DA RA I - PLANO PILOTO	44
FIGURA 9: MAPA DE LOCALIZAÇÃO PARQUE ECOLÓGICO OLHOS D'ÁGUA	45
FIGURA 10: SUDOESTE E OCTOGONAL	46
FIGURA 11: QUADRAS 500 SUDOESTE	47
FIGURA 12: MAPA DE LOCALIZAÇÃO INMET / PARQUE ECOLÓGICO DAS SUCUPIRAS	48
FIGURA 13: MAPA DE LOCALIZAÇÃO ÁREA INDÍGENA FULNI-Ô	51
FIGURA 14: BANDAS ESPECTRAIS	54
FIGURA 15: PERFIL ESPECTRAL DE ALGUNS MATERIAIS	54
FIGURA 16: ESQUEMATIZAÇÃO DA METODOLOGIA	59
FIGURA 17 - SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E BEM-ESTAR HUMANO	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: LEGISLAÇÃO FEDERAL SOBRE "ÁREA VERDE URBANA"	20
TABELA 2: DADOS SOCIOECONÔMICOS DO SUDOESTE, PLANO PILOTO E NOROESTE	52

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1: CÁLCULO NDVI	56
EQUAÇÃO 2: CÁLCULO DO PRI.....	56
EQUAÇÃO 3: CÁLCULO DO SPRI.....	56
EQUAÇÃO 4: CÁLCULO DO CO ₂ FLUX	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CMED	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO2	Dióxido de carbono
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
COP	Conferências das Partes
DF	Distrito Federal
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GEE	Gases do efeito estufa
IAV	Índice de áreas verdes
IAVMV	Índice de áreas verdes por maciços vegetais
IAVT	Índice de áreas verdes total
IAVU	Índice de áreas verdes utilizáveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
MEA	Painel de Avaliação dos Ecossistemas do Milênio
MPF	Ministério Público Federal
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NICFI	Programa de Dados de Satélite da Iniciativa Internacional para o Clima e as Florestas da Noruega
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
ONU	Organização das Nações Unidas
OMS	Organização Mundial da Saúde

PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RA	Região Administrativa
SBAU	Sociedade Brasileira de Arborização Urbana
SE	Serviços ecossistêmicos
SEMA-DF	Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal
TERRACAP	Companhia Imobiliária de Brasília
UC	Unidades de Conservação
EU	Comissão Europeia
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico
ZEEDPE	Zona Ecológico-Econômica de Dinamização Produtiva com Equidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	13
1.2	OBJETIVOS DE PESQUISA.....	15
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	15
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	15
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E COMPROMISSOS DE MITIGAÇÃO DOS GEE	17
2.1.1	<i>Contexto histórico</i>	17
2.2	VERDE URBANO	19
2.2.1	<i>Aspecto mercadológico do Verde Urbano</i>	23
2.3	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	25
2.3.1.1	Serviços ecossistêmicos de suporte	28
2.4	SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN)	35
3	LOCAL DA PESQUISA	38
3.1.1	<i>Regiões Administrativas e o Plano Piloto (RA-I)</i>	43
3.1.2	<i>Região Administrativa Sudoeste/Octogonal (RA-XXII)</i>	45
3.1.3	<i>Setor Noroeste</i>	49
3.1.4	<i>Determinação do local de pesquisa</i>	51
4	MATERIAL E MÉTODOS	54
5	ARTIGO: SUMIDOUROS DE CARBONO NO DISTRITO FEDERAL: ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS RESIDENCIAIS E A INFLUÊNCIA DE ÁREAS PROTEGIDAS	60
5.1	INTRODUÇÃO	60
5.2	LOCAL DE PESQUISA	65
5.3	OBJETIVO	67
5.3.1	<i>Objetivos Específicos</i>	67
5.4	MATERIAL E MÉTODOS	67
5.5	RESULTADOS	72

5.5.1	<i>Setor Noroeste</i>	78
5.5.2	<i>Setor Sudoeste</i>	81
5.5.3	<i>Asa Norte</i>	84
5.5.4	<i>Asa Sul</i>	87
5.5.5	<i>Comparação entre Setores</i>	88
5.6	DISCUSSÃO	90
5.7	CONCLUSÃO	91
5.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
6	CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO	97
7	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

O maior acelerador das mudanças climáticas é a ação direta da humanidade, causadora do efeito estufa excessivo, especialmente após a primeira revolução industrial (IPCC, 2021). Dentre os gases do efeito estufa (GEE) se destaca o dióxido de carbono (CO_2) com principal gás causador em termos absolutos do aumento da temperatura global¹ por possuir o maior forçamento radiativo². O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) projeta consequências devastadoras para a vida no planeta caso as temperaturas globais ultrapassem $1,5^\circ\text{C}$, na média global, a mais do que as temperaturas registradas entre os anos de 1850-1900. No Sexto Relatório de Avaliação (Sixth Assessment Report, em inglês, ou AR6) de 2023 em todos os cenários projetados de emissão de GEE a temperatura global, em média, supera o nível de $1,5^\circ\text{C}$ de aumento antes da primeira metade da década de 2030. O aquecimento global continuará aumentando principalmente por conta das emissões do CO_2 (IPCC, 2023).

Para fins dessa pesquisa considera-se “sumidouro” como um sistema que absorve mais do que emite um gás de efeito de estufa, um aerossol ou um precursor de um gás de efeito de estufa ou aerossol da atmosfera (IPCC, 2013). Logo, um sumidouro de carbono é uma área que captura e armazena carbono atmosférico, e, no somatório, causa a diminuição do gás CO_2 na atmosfera, entre outros.

Em áreas próximas à sumidouros de carbono a população obtém, a partir dos ecossistemas naturais, uma regulação do microclima, essa é a definição de Serviços Ecossistêmicos (SE) de regulação (MEA, 2005; Amaral *et al.*, 2020). Nota-se que quando mais bem estruturada (da perspectiva ambiental) for a área verde urbana melhor será a prestação de SE.

A fim de otimizar a capacidade dessas áreas é necessário voltar-se para como a natureza se comporta. Não há que se inventar algo novo e sim amplificar as Soluções baseadas na Natureza (SbN), isso é, gerir e restaurar ecossistemas naturais ou modificados proporcionando

¹ Existem outros gases que contribuem para o aquecimento global, como metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), esses dois inclusive possuem um Potencial de Aquecimento Global (GWP, em inglês) superior ao CO_2 , que é usado como valor de referência (Ver Tabela 1 nos Anexos). Apesar disso, o CO_2 é o maior catalisador do aquecimento global por seu volume emitido ser muito maior. (IPCC, 2013)

² O forçamento radiativo (FR) quantifica, em watts por metro quadrado (W m^{-2}), a mudança nos fluxos de energia provocados na troposfera pelos catalisadores do aquecimento global. O FR antropogênico total para 2011 em relação a 1750 é de $2,29 \text{ W m}^{-2}$, sendo o CO_2 sozinho causador de um FR de $1,68 \text{ W m}^{-2}$. (IPCC, op. cit.).

simultaneamente benefícios para o bem-estar humano e a biodiversidade (Cohen Shacham e Walters, 2016). Segundo Kamm e Gallardo (2023) a integração dos ecossistemas nos projetos de engenharia pode oferecer SE e podem ser entendidas como infraestrutura verde.

Considerando que as cidades representam mais de 70% das emissões globais de CO₂, principal componente dos GEE, provenientes de combustíveis fósseis (Gurney, 2015). Tendo em vista que 55,59% das emissões de CO₂ no Distrito Federal (DF) são do setor de Energia e que 90,6% desse setor é representado apenas por transporte (Bittencourt *et al.*, 2014), o estudo ambiental, nessa localidade, tem que se voltar para o ambiente urbano.

Dado que a forma urbana é composta de um número de variáveis muito grande faz-se necessário a busca por áreas que tenham semelhanças para que, assim, possa-se reduzir a quantidade de fatores que influenciam na oscilação de resultados. Opta-se, dessa maneira, por escolher o Setor Noroeste, Sudoeste, Asa Norte e Asa Sul, pertencentes à Brasília, DF. Os setores possuem equivalências quanto a padrões socioeconômicos e diretrizes arquitetônicas e urbanísticas residenciais. Destaca-se que o Setor Noroeste, Sudoeste e Asa Norte possuem zonas de proteção ambiental.

Percebe-se a importância de investigar o comportamento dos espaços verdes na área urbana de Brasília quanto à mitigação dos GEE. Busca-se, então, uma ferramenta que demonstre a capacidade das áreas urbanas de mitigar a emissão de GEE. Entende-se como mitigação, segundo o AR6 de 2023, “uma intervenção humana para reduzir as emissões ou aumentar os sumidouros de gases com efeito de estufa.”

A tecnologia, métodos e procedimentos para detecção de GEE através de Sensoriamento Remoto (SR) é notoriamente fundamentada e aceita em diferentes campos de pesquisa. Técnicas de processamento de imagens multiespectrais como NDVI (Rouse *et al.*, 1974) e CO₂flux (Rahman *et al.*, 2000), assim como as de processamento hiperespectral como ICO₂ (Baptista, 2003; 2004) têm a competência de analisar as formações vegetais quanto a maior eficácia fotossintética. Tais técnicas tem notoriedade e comprovação científica para a determinação do desempenho das áreas verdes na função de sequestro de carbono atuando como um sumidouro de carbono (Amaral *et al.*, 2020).

A dissertação pretende contribuir com o aprimoramento do conhecimento acerca da capacidade de sequestro de carbono das áreas verdes urbanas residenciais presentes no em alguns setores do DF, comparando por meio de imagens das regiões do Setor Noroeste,

Sudoeste, Asa Norte e Asa Sul. Entender como as possíveis zonas de sumidouro de carbono das regiões de pesquisa se apresentam, qual o potencial de SE de suporte e quais diretrizes podem ser extraídas para os planejadores e gestores do ambiente urbano.

1.1 Justificativa e Relevância

Procura-se aprofundar o conhecimento sobre as áreas verdes urbanas no DF e em como elas contribuem para a mitigação de GEE e melhora a qualidade de vida da população.

Esta pesquisa fundamenta-se na Lei Nº 12.187/2009 que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC especificamente nos Art. 4º, V; Art. 5º VI e IX; Art. 6º, XVII, citados abaixo:

- Art. 4 A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC visará:
- IV - **ao fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa no território nacional;**
- Art. 5º São diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima:
- VI - a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, e a difusão de tecnologias, processos e práticas orientados a:
- a) mitigar a mudança do clima por meio da redução de emissões antrópicas por fontes e do fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;**
- b) reduzir as incertezas nas projeções nacionais e regionais futuras da mudança do clima;
- c) identificar vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas;
- IX - o apoio e o fomento às atividades que efetivamente reduzam as emissões ou promovam as remoções por sumidouros de gases de efeito estufa;
- Art. 6º São instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima:
- XVII - o estabelecimento de padrões ambientais e de metas, quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa; (BRASIL, 2009, grifo nosso).

A Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal (SEMA-DF) lançou em 2016 o relatório “Mudanças climáticas no DF e RIDE” em que prevê as mudanças climáticas que podem afetar o DF ao longo do século XXI. No capítulo “Recomendações aos formuladores de políticas e tomadores de decisão do DF e RIDE” destaca-se o trecho abaixo:

O enfrentamento da mudança climática só será eficaz se baseado em evidências científicas produzidas pela melhor ciência disponível – e, intransigentemente, na escala local de formulação de políticas públicas e tomadas de decisão.

Estratégias de enfrentamento da mudança climática incluem: (1) a **mitigação dos gases de efeito estufa**, (2) a adaptação dos sistemas humanos e naturais às mudanças do clima e (3) estratégias integradas de mitigação e adaptação para a gestão do risco climático.

Do ponto de vista da governança, as estratégias de enfrentamento da mudança do clima devem ser entendidas como parte de toda estratégia de desenvolvimento local. Ou seja, mitigação, adaptação e gestão do risco climático devem ser consideradas como transversais e adicionais às políticas públicas de desenvolvimento (GDF *et al.*, 2016, grifo nosso).

Ressalta-se que a PNMC cita expressamente a importância de estudos científicos acerca das áreas sumidouros de GEE. O mesmo acontece com o relatório SEMA-DF que vai além e aponta que as estratégias de enfrentamento da mudança do clima são parte do desenvolvimento local.

A análise da vegetação urbana é de suma importância dada a sua ação imediata na qualidade de vida da população. Adicionalmente, o metro quadrado urbano é elevado e a justificativa para implementar essas áreas precisa, necessariamente, passar por razões econômicas.

O controle do microclima, das vazões excessivas em períodos chuvosos e a umidificação das áreas são apenas alguns motivadores para o incentivo da preservação e ampliação das áreas verdes. Por outro lado, ainda é incipiente a análise de GEE através de sensoriamento remoto em áreas urbanas. Especialmente quando se trata de países em desenvolvimento como o Brasil (Tavares, Bergier e Guaraldo, 2021). Pouco estudo foi feito sobre a vegetação urbana do Cerrado. Esse bioma cobre quase 25% do território nacional (IBGE, 2010) e possui mais de 83% de taxa de urbanização, logo o maior conhecimento sobre a vegetação urbana desse bioma pode ser aplicado nos mais distintos estudos e pesquisas no país.

Tavares, Bergier e Guaraldo (2021) realizaram uma revisão da literatura acadêmica na bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *ScienceDirect* e *SciELO* e identificaram que menos 1% das pesquisas são brasileiras com temas relacionados as seguintes palavras-chaves: serviços ecossistêmicos, serviços ambientais, serviços de ecohidrologia, florestas, espaços verdes urbanos. Têm havido poucas tentativas de quantificar e mapear a prestação de serviços ecossistêmicos nas cidades (Davies *et al.*, 2011).

A pesquisa se insere não só no campo ambiental, mas também no econômico dado o mercado de carbono citado na 26ª Conferência das Partes da Convenção (COP) da ONU sobre Mudanças do Clima (COP-26), que ocorreu entre 31 de outubro e 12 de novembro de 2021 em Glasgow, na Escócia. Já existem linhas de crédito mundiais para esse comércio e é fundamental a quantificação dos créditos para que seja feita a devida compensação. O desenvolvimento de

pesquisa quando a ação das áreas verdes urbanas como sumidouros de carbono pode contribuir para a formação da informação.

Existe importante relevância dos SE como subsídio para o planejamento da paisagem urbana (Amaral *et al.*, 2020). Assim, está justificada e apontada a relevância científica da dissertação, que poderá auxiliar os tomadores de decisão e protagonistas na forma urbana fundamentando diretrizes, programas e ações de políticas públicas que enfatizem a mitigação de GEE e o bem-estar da população, dessa maneira, contribuindo para o cumprimento das medidas de mitigação das mudanças climáticas.

1.2 Objetivos de pesquisa

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar o desempenho, enquanto prestadores de serviço ecossistêmico (SE) de suporte, através da capacidade de sumidouros de GEE, as áreas verdes urbanas residenciais presentes nos setores Sudoeste, Noroeste, Asa Norte e Asa Sul, em Brasília – DF.

Esta pesquisa, então, busca contribuir com integração de Soluções baseadas na Natureza (SbN), mensurados em termos de SE, em dados para os tomadores de decisões da forma urbana.

1.2.2 Objetivos específicos

a) Identificar e quantificar as áreas verdes urbanas residenciais, nas regiões pesquisadas, que agem como sumidouros de GEE. Classificar e comparar os sumidouros de GEE das regiões.

b) Identificar e quantificar as áreas verdes urbanas residenciais, nas regiões pesquisadas, a influências das áreas preservadas, não disponíveis para ocupação residencial. Avaliar a importância dessas regiões preservadas para as regiões.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação foi desenvolvida na forma de artigo. A divisão da estrutura do trabalho contém 3 grandes partes: a introdução, apresentando o contexto geral da pesquisa, o problema, o objetivo geral e específicos, o referencial teórico, o local de pesquisa, material e métodos utilizados; o artigo científico, presta-se a aplicação dos métodos para alcançar os objetivos específicos já detalhados com estrutura completa em si mesmo; e a última parte como conclusão, analisando os resultados do artigo e configurando o objetivo geral além das sugestões para futuras pesquisas.

Artigo: Sumidouros de carbono no Distrito Federal: análise por sensoriamento remoto de áreas residenciais e o desempenho das áreas verdes não edificáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mudanças climáticas e compromissos de mitigação dos GEE

2.1.1 Contexto histórico

Tanto o uso intensivo de recursos naturais como a forma das cidades contribuem para instabilidades climáticas e ecossistêmicas (MARSH, 1864; OSBORN, 1948 apud Amaral R. , 2023). Na década de 1960 o livro “Primavera Silenciosa”, da escritora Rachel Carson, repercute internacionalmente sobre os impactos e degradação ambiental causados pela ação humana. Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) convoca a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, Suécia, oportunidade em que se criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Em abril de 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMED), conhecida como Comissão Brundtland, publica o relatório, “Nosso Futuro Comum” (Our Common Future, em inglês), também conhecido como Relatório Brundtland, que traz à luz o termo “desenvolvimento sustentável”:

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades. [...] Mesmo na noção mais estreita de sustentabilidade física está implícita uma preocupação com a equidade social entre gerações que deve, evidentemente, ser extensiva à equidade em cada geração (CMED, 1987).

Em 1992, 5 anos após o Relatório Brundtland, é realizada na cidade do Rio de Janeiro a “Cúpula da Terra”. Nessa conferência, organizada pela ONU, é estabelecida a Agenda 21, documento que planeja a implementação de ações para um desenvolvimento sustentável. O evento foi um marco histórico na luta ambiental global e ficou conhecido como Rio-92.

Destaca-se o papel primordial da Rio-92 com a assinatura e compromisso dos países em favor do meio ambiente mais equilibrado e sustentável. A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) é assinada na Rio-92 e conta com três objetivos (Brasil, 1994):

1. Conservação da biodiversidade.

2. Uso sustentável de seus componentes.
3. Repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização de recursos genéticos.

A CDB abriu caminho para protocolos específicos como o de Cartagena (2000), sobre biossegurança de organismos vivos modificados (LMOs) e o Protocolo de Nagoia (2014). O Brasil é signatário de ambos (Brasil, 2006; Brasil, 2023). Ainda na linha de influência da Rio-92 é criada em 2012 a Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES, em inglês).

A Rio-92 também foi essencial na fomentação de acordos internacionais de combate as mudanças climáticas. Em 1995, na cidade de Berlim, é realizada a primeira Conferência das Partes (COP). Evento anual organizado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) onde os países associados discutem a agenda global ambiental.

Nesse contexto, a COP-21, estabelece o Acordo de Paris (2015), no qual os países membros voluntariamente assumem o compromisso com a redução de emissões de GEE. A pactuação foi denominada Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, em inglês). Assim sendo, cada país, através de decisões internas, determinou como pretende contribuir para a mitigação da emissão de GEE e das mudanças climáticas.

Nessa linha, o Brasil assumiu em 21/03/2020 perante a UNFCCC a sua NDC que, depois de alterações múltiplas a versão vigente foi produzida em 2023, expressa o compromisso de reduzir as emissões líquidas de GEE em 48% até 2025 e 53% até 2030 em referências aos dados de 2005 e mais, o Brasil comprometeu-se a atingir a neutralidade nas emissões de GEE até 2050 (BRASIL, 2022).

Da mesma maneira, o Distrito Federal (DF) instituiu em 2022, através do Decreto nº 43.413 de 07 de junho, o Plano Carbono Neutro do Distrito Federal, a contribuição distritalmente determinada, a “versão local” da NDC, responsabilizando-se a reduzir em 20% até o ano de 2025 e em 37,4% até 2030 os GEE, tomando como referência o ano de 2013 (GDF, 2022).

Portanto, está posto que o GEE é o principal componente responsável pela aceleração das mudanças climáticas e o comprometimento, ao menos em teoria e no discurso político, do governo federal e distrital em reduzir as emissões dos gases. Em um cenário de grande

urbanização da população brasileira é necessário discutir qual o papel do verde urbano para a mitigação de efeitos das mudanças climáticas.

2.2 Verde urbano

A mitigação dos GEE deve ser feita tanto no meio urbano como no rural. Essa dissertação se propõe a explorar a mitigação no meio urbano.

As áreas verdes urbanas são fundamentais para aprimorar a sustentabilidade ambiental das cidades (Werneck e Romero, 2022; Lima e Amorim, 2006). Dentro do meio urbano, as áreas verdes se destacam pela mitigação das emissões de GEE e por arrefecimento da temperatura local (Viveiros, 2017; MEA, 2005). A capacidade de absorção e retenção de CO₂ atmosférico qualifica essas zonas como sumidouros de carbono (Ferreira, 2010; Almeida, 2006; Amaral *et al.*, 2020). Segundo o Painel de Avaliação dos Ecossistemas do Milênio (MEA, em inglês, 2005) durante o século XIX e o começo do século XX os ecossistemas terrestres foram, via de regra, uma fonte líquida de CO₂, ou seja, produziam mais CO₂ do que retinham. Na metade do século passado tornaram-se um sumidouro de CO₂ e ozônio troposférico (outro GEE), retirando-os da atmosfera mais do que emitindo. O IPCC (2023) destaca o protagonismo que cidades assumem quando se trata do combate às mudanças climáticas:

Sistemas urbanos são críticos para alcançar reduções profundas de emissões e avançar no desenvolvimento resiliente do clima, particularmente quando isso envolve um planejamento integrado que incorpora infraestrutura física, natural e social (alta confiança). Profundas reduções de emissões e ações de adaptação integradas são avançadas por: planejamento do uso do solo e tomada de decisões integrados e inclusivos; forma urbana compacta pela colocação de empregos e moradias; redução ou mudança no consumo de energia e materiais urbanos; eletrificação em combinação com fontes de baixas emissões; melhoria da infraestrutura de gestão de água e resíduos; **e aumento da absorção e armazenamento de carbono no ambiente urbano** (por exemplo, materiais de construção de base biológica, superfícies permeáveis e infraestrutura urbana verde e azul).

[...]

A infraestrutura verde/natural e azul, como a silvicultura urbana, telhados verdes, lagoas e lagos, e a restauração de rios **podem mitigar a mudança do clima através da absorção e armazenamento de carbono, emissões evitadas e redução no uso de energia**, reduzindo, ao mesmo tempo, o risco de eventos extremos, como ondas de calor, precipitação pesada e secas, e avançando nos cobenefícios para a saúde, o bem-estar e a subsistência (confiança média. (IPCC, 2023, grifo nosso).

Posto o papel central que as áreas verdes urbanas têm no combate aos efeitos da mudança climática, torna-se indispensável conceituar e entender como a legislação brasileira entende “áreas verdes urbanas”. Infelizmente, na legislação a expressão não é frequente e fica subentendido o conceito. Na Tabela 1, abaixo, está o resumo das normas legais federais pertinentes para o caso.

Tabela 1: Legislação Federal sobre "área verde urbana"

Norma	Lei nº 10.257 - Estatuto das Cidades	Lei nº 12.651 - Código Florestal
Ano	2001	2012
Texto Legal	Art. 3º Compete à União, entre outras atribuições de interesse da política urbana: III - promover, por iniciativa própria e em conjunto com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, programas de construção de moradias e melhoria das condições habitacionais, de saneamento básico, das calçadas, dos passeios públicos, do mobiliário urbano e dos demais espaços de uso público; (BRASIL, 2001)	Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por: XX - Área verde urbana: espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais; (BRASIL, 2012)
Comentário dos autores	Entende-se que as áreas verdes estão incluídas em "espaços de uso público".	Definição clara de Área verde urbana

Fonte: Autoria própria

No âmbito do DF destaca-se o Decreto nº 39.469, de 22 de novembro de 2018 que dispõe sobre a autorização de supressão de vegetação nativa, a compensação florestal, o manejo da arborização urbana em áreas verdes públicas e privadas e a declaração de imunidade ao corte de indivíduos arbóreos situados no âmbito do Distrito Federal. Muito embora não defina “área verde urbana” indica as várias funções ambientais e a necessidade de ampliação de tais áreas.

Art. 40. A NOVACAP deve manejar as áreas verdes urbanas de acordo com o Plano Diretor de Arborização Urbana - PDAU de forma a:

I - **preservar a sanidade e as funções ambientais prestadas pelos indivíduos arbóreos situados em área urbana, como amenização do microclima**, embelezamento da paisagem, atração e abrigo da fauna, dentre outros;

[...]

Art. 41. O PDAU será elaborado conjuntamente pela SEGETH, SEMA, NOVACAP e IBRAM, devendo conter no mínimo:

I - Identificação das regiões nas quais:

a) é necessário o aumento da arborização para se atingir índices desejáveis de **área verde por habitante**;

[...]

d) **a qualificação da arborização pode colaborar com a melhoria do microclima urbano e mitigar ilhas de calor**;

[...]

III - Estratégia para a **implementação de áreas verdes intraurbanas e aumento da arborização**, conforme indicação do Zoneamento Ecológico Econômico;

IV - identificação das espécies mais apropriadas para compor a arborização urbana, tendo em vista sua adaptação às condições ambientais locais e as **funções estéticas, culturais e ambientais** que devem prestar;

V - outras estratégias de manutenção e **qualificação das áreas verdes urbanas que potencializem o papel prestado pela arborização na qualidade de vida dos cidadãos do Distrito Federal** (GDF, 2018, grifo nosso).

Mesmo o Plano de Mitigação para redução da emissão de gases de efeito estufa do DF não trata diretamente sobre o tema, ainda que tenha uma seção reservada para o “Uso da Terra, mudança do solo da terra e florestas” (GDF, 2021).

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) não estabelece a definição de “áreas verdes urbanas” ainda que, em muitos momentos, trate da necessidade de ampliação da mesma. O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do DF limita-se a dizer o seguinte:

Art. 23. São diretrizes para a ZEEDPE³:

XI – a implantação do Sistema de **Áreas Verdes Permeáveis Intraurbanas**, como parte da estratégia de manutenção da permeabilidade do solo, infiltração, recarga, manejo de águas pluviais e **melhoria do microclima urbano**, inclusive com práticas agroecológicas e de fins comunitários, atendendo às especificidades de cada subzona, conforme o disposto no art. 49, VI; (GDF, 2019, grifo nosso).

Conclui-se, portanto, que ainda que o IPCC destaque a importâncias das áreas verdes urbanas para a mitigação dos GEE a Legislação Brasileira e Distrital é demasiadamente rasa, quando não omissa, em tratar do tema. Posto a escassez da legislação brasileira em tratar do tema é preciso conceitua-la através de autores diversos para progredir no nosso estudo.

Benini e Martin (2010) assim como Bargas e Matias (2011) entendem a área verde como espaço livre, tomado por algum tipo de vegetação, e com potencial para contribuir, em termos ambientais, com aumento do conforto térmico, controle da poluição do ar e acústica, interceptação das águas das chuvas, e abrigo à fauna.

Em concepção complementar, Rubira (2016) conclui que “área verde” não se confunde com “área livre”, pois a primeira deve, necessariamente, ser capaz de exercer função ecológica. A noção de que as áreas verdes são centrais para a qualificação ecológica do ambiente urbano

³ Zona Ecológico-Econômica de Dinamização Produtiva com Equidade – ZEEDPE, destinada a diversificar as bases produtivas do Distrito Federal com inclusão socioeconômica compatível com os riscos ecológicos e com os serviços ecossistêmicos.

é corroborada por Lima e Amorim (2006) e Branco (2009). Coelho (2012) contribui acrescentando que a vegetação urbana serve como filtro para poluição e regular o calor e a umidade no ambiente urbano.

Oliveira (2022)⁴ chega ao conceito de área verde urbana que será adotado nessa dissertação: **“ambientes livres em área urbana, públicos ou privados, com cobertura vegetal e permeabilidade, com potencial de auxiliar na manutenção dos ciclos naturais”**.

Nos deparamos agora com outro problema: qual o tamanho mínimo de uma área para que ela possa ser considerada como “área verde urbana”? Não existe consenso na literatura que tentou definir esse número. Uma vez que não há consenso tornou-se comum a utilização índices para fins de comparação, entre eles: o Índice de áreas verdes (IAV); Índice de áreas verdes total (IAVT); Índice de áreas verdes utilizáveis (IAVU); Índice de áreas verdes por maciços vegetais (IAVMV) entre outros. O mais frequente a ser utilizado é o IAV, mas o seu cálculo depende muito do pesquisador(a).

As diferentes recomendações mínimas presentes na literatura, também geram equívocos nos resultados dos trabalhos, a utilização da recomendação da Organização das Nações Unidas (ONU) não é correta por não existir comprovação sobre a existência da criação desse valor, o mesmo equivale às recomendações da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) ou da Organização Mundial da Saúde (OMS). A utilização de valores baseados em recomendações de outros países, também é um equívoco, pelas diferentes realidades urbanas em que cada país está inserido. A recomendação mais relevante para aplicar-se no Brasil, é a recomendação elaborada pela SBAU, mesmo sendo um índice aplicado a apenas uma classe de áreas verdes, ele é amplamente difundido por ser a única recomendação criada para o Brasil. (Perin, 2019)

Como destacado por Perin (2019) a metragem mais aplicável para o Brasil seria da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) que, em 1996, definiu como 15m²/habitante como um índice desejável. Tão pouco essa métrica é razoável, pois a organização especifica esse valor para “áreas públicas destinadas à recreação”. Como destacado no item 2.3 - Serviços ecossistêmicos, esse é só um dos aspectos que uma área verde proporciona para a população.

Focando especialmente no contexto de atividades fotossintética das áreas verdes, especialmente no potencial de mitigação dos GEE é necessário abordar o conceito de “floresta urbanas”. Ainda que haja valiosa discussão para a padronização do conceito adota-se aqui a

4 Citando: Llardent (1982); Lima et al.(1994); Macedo (1995), Oliveira (1996), Loboda et al.(2005); Guzzo et al (2006), Hijoka et al.(2007); Benini e Martin (2011); Bargos e Matias (2011).

abordagem de Araujo e Araujo (2011): inclui as árvores plantadas em calçadas, parques, praças, jardins, quintais, estacionamentos, cemitérios e bosques urbanos. Em concepção similar Biondi (2015) Entende que a floresta urbana pode ser definida como toda “cobertura vegetal” situada dentro do perímetro urbano. As florestas urbanas são fundamentais para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e sequestro de carbono (Janhäll, 2015; Pearlmutter, 2017; Moreira et al., 2018; Ferreira; Duarte, 2019; Westfall et al., 2021 apud Heidemann *et al.*, 2024).

O termo arborização urbana acabou sendo muito mais difundido no Brasil confundindo-se às vezes com as definições de floresta urbana. A arborização urbana remete a um padrão de distribuição de árvores em um território urbano. Pode-se então concluir que as árvores em vias públicas e demais áreas livres de edificação são constituintes da floresta urbana atuando sobre o conforto humano no ambiente. (Rossetti, Pellegrino e Tavares, 2010).

2.2.1 Aspecto mercadológico do Verde Urbano

Tendo em vista a importância das áreas verdes para na zona urbana, é oportuno abordar em que posição da dinâmica da configuração das cidades essas áreas estão inseridas. Harvey, no clássico “Os Limites do Capital” (1982), examina como a produção do espaço urbano é intimamente ligada à produção de capital. Por isso, a produção e a manutenção dos ambientes construídos se cristalizam em um sistema especializado de papéis dos agentes econômicos. Segundo o autor:

Os proprietários de terra recebem renda, os empresários recebem aumentos na renda baseados nas melhorias, os construtores ganham o lucro do empreendimento, os financistas proporcionam capital monetário em troca dos juros, ao mesmo tempo que podem capitalizar qualquer forma de receita acumulada pelo uso do ambiente construído em um capital fictício (preço da propriedade) e o Estado pode usar os impostos (atuais ou antecipados) como suporte para investimentos que o capital não pode ou não vai realizar, mas que não obstante expande a base para a circulação local do capital. (Harvey, 1982).

Rolnik (1994) acrescenta que o espaço urbano se torna campo de investimento do capital, e as forças capitalistas pressionam o Estado de forma a obter a maximização da rentabilidade e do retorno de investimento. Logo, o uso de metragem urbana para áreas verdes passa pela especulação capitalista do potencial de edificação da área e consequente geração de riqueza. Têm-se que explicar que a motivação para preservar áreas verdes, paisagens e ecossistemas é antropocêntrica, e não pelo valor intrínseco da vida, isso é, só é digno de preservação aquilo que possa gerar algum valor financeiro para a humanidade (Salatino, 2002).

O autor pondera que os ambientalistas necessitam apontar argumentos econômicos para que as áreas sejam preservadas. Passa-se, então, para a situação na qual a questão ambiental não é mais vista como problemática pelos agentes do capital, e sim como uma nova área de expansão e reprodução de capital (Nascimento e Silva, 2023).

A vinculação de uma demanda real (o Desenvolvimento Sustentável) com a racionalidade neoliberal mescla o papel urbano de luta contra as mudanças climáticas com lucro capitalista através da construção de um urbanismo climático.

As rupturas sociais e ambientais no espaço geográfico ligadas a implementação de tais projetos não são, de forma alguma, externalidades não calculadas ou consequências “infelizes”, são resultados conscientes e parte do processo. (Nascimento e Silva, 2023)

Gonçalves, Lima e Fortunato (2018, apud Nascimento e Silva, 2023) destacaram o processo de como “gentrificação verde” fazendo referência ao termo criado por Ruth Glass, que descreve como a melhoria da infraestrutura verde de determinada área das cidades leva a uma pressão imobiliária que tende a expulsar as pessoas de classe mais pobres em detrimento de classes mais ricas.

Rômulo (2008) afirma que o verde urbano pode ser considerado um indicador de condição de vida. A distribuição das áreas verdes urbanas, em especial as com vegetação, é relacionável, explicitamente ou não, com a segregação socioeconômica (Coelho, 2012).

A desigualdade social se reflete na produção e na manutenção da cidade, há uma cidade com todos os serviços que os avanços técnicos permitem e com menor degradação ambiental para os que podem pagar e outra, com menos serviços e equipamentos e com entorno ambiental degradado. A polarização cada vez maior que se dá na sociedade se reflete na apropriação e construção do ambiente urbano, a localização no espaço faz diferença nas condições de vida das pessoas. As diferenças territoriais são um reflexo das desigualdades da sociedade definida temporal e espacialmente, as condições sociais e ambientais do espaço urbano interferem na condição de vida da população.

[...]

A capacidade que alguns possuem de ter acesso à moradia digna, a um serviço de saúde apropriado e a educação de qualidade, também é transposta para a qualidade ambiental. Isso se dá porque o ambiente, na atualidade, é considerado de maneira funcional no contexto socioeconômico prevalente e, portanto, sujeito às diretrizes do modelo dominante cujas características básicas determinam a disposição territorial no interior das cidades. (Coelho, 2012)

Em outras palavras, para a lógica mercadológica, que se insere inclusive na preservação e conservação das áreas verdes no ambiente urbano, a área verde urbana é um produto, que deve ser vendido com exclusividade para a maximização do lucro.

2.3 Serviços ecossistêmicos

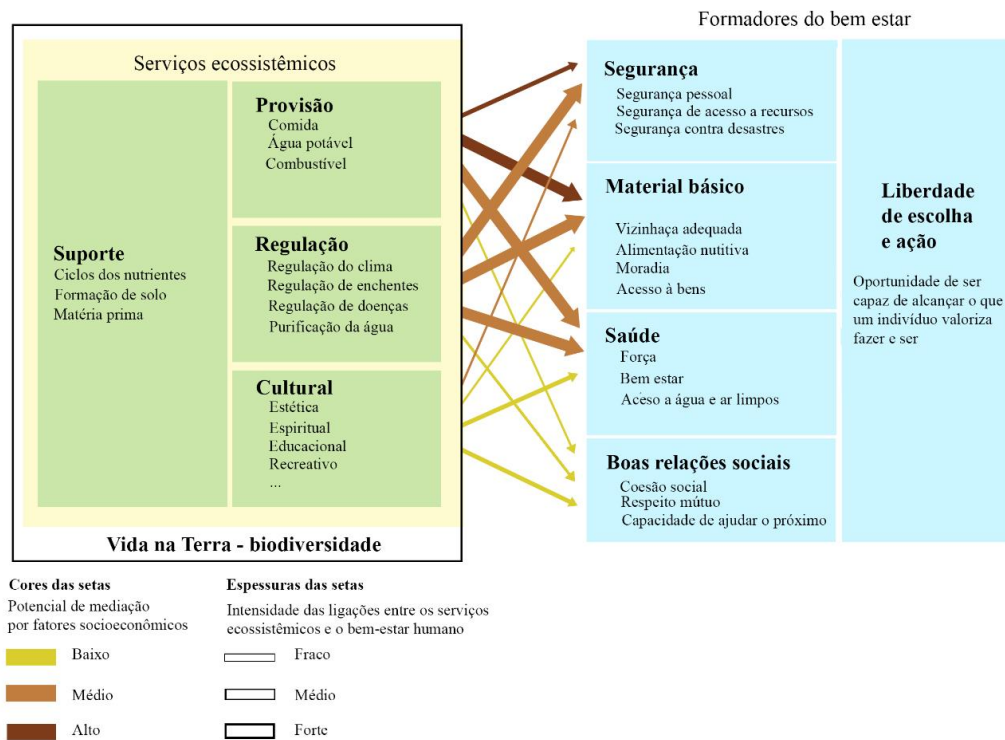
Em relevante publicação de 1981, Ehrlich e Ehrlich⁵ cunham o termo serviços ecossistêmicos (SE). A expressão se refere aos benefícios de bem-estar que a população obtém a partir dos ecossistemas naturais (Figura 1). Em outras palavras, uma área com predominância de ambiente natural, seja ela recuperada ou original, faz com que os ciclos naturais sejam restabelecidos, ainda que em uma escala micro, e isso proporcionará externalidades positivas para a população humana que ali reside.

Esses serviços podem ser classificados em quatro categorias: (a) serviços de suporte: garantidores das demais categorias, fixação de carbono atmosférico; (b) serviços de provisão: fornecimento de insumos básicos como alimentos e água potável; (c) serviços de regulação : purificação da água, controle de doenças, estabilização do clima, e; (d) serviços culturais: educação, conexão espiritual, entre outros (MEA, 2005; Amaral *et al.*, 2020).

Entidades e documentos diversos como: A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB, em inglês); Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES, em inglês), e; Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES, em inglês) desenvolveram outros métodos e categorias para os SE. Nessa pesquisa será utilizada a definição do Painel de Avaliação dos Ecossistemas do Milênio (MEA, em inglês) por ser amplamente aceita entre acadêmicos e é adotada pela Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021.

⁵ Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species, 1981.

Figura 1: Serviços ecossistêmicos e Bem-estar Humano



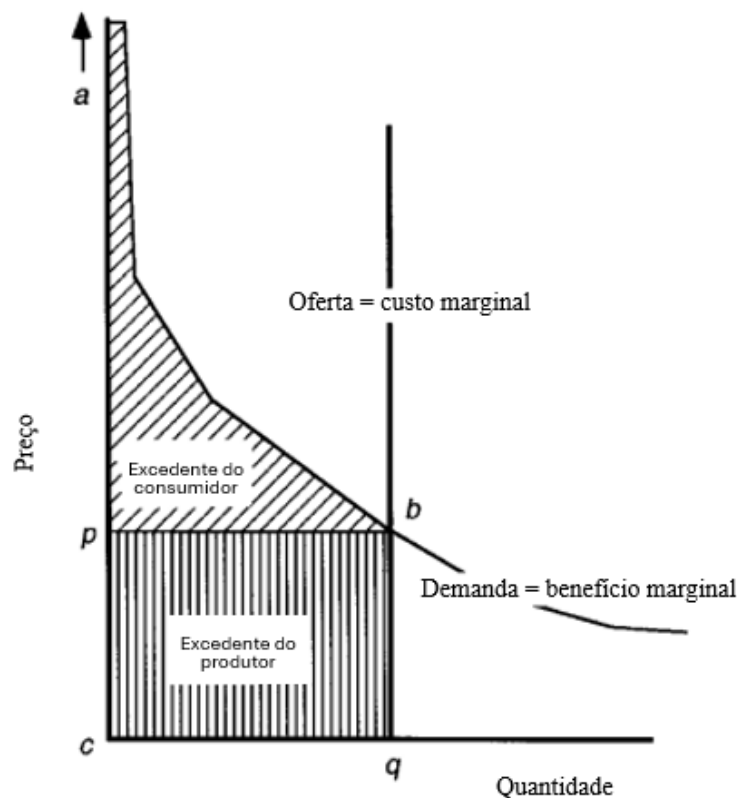
Fonte: Tradução livre dos autores do gráfico do MEA (2005)

Conforme destaca Costanza *et al* (1997), uma mesma área de ambientes naturais ou recuperados proporcionará SE de mais de uma categoria e diversos da mesma categoria. Os autores discutem a “precificação” dos SE e admitem ser demasiadamente complexo ou “até impossível” a sua medição, ainda que inevitável o esforço para fazê-lo.

Portanto, embora a avaliação de ecossistemas seja certamente difícil e repleta de incertezas, uma escolha que não temos é se devemos ou não fazê-la. Na verdade, as decisões que tomamos como sociedade sobre os ecossistemas implicam avaliações (embora não necessariamente expressas em termos monetários). Podemos optar por tornar essas avaliações explícitas ou não; podemos fazê-las com um reconhecimento explícito das enormes incertezas envolvidas ou não; mas, enquanto formos forçados a tomar decisões, estaremos passando pelo processo de avaliação. (Costanza *et al.*, 1997)

Costanza *et al* (1997) propõem que a curva de oferta e demanda dos SE (Figura 2) não se comporta de maneira análoga ao de bens produzidos. Eles defendem que a demanda, assim como o excedente do consumidor (aquilo que é percebido como quantidade de bem-estar além do preço pago) se aproxima do infinito à medida que a quantidade disponível se aproxima de zero. Melhor dizendo, quanto menos serviços ecossistêmicos são oferecidos, mais “valiosos” eles são. É fácil fazer a conexão dessa teoria com a teoria apresentada no item 2.2.1 - Aspecto mercadológico do Verde Urbano. Os SE urbanos são tão importantes como medidor da qualidade de vida das pessoas quanto são objeto de especulação financeira.

Figura 2: Oferta e Demanda de SE



Fonte: Tradução livre dos autores do gráfico de Costanza *et al.* (1997)

Os SE reguladores e culturais têm particular importância no ambiente urbano, visto a necessidade de purificação do ar, regulação do ruído, regulação (térmica) do microclima, drenagem de águas pluviais, tratamento de esgoto, recreação e as contribuições para a saúde mental e física da população (Tavares, Bergier e Guaraldo, 2021)

O planejamento urbano tem que levar em consideração os SE (Rolo *et al.*, 2019), visão que é apoiada por Gaudereto *et al* (2018) que acrescenta que os SE são um mecanismo para a

promoção de cidades sustentáveis e saudáveis. Flausino e Gallardo (2021) destacam a revitalização de rios como SE cultural. Jennings, Larson e Yun (2016, apud Gaudereto *et al.*, 2018) demonstram as relações entre as áreas verdes urbanas, eficientes prestadoras de serviços ecossistêmicos, e os consequentes benefícios para a saúde física, psicológica e social da população.

No contexto dessa pesquisa serão enfocados os SE de suporte, pois sobre eles incidem diretamente as mudanças climáticas e os compromissos assumidos pelo Brasil e o DF. Nesse sentido, a abordagem de SE tem como intenção integrar a economia material com questões ambientais e ecológicas (Oliveira, 2022).

2.3.1.1 Serviços ecossistêmicos de suporte

Os serviços ecossistêmicos de suporte são aqueles que mantêm a perenidade da vida na Terra. Segundo MEA(2005) os serviços de suporte, como a efetividade de atividade fotossintética, se diferenciam dos demais porque seus impactos são indiretos ou perceptíveis apenas em longos períodos de tempo, enquanto as outras categorias têm impacto mais imediatos. Ainda segundo o estudo, alguns serviços podem ser incluídos em mais de uma categoria diferenciados pela escala de tempo dos seus impactos.

No mesmo sentido entende a Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021.

Art. 2º Para os fins desta Lei, consideram-se:

b) serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético; (Brasil, 2021)

Na escala urbana deve-se destacar que reduzir a emissão de CO₂ para a atmosfera tem sido um grande desafio para os planejadores e gestores ambientais urbanos, e trata-se de um SE de suporte no ambiente urbano. Nowak (2013, apud Tavares, Bergier e Guaraldo, 2021) explica a relevância dos espaços verdes urbanos: fixam o CO₂ da atmosfera durante a fotossíntese e o armazenam em sua biomassa e nos solos, atuando como sumidouros de carbono nas cidades. Como destacado no item 1.1 Justificativa e Relevância

Procura-se aprofundar o conhecimento sobre as áreas verdes urbanas no DF e em como elas contribuem para a mitigação de GEE e melhora a qualidade de vida da população.

Esta pesquisa fundamenta-se na Lei Nº 12.187/2009 que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC especificamente nos Art. 4º, V; Art. 5º VI e IX; Art. 6º, XVII, citados abaixo:

Art. 4 A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC visará:
IV - **ao fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa no território nacional;**

Art. 5º São diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima:

VI - a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, e a difusão de tecnologias, processos e práticas orientados a:

a) mitigar a mudança do clima por meio da redução de emissões antrópicas por fontes e do fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

b) reduzir as incertezas nas projeções nacionais e regionais futuras da mudança do clima;

c) identificar vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas;

IX - o apoio e o fomento às atividades que efetivamente reduzam as emissões ou promovam as remoções por sumidouros de gases de efeito estufa;

Art. 6º São instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima:

XVII - o estabelecimento de padrões ambientais e de metas, quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa; .

A Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal (SEMA-DF) lançou em 2016 o relatório “Mudanças climáticas no DF e RIDE” em que prevê as mudanças climáticas que podem afetar o DF ao longo do século XXI. No capítulo “Recomendações aos formuladores de políticas e tomadores de decisão do DF e RIDE” destaca-se o trecho abaixo:

O enfrentamento da mudança climática só será eficaz se baseado em evidências científicas produzidas pela melhor ciência disponível – e, intransigentemente, na escala local de formulação de políticas públicas e tomadas de decisão.

Estratégias de enfrentamento da mudança climática incluem: (1) a **mitigação dos gases de efeito estufa**, (2) a adaptação dos sistemas humanos e naturais às mudanças do clima e (3) estratégias integradas de mitigação e adaptação para a gestão do risco climático.

Do ponto de vista da governança, as estratégias de enfrentamento da mudança do clima devem ser entendidas como parte de toda estratégia de desenvolvimento local. Ou seja, mitigação, adaptação e gestão do risco climático devem ser consideradas como transversais e adicionais às políticas públicas de desenvolvimento .

Ressalta-se que a PNMC cita expressamente a importância de estudos científicos acerca das áreas sumidouros de GEE. O mesmo acontece com o relatório SEMA-DF que vai além e aponta que as estratégias de enfrentamento da mudança do clima são parte do desenvolvimento local.

A análise da vegetação urbana é de suma importância dada a sua ação imediata na qualidade de vida da população. Adicionalmente, o metro quadrado urbano é elevado e a justificativa para implementar essas áreas precisa, necessariamente, passar por razões econômicas.

O controle do microclima, das vazões excessivas em períodos chuvosos e a umidificação das áreas são apenas alguns motivadores para o incentivo da preservação e ampliação das áreas verdes. Por outro lado, ainda é incipiente a análise de GEE através de sensoriamento remoto em áreas urbanas. Especialmente quando se trata de países em desenvolvimento como o Brasil. Pouco estudo foi feito sobre a vegetação urbana do Cerrado. Esse bioma cobre quase 25% do território nacional e possui mais de 83% de taxa de urbanização, logo o maior conhecimento sobre a vegetação urbana desse bioma pode ser aplicado nos mais distintos estudos e pesquisas no país.

Tavares, Bergier e Guaraldo realizaram uma revisão da literatura acadêmica na bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *ScienceDirect* e *SciELO* e identificaram que menos 1% das pesquisas são brasileiras com temas relacionados as seguintes palavras-chaves: serviços ecossistêmicos, serviços ambientais, serviços de ecohidrologia, florestas, espaços verdes urbanos. Têm havido poucas tentativas de quantificar e mapear a prestação de serviços ecossistêmicos nas cidades.

A pesquisa se insere não só no campo ambiental, mas também no econômico dado o mercado de carbono citado na 26ª Conferência das Partes da Convenção (COP) da ONU sobre Mudanças do Clima (COP-26), que ocorreu entre 31 de outubro e 12 de novembro de 2021 em Glasgow, na Escócia. Já existem linhas de crédito mundiais para esse comércio e é fundamental a quantificação dos créditos para que seja feita a devida compensação. O desenvolvimento de pesquisa quando a ação das áreas verdes urbanas como sumidouros de carbono pode contribuir para a formação da informação.

Existe importante relevância dos SE como subsídio para o planejamento da paisagem urbana. Assim, está justificada e apontada a relevância científica da dissertação, que poderá auxiliar os tomadores de decisão e protagonistas na forma urbana fundamentando diretrizes, programas e ações de políticas públicas que enfatizem a mitigação de GEE e o bem-estar da população, dessa maneira, contribuindo para o cumprimento das medidas de mitigação das mudanças climáticas.

2.4 Objetivos de pesquisa

2.4.1 Objetivo Geral

Comparar o desempenho, enquanto prestadores de serviço ecossistêmico (SE) de suporte, através da capacidade de sumidouros de GEE, as áreas verdes urbanas residenciais presentes nos setores Sudoeste, Noroeste, Asa Norte e Asa Sul, em Brasília – DF.

Esta pesquisa, então, busca contribuir com integração de Soluções baseadas na Natureza (SbN), mensurados em termos de SE, em dados para os tomadores de decisões da forma urbana.

2.4.2 Objetivos específicos

a) Identificar e quantificar as áreas verdes urbanas residenciais, nas regiões pesquisadas, que agem como sumidouros de GEE. Classificar e comparar os sumidouros de GEE das regiões.

b) Identificar e quantificar as áreas verdes urbanas residenciais, nas regiões pesquisadas, a influências das áreas preservadas, não disponíveis para ocupação residencial. Avaliar a importância dessas regiões preservadas para as regiões.

2.5 Estrutura da dissertação

A dissertação foi desenvolvida na forma de artigo. A divisão da estrutura do trabalho contém 3 grandes partes: a introdução, apresentando o contexto geral da pesquisa, o problema, o objetivo geral e específicos, o referencial teórico, o local de pesquisa, material e métodos utilizados; o artigo científico, presta-se a aplicação dos métodos para alcançar os objetivos específicos já detalhados com estrutura completa em si mesmo; e a última parte como

conclusão, analisando os resultados do artigo e configurando o objetivo geral além das sugestões para futuras pesquisas.

Artigo: Sumidouros de carbono no Distrito Federal: análise por sensoriamento remoto de áreas residenciais e o desempenho das áreas verdes não edificáveis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Mudanças climáticas e compromissos de mitigação dos GEE

3.1.1 Contexto histórico

Tanto o uso intensivo de recursos naturais como a forma das cidades contribuem para instabilidades climáticas e ecossistêmicas (MARSH, 1864; OSBORN, 1948 apud . Na década de 1960 o livro “Primavera Silenciosa”, da escritora Rachel Carson, repercute internacionalmente sobre os impactos e degradação ambiental causados pela ação humana. Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) convoca a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, Suécia, oportunidade em que se criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Em abril de 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMED), conhecida como Comissão Brundtland, publica o relatório, “Nosso Futuro Comum” (Our Common Future, em inglês), também conhecido como Relatório Brundtland, que traz à luz o termo “desenvolvimento sustentável”:

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades. [...] Mesmo na noção mais estreita de sustentabilidade física está implícita uma preocupação com a equidade social entre gerações que deve, evidentemente, ser extensiva à equidade em cada geração.

Em 1992, 5 anos após o Relatório Brundtland, é realizada na cidade do Rio de Janeiro a “Cúpula da Terra”. Nessa conferência, organizada pela ONU, é estabelecida a Agenda 21, documento que planeja a implementação de ações para um desenvolvimento sustentável. O evento foi um marco histórico na luta ambiental global e ficou conhecido como Rio-92.

Destaca-se o papel primordial da Rio-92 com a assinatura e compromisso dos países em favor do meio ambiente mais equilibrado e sustentável. A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) é assinada na Rio-92 e conta com três objetivos:

4. Conservação da biodiversidade.

5. Uso sustentável de seus componentes.
6. Repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização de recursos genéticos.

A CDB abriu caminho para protocolos específicos como o de Cartagena (2000), sobre biossegurança de organismos vivos modificados (LMOs) e o Protocolo de Nagoia (2014). O Brasil é signatário de ambos ; . Ainda na linha de influência da Rio-92 é criada em 2012 a Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES, em inglês).

A Rio-92 também foi essencial na fomentação de acordos internacionais de combate as mudanças climáticas. Em 1995, na cidade de Berlim, é realizada a primeira Conferência das Partes (COP). Evento anual organizado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) onde os países associados discutem a agenda global ambiental.

Nesse contexto, a COP-21, estabelece o Acordo de Paris (2015), no qual os países membros voluntariamente assumem o compromisso com a redução de emissões de GEE. A pactuação foi denominada Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, em inglês). Assim sendo, cada país, através de decisões internas, determinou como pretende contribuir para a mitigação da emissão de GEE e das mudanças climáticas.

Nessa linha, o Brasil assumiu em 21/03/2020 perante a UNFCCC a sua NDC que, depois de alterações múltiplas a versão vigente foi produzida em 2023, expressa o compromisso de reduzir as emissões líquidas de GEE em 48% até 2025 e 53% até 2030 em referências aos dados de 2005 e mais, o Brasil comprometeu-se a atingir a neutralidade nas emissões de GEE até 2050.

Da mesma maneira, o Distrito Federal (DF) instituiu em 2022, através do Decreto nº 43.413 de 07 de junho, o Plano Carbono Neutro do Distrito Federal, a contribuição distritalmente determinada, a “versão local” da NDC, responsabilizando-se a reduzir em 20% até o ano de 2025 e em 37,4% até 2030 os GEE, tomando como referência o ano de 2013 .

Portanto, está posto que o GEE é o principal componente responsável pela aceleração das mudanças climáticas e o comprometimento, ao menos em teoria e no discurso político, do governo federal e distrital em reduzir as emissões dos gases. Em um cenário de grande urbanização da população brasileira é necessário discutir qual o papel do verde urbano para a mitigação de efeitos das mudanças climáticas.

Verde urbano não existe uma métrica confiável para determinar qual o tamanho necessário para uma área verde urbana exercer essa função.

3.2 Soluções baseadas na Natureza (SbN)

Durante os anos 2000 o conceito de Soluções baseadas na Natureza (SbN) ganhou notoriedade e fundamentação teórica e foi especialmente desenvolvido pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, em inglês) entre outras organizações, como a Comissão Europeia (UE, em inglês). Em 2009, na COP – 15, em Copenhague, o termo foi formalmente apresentado para a UNFCCC. Abaixo a definição pela UICN

Ações para proteger, gerir de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que abordem os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente benefícios para o bem-estar humano e a biodiversidade (Cohen Shacham e Walters, 2016)⁶

A Resolução adotada pela Assembleia das Nações Unidas para o Ambiente na 5ª sessão em 2 de março de 2022, reconhece que as SbN podem contribuir significativamente para a mitigação das alterações climáticas e do seu impacto (UNEP, 2022).

A sociedade deve colher os benefícios ambientais e sociais do meio ambiente equilibrado: é necessário pensar o desenvolvimento humano de forma a proteger, gerir e restaurar proativamente os ecossistemas naturais e ainda, adotar padrões de organização e forma encontrados na natureza. Alexander, Ishikawa e Silverstein (1977) pormenorizam na arquitetura e no urbanismo uma linguagem de padrões com princípios das SbN que se aplicam para uma melhor sustentabilidade econômica e social, sem desconsiderar os fatores psicológicos e estéticos. Não se trata de mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas, por exemplo, e sim de promover espaço que não só não freiem o efeito, mas o previnam também.

Cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nas cidades e torná-las resilientes às alterações climáticas implica soluções que sejam sensíveis aos contextos sociais, econômicos e ecológicos. O planeamento integrado específico da cidade e ao nível da paisagem, as soluções baseadas na natureza e as infraestruturas construídas, bem como a produção e o consumo responsáveis podem contribuir para cidades sustentáveis e equitativas e dar um contributo significativo para o esforço

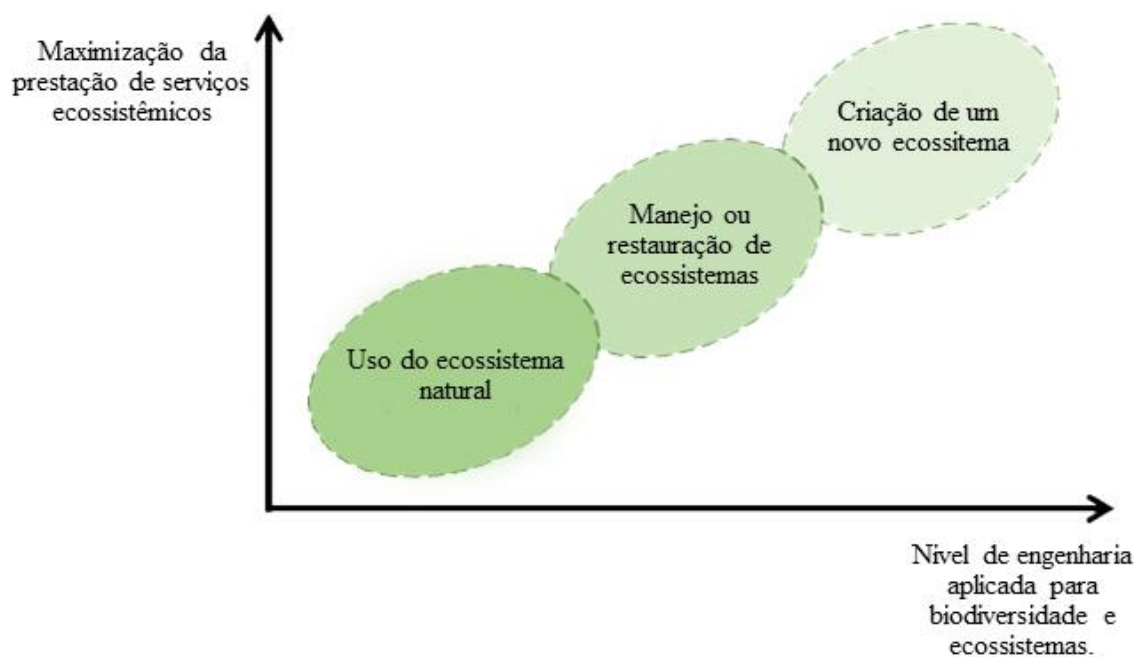
⁶ Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.

global de adaptação e mitigação das alterações climáticas. (IPBES, 2019, tradução nossa)

As SbN são classificadas em 3 tipos de acordo com dois fatores: (I) o nível necessário de engenharia da biodiversidade e dos ecossistemas envolvidos nas SbN; e (II) o nível de melhoria dos serviços ecossistêmicos alcançável pelas SbN (Eggermont et al., 2015).

- Tipo 1: soluções que envolvem uma melhor utilização dos ecossistemas naturais ou protegidos existentes;
- Tipo 2: soluções baseadas no desenvolvimento de protocolos e procedimentos de gestão sustentável para ecossistemas geridos ou restaurados; e
- Tipo 3: soluções que envolvem a criação de novos ecossistemas.

Figura 3: Tipos de SbN



Fonte: Tradução livre dos autores do gráfico do (Cohen Shacham e Walters, 2016)

A IUCN define os padrões globais para as SbN através de 8 Critérios e 28 indicadores para “projetar e verificar SbN que produzam os resultados desejados, na resolução de um ou vários desafios sociais.” (IUCN, 2020), os Critérios são os seguintes:

1. As SbN abordam eficazmente os desafios sociais.
2. O design do SbN deve se orientar pela escala.
3. SbN resultam num ganho líquido para a biodiversidade e integridade do ecossistema.

4. SbN são economicamente viáveis.
5. As SbN baseiam-se em processos de governança inclusivos, transparentes e fortalecedores.
6. As SbN equilibram equitativamente os compromissos entre a realização dos seus objetivos primários e a prestação contínua de múltiplos benefícios.
7. As SbN são geridas de forma adaptativa, com base em evidências.
8. As SbN são sustentáveis e integradas num contexto jurisdicional apropriado.

Após a avaliação desses critérios e com detalhamento dos seus indicadores é possível julgar, adaptar e melhorar os mecanismos das SbN.

Importante destacar que a Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal (SEMA-DF) entende que as SbN são essenciais para o promover sumidouros de carbono no GDF colaborando com as metas da Agenda 2030, em especial os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 (Cidades Sustentáveis), 13 (Ação contra Mudança Global do Clima) e 15 (Vida Terrestre) (GDF, 2023).

As soluções baseadas na natureza, por serem soluções de engenharia que mimetizam os processos naturais, oferecem boas oportunidades para maximizar a resiliência de medidas adaptativas que atuem para reduzir impactos de eventos intensos (GDF, 2023)

Segundo Cohen Shacham e Walters (2016), os ecossistemas naturais e modificados são altamente eficientes para a contribuição contra a mudança climática por funcionarem como sumidouros de carbono.

Importante aclarar a linha da dissertação e pontuar nuances de sobreposição de conceitos.

- Sumidouros de carbono são estruturas que, após um período, são capazes de ter um saldo de maior absorção de GEE do que de emissão. Essa remoção de carbono da atmosfera é considerada como um serviço ecossistêmico de suporte.
- As áreas de alta atividade fotossintética sugestionam um potencial para sumidouros de carbono.
- Os sumidouros de carbono, recortados do contexto político, ou seja, de maneira isolada, não pode ser considerado um SbN. O máximo que pode é sugerir que medidas adicionais devam ser tomadas e analisadas para tal. Pode-se considerar que eles satisfazem o critério 1 da IUCN para as SbN.

4 LOCAL DA PESQUISA

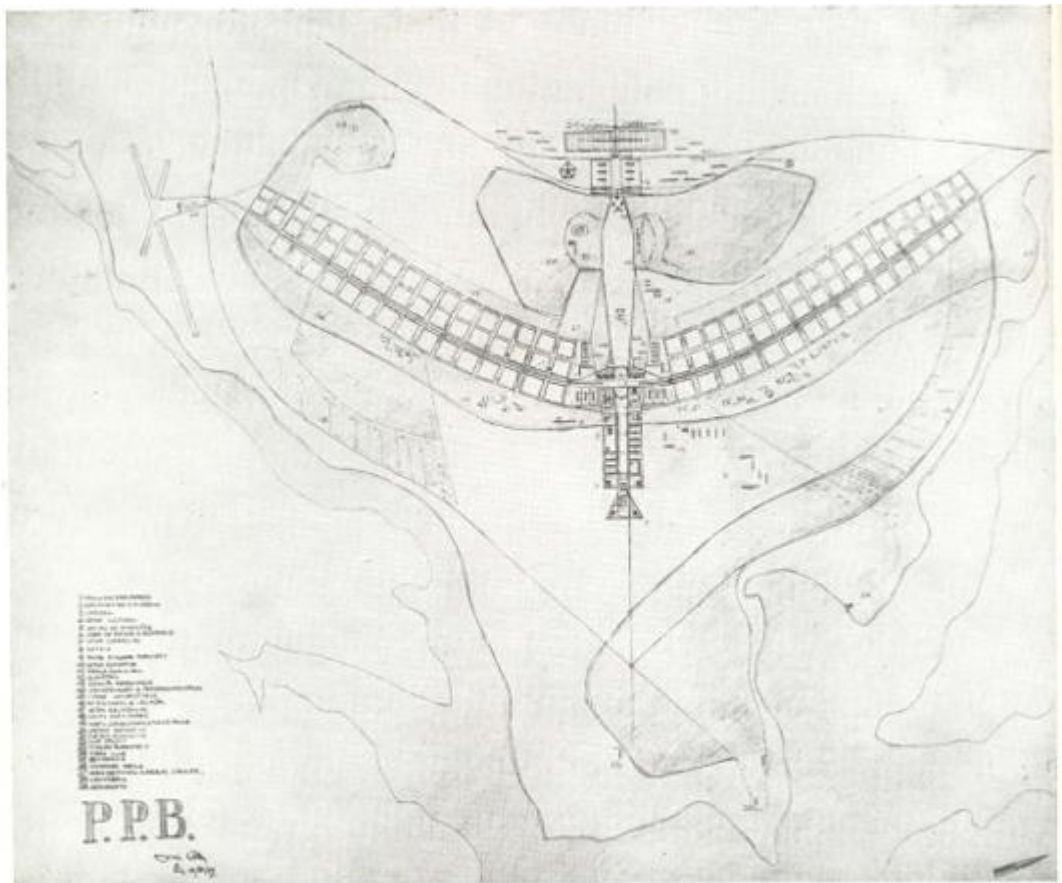
Brasília é inaugurada em 1960 como a nova capital do Brasil, pertencente ao DF com uma área de 5.760,78 km² (IBGE, 2022). O desenho urbano de Lúcio Costa para a cidade foi influenciado pelo movimento modernista e fundamentado na Carta de Atenas, cuja última versão foi redigida em 1941 pelo urbanista franco-suíço Le Corbusier (Gomes, 2023).

Naquela oportunidade houve um grande desmatamento da região para a construção e desenvolvimento da cidade. Por outro lado, o plano urbanístico, que fundamentou a construção da nova capital, se destacou, entre outras coisas, pelo notável espaço reservado às áreas verdes, traduzidas em sua concepção urbana por meio da escala bucólica (IPHAN, 2014). Tais zonas, localizadas principalmente na orla do lago Paranoá e no Plano Piloto, conferem à cidade o caráter de cidade-parque e desempenham um importante papel no equilíbrio climático, além de proporcionar qualidade de vida aos moradores. Ademais, a proximidade com áreas verdes promove a elevação da qualidade de vida urbana, estimulando a prática de exercícios físicos, proporcionando locais de lazer e recreação, contato com a natureza, que tem impacto direto na saúde física e mental da população adjacente (Londe e Mendes, 2014).

É possível localizar com facilidade (Figura 4) o que ficou conhecido popularmente como “as duas asas”, espaço reservado para a zona residencial da nova capital. A Asa Norte e a Asa Sul – composta pelas Superquadras Norte (SQN) e Superquadras Sul (SQS) – foram morfologicamente caracterizadas por Lúcio Costa. Deveriam ser compostas de edifícios de no máximo 6 pavimentos mais o Pilotis⁷. Inicialmente foram propostas 3 “linhas” de Superquadras, as 200, 100 e 300, respectivamente quanto a proximidade com o Lago Paranoá. Posteriormente é acrescentada às Superquadras 400, mais próximas ao Lago e com no máximo 3 pavimentos mais o Pilotis. Além disso, há as quadras residenciais 700, que foram concebidas como habitações unifamiliares. Hoje é possível encontrar, nessa região, edifícios residenciais similares as outras quadras residenciais.

⁷ Pilotis caracteriza-se nos edifícios, não importando seu uso, que possuem o nível térreo em sua maioria livre de limitações. O termo Pilotis é de origem francesa e significa palafita.

Figura 4: Plano Piloto de Brasília por Lúcio Costa

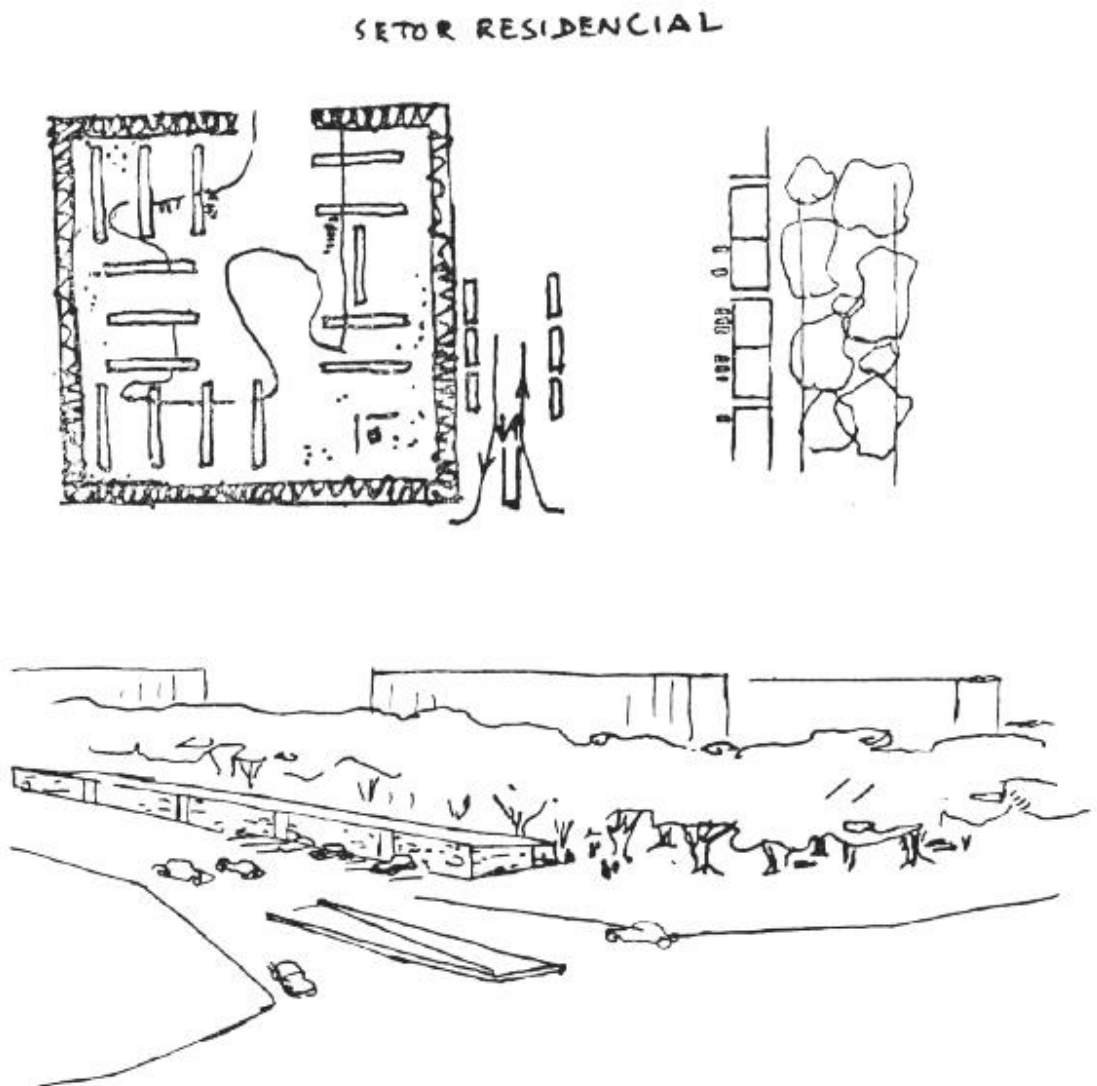


Fonte: Revista Brasília nº 3, (NOVACAP, 1957).

Para o paisagismo das áreas residenciais da nova cidade, Lúcio Costa propôs que uma cinta densamente arborizada de árvores de grande porte emoldurasse as superquadras residenciais.

16- Quanto ao problema residencial, ocorreu a solução de criar-se uma sequência contínua de grandes quadras dispostas, em ordem dupla ou singela, de ambos os lados da faixa rodoviária, e emoldurados por uma larga cinta densamente arborizada, árvores de porte, prevalecendo em cada quadra determinada espécie vegetal, com chão gramado e uma cortina suplementar intermitente de arbustos e folhagens, a fim de resguardar melhor, qualquer que seja a posição do observador, o conteúdo das quadras, visto sempre num segundo plano e como que amortecido na paisagem. Disposição que apresenta a dupla vantagem de garantir a ordenação urbanística mesmo quando varie a densidade, categoria, padrão ou qualidade arquitetônica dos edifícios, e de oferecer aos moradores extensas faixas sombreadas para passeio e lazer, independentemente das áreas livres previstas no interior das próprias quadras. Dentro destas “superquadras” os blocos residenciais podem dispor-se da maneira mais variada, obedecendo, porém a dois princípios gerais: gabarito máximo uniforme, talvez seis pavimentos e pilotis, e separação do tráfego de veículos do trânsito de pedestres, mormente o acesso à escola primária e às comodidades existentes no interior de cada quadra. (Costa, 1956)

Figura 5: Recorte dos desenhos originais de Lúcio Costa para as áreas residenciais.



Fonte: Composição feita pelos autores de trechos do Relatório do Plano Piloto (IPHAN, 2018)

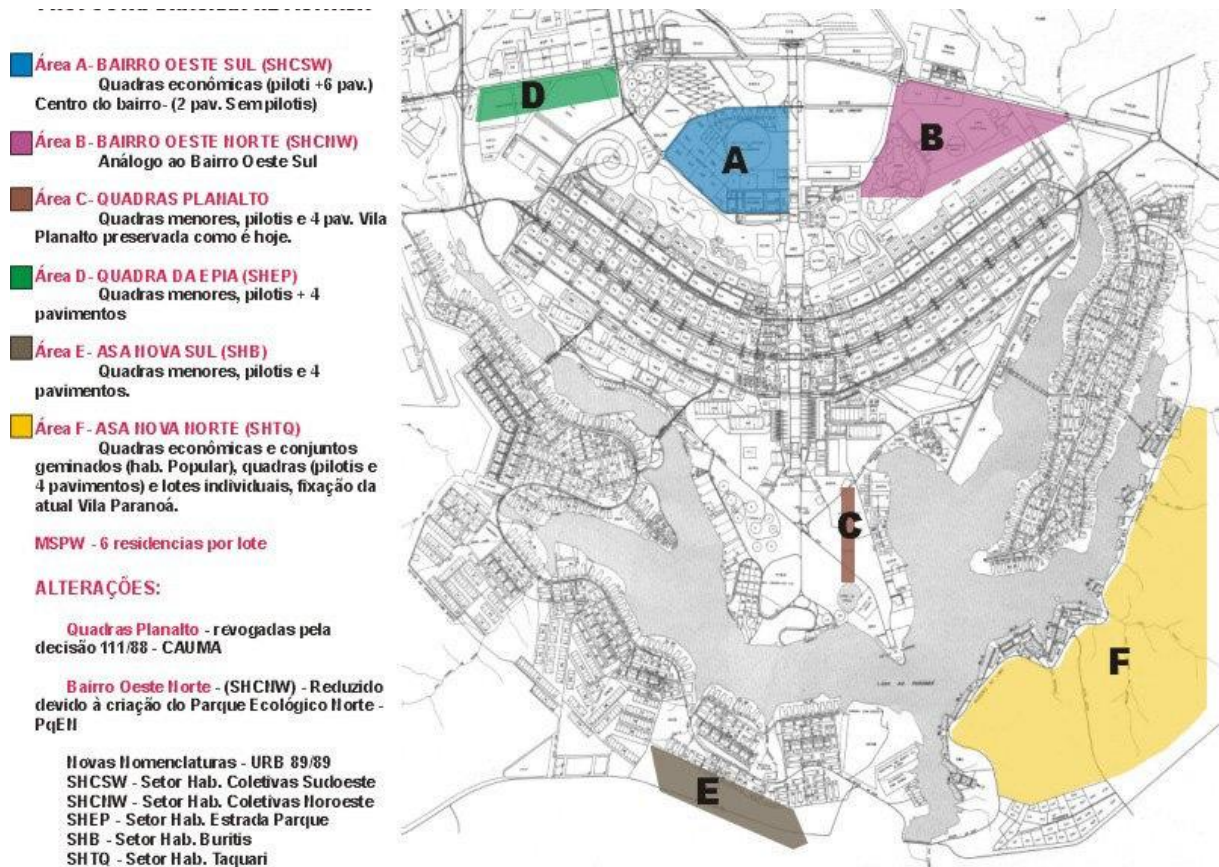
Havia premência para a arborização das áreas verdes de Brasília, não só pela função estética como também por diminuir a poeira das obras das construções (Lima, 2009). Com as limitações de logística da época e um incipiente entendimento dos impactos ambientais acabou-se por plantar mudas de espécies exóticas ao Cerrado. A introdução de espécies exóticas costuma ser uma prática com baixo grau de sucesso e, no caso de Brasília, a acidez do solo e seu revolvimento pela construção assim como o regime climático acentuaram essa tendência (Lima, 2009).

O plano piloto foi planejado para 500 mil habitantes (Costa, 1956), dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam uma população de quase 3 milhões de pessoas em 2022. A mancha urbana no DF cresceu de 23km² em 1960 para 709km² em 2019 (Chelotti e Sano, 2021) e, segundo os autores, o DF ainda apresenta uma tendência de manutenção ou aumento da taxa de expansão urbana que ocorre de forma heterogênea no território. O período de 2005 a 2015 representou um acréscimo de 39,7km² (Neves *et al.*, 2017).

Por conta da ocupação urbana e avanço da ocupação agrícola a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), estima que o DF, entre 1954 e 1998, perdeu 57% da sua cobertura original e cerca de 600 espécies vasculares (UNESCO, 2002).

Em 1985, Lúcio Costa produz “Brasília Revisitada” texto que serve de fundamentação para o tombamento da cidade como Patrimônio Cultural da Humanidade (Gomes, 2023). No referido documento é proposto pelo urbanista a criação de novos setores residenciais adicionais ao Plano Piloto (Figura 6), dentre eles o Setor Sudoeste (originalmente proposto como Oeste Sul) e o Setor Noroeste (originalmente proposto como Oeste Norte). As duas novas áreas de concentração devem, ainda, manter as “Características fundamentais do Plano Piloto”, entre elas: o limite de 6 pavimentos; a densa arborização circundante das quadras; e “quintal comum” no centro.

Figura 6: Anexo do documento "Brasília Revisitada"



Fonte: (GDF, 1987)

As regiões estão destacadas como as áreas “A” e “B”. Costa é explícito no texto que as regiões deveriam manter as mesmas características arquitetônicas das Superquadras Residenciais do Plano Piloto. As orientações foram seguidas, ainda que parcialmente, muito em parte pela dedicação e fiscalização do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

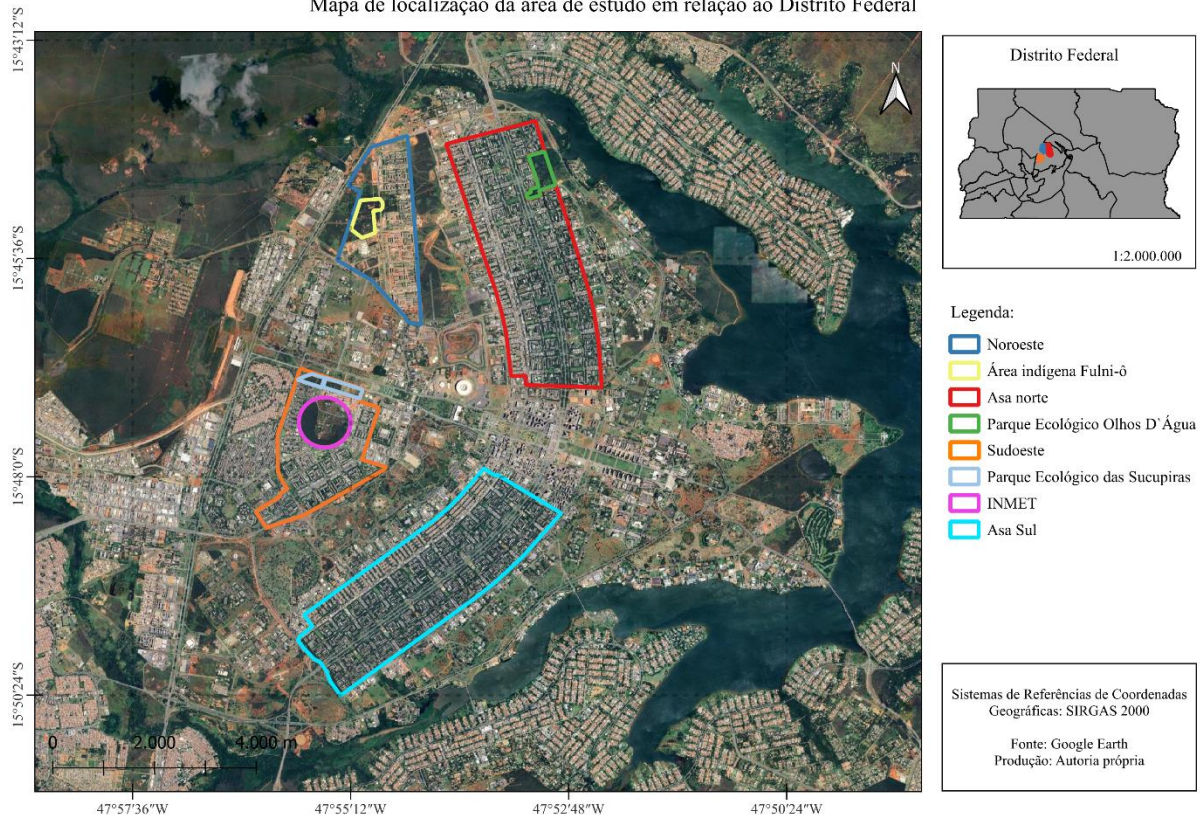
Serão apresentadas a seguir as regiões de Brasília escolhidas para a pesquisa. Trata-se do Setor Noroeste, Setor Sudoeste, Asa Norte e Sul. Como será apresentado em minúcias no item 4.1.4 Determinação do local de pesquisa as 4 regiões são voltadas para o uso residencial, possuem obrigações legais e determinantes arquitetônico e urbanístico similares, além de uma população homogênea sócio economicamente. Esses fatores combinados nos ajudam a padronizar os resultados da pesquisa e apontar conclusões com maior grau de precisão.

Dentro do Setor Noroeste encontra-se a Comunidade indígena Fulni-ô, local de preservação ambiental e da cultura indígena. No Setor Sudoeste situa-se o Parque Ecológico Parque das Sucupiras e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na Asa Norte destaca-

se o Parque Ecológico Olhos D'Água. A particularidade dessas regiões será explicada em seguida.

Figura 7: Localização da área de estudo, Distrito Federal

Mapa de localização da área de estudo em relação ao Distrito Federal



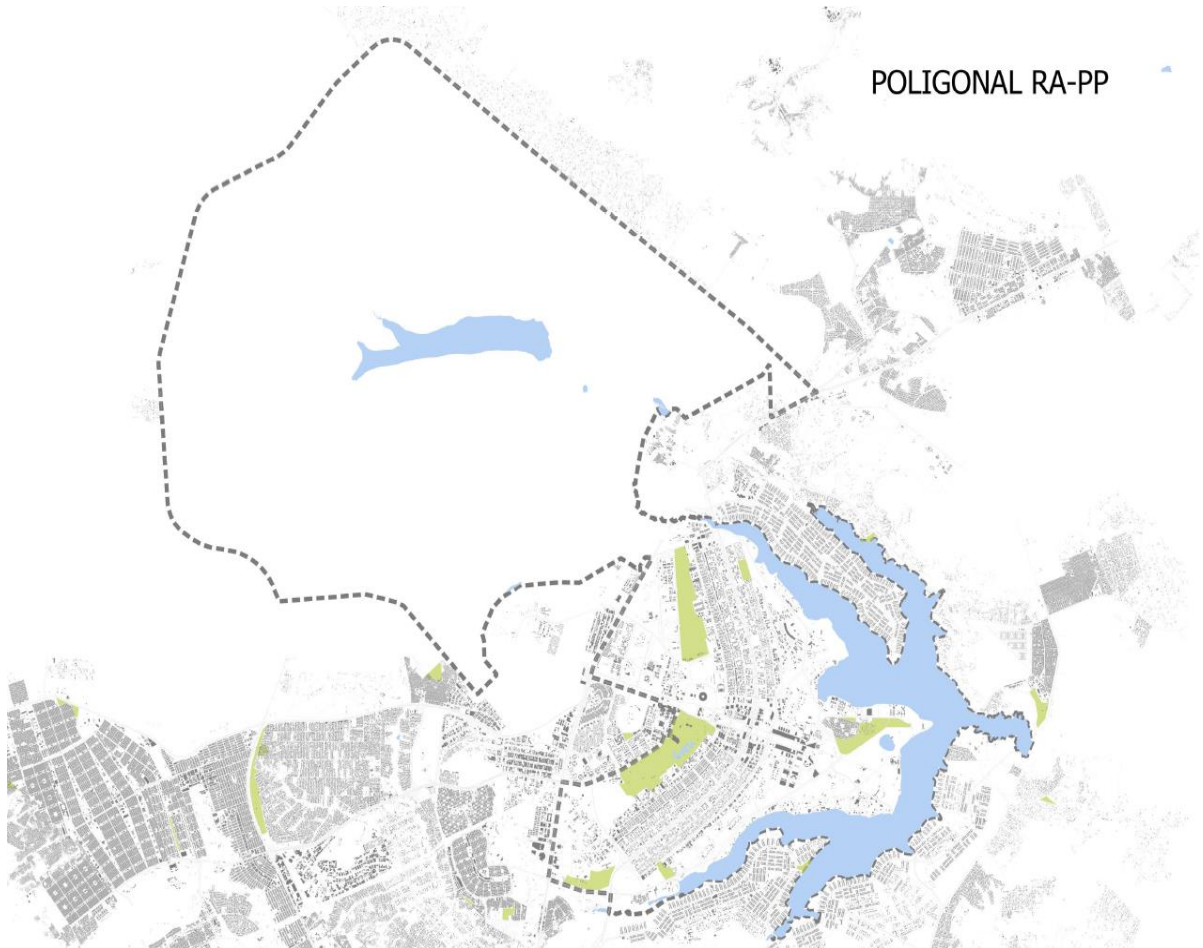
Fonte: Autoria própria

4.1.1 Regiões Administrativas e o Plano Piloto (RA-I)

Se faz importante uma breve explanação sobre a divisão administrativa do DF. A Lei nº 4.545, de 10 de dezembro de 1964 estabelece no Art. 9º que “O Distrito Federal será dividido em Regiões Administrativas (RA) para fins de descentralização e coordenação dos serviços de natureza local”. Atualmente o DF conta com 35 RAs. Importante lembrar que a Constituição Federal de 1988, Art. 32, veda que o DF se divida em Municípios.

A Lei nº 4.545/64 instituiu 8 RAs, dentre elas a RA-I – Plano Piloto (originalmente chamada de “Brasília”). Segundo a Lei Complementar nº 958, de 20 de dezembro de 2019 a RA-I possui área de 437,20 km² (Figura 8).

Figura 8: Poligonal da RA I - Plano Piloto



Fonte: (GDF, 2024)

Atualmente, a Região Administrativa I é formada pela Asa Norte, Asa Sul, Setor Militar Urbano, Setor de Clubes, Setor de Garagens e Oficinas, **Noroeste**, Eixo Monumental, Esplanada dos Ministérios, Setor de Embaixadas Sul e Norte, Vila Planalto, Vila Telebrasília, Setor de áreas Isoladas Norte e a Parque Nacional de Brasília (Água Mineral de Brasília), além de sediar os três poderes da República: Executivo, Legislativo e Judiciário. (GDF, 2024)

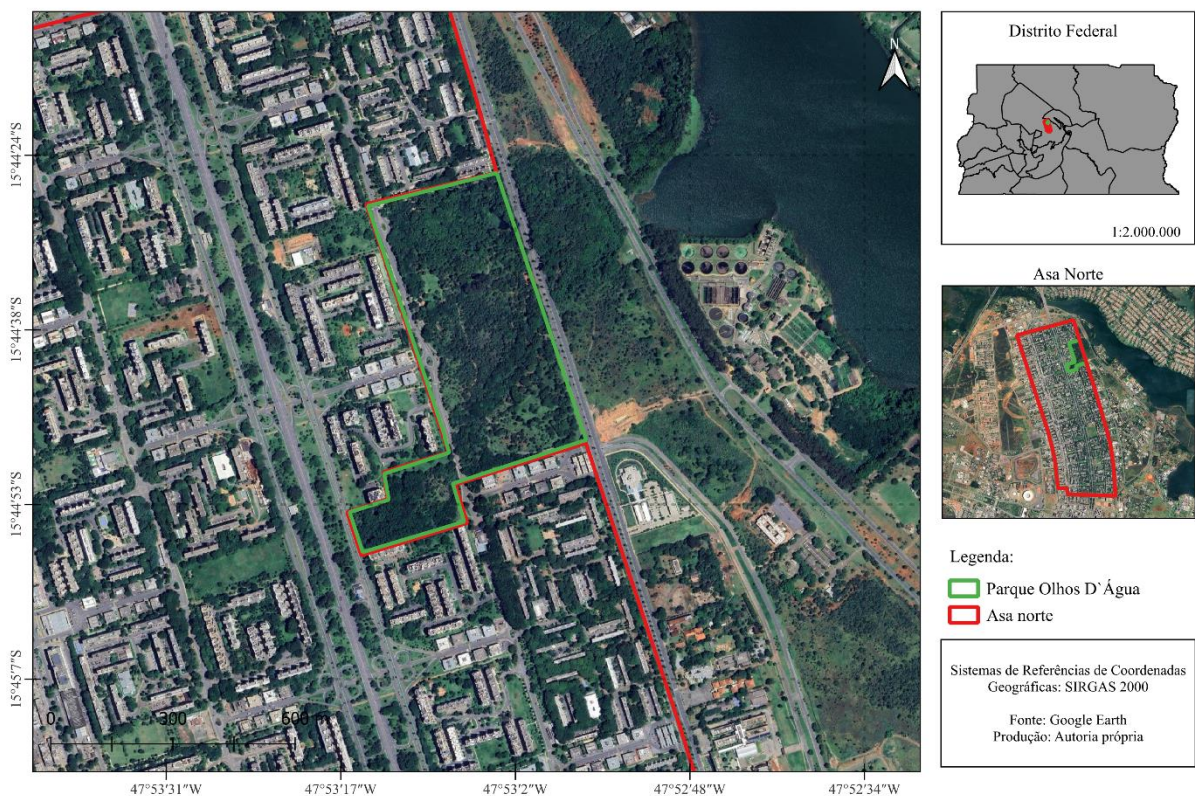
Destaca-se que na Asa Norte, foi criado o Parque Ecológico e de Uso Múltiplo Olhos D'Água, através da Lei nº 556, de 07 de outubro de 1993 dentro da área que compreende a SNQ 413, SQN 414 e SCLN 414, SCLN 415, quadras originalmente destinadas com a função residencial, possuindo uma área de 21,24 hectares.

Art. 3 - O Parque Olhos D'Água tem por objetivo, entre outros, os seguintes:
 I - preservação das nascentes;
 II - preservação e recuperação do lago da SCLN 414/ 415;
 III - preservação e recuperação da mata ciliar;

- IV - proteção da bacia do Paranoá;
- V - desenvolvimento de programas de observação ecológica e pesquisas sobre os ecossistemas locais;
- VI - criação das condições para a população usufruir do local, em consonância com a preservação ambiental;
- VII - desenvolvimento de atividades de educação ambiental. (GDF, 1993)

Posteriormente, através do Decreto nº33.588, de 22 de março de 2012, o parque foi recategorizado como Parque Ecológico Olhos d'Água e teve sua área acrescida em 7 hectares, sendo incorporado a SCLN 212 e SCLN 213.

Figura 9: Mapa de Localização Parque Ecológico Olhos D'Água
Mapa de localização Parque Olhos D'Água



Fonte: Autoria própria

4.1.2 Região Administrativa Sudoeste/Octogonal (RA-XXII)

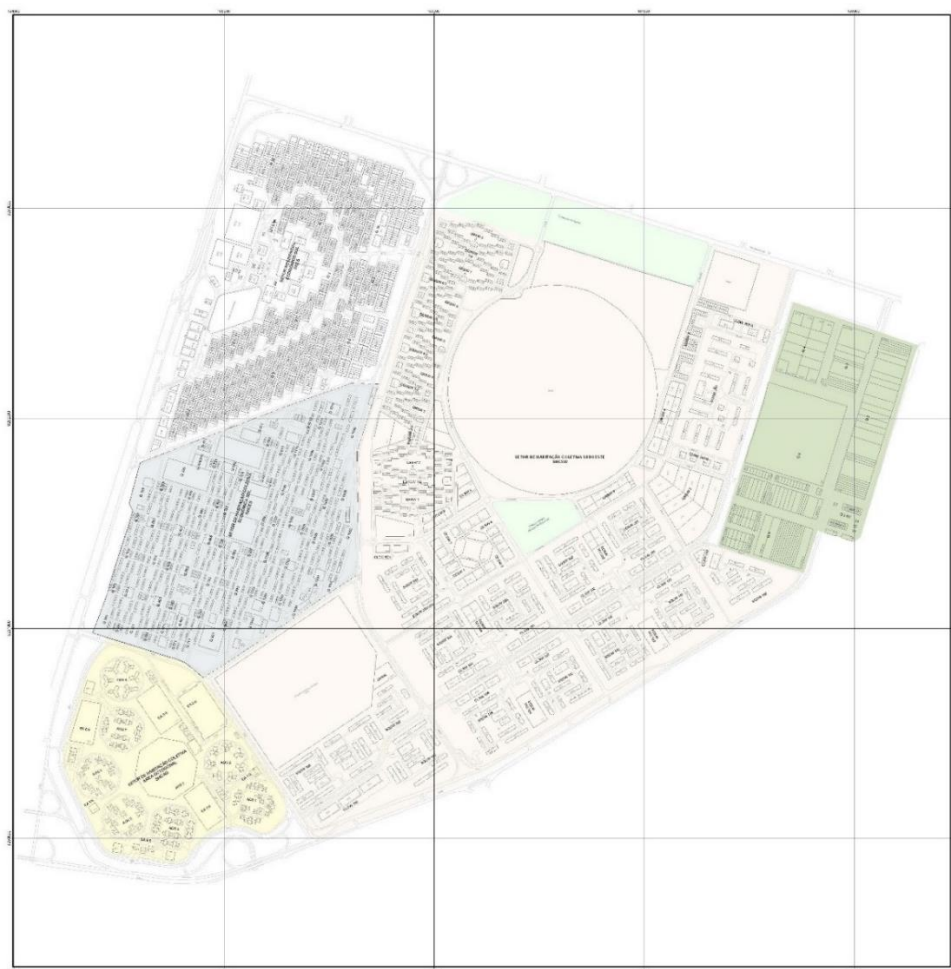
O Decreto 11.433, de janeiro de 1989 aprovou o Projeto de Urbanismo – URB 147/88 aprovando os parâmetros de referências para o bairro (CODEPLAN, 2021). A partir da década de 1990 o bairro Sudoeste começa a ser construído. Ainda que o setor imobiliário sofresse uma grave crise na época com a extinção do Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1986 a rápida construção se deve à combinação de uma carência de áreas habitacionais para a classe média e

a criação de cooperativas de funcionários de instituições para promover o financiamento (Vasconcellos, 2007).

As Superquadras do Sudoeste possuem configuração semelhante às Superquadras Sul e Norte, seguindo o padrão de blocos isolados, altura constante (seis pavimentos) e livre circulação de pedestres no térreo - pilotis abertos. (Faria, 2021)

Posteriormente a Lei nº 1.101, de 13 de junho de 1996 aprova o parcelamento urbano da expansão do Setor de Habitações Coletivas Sudoeste – SHCSW quando o setor ainda pertencia a RA-XI Cruzeiro. A região se torna RA-XXII junto com o Setor Octogonal, por meio da Lei Distrital nº 3.153, de 6 de maio de 2003. Segundo a Lei Complementar nº 958, de 20 de dezembro de 2019 a RA-I possui área de 6,46 km². O setor Sudoeste tem sua criação e parcelamento em 1988 e é rapidamente ocupado

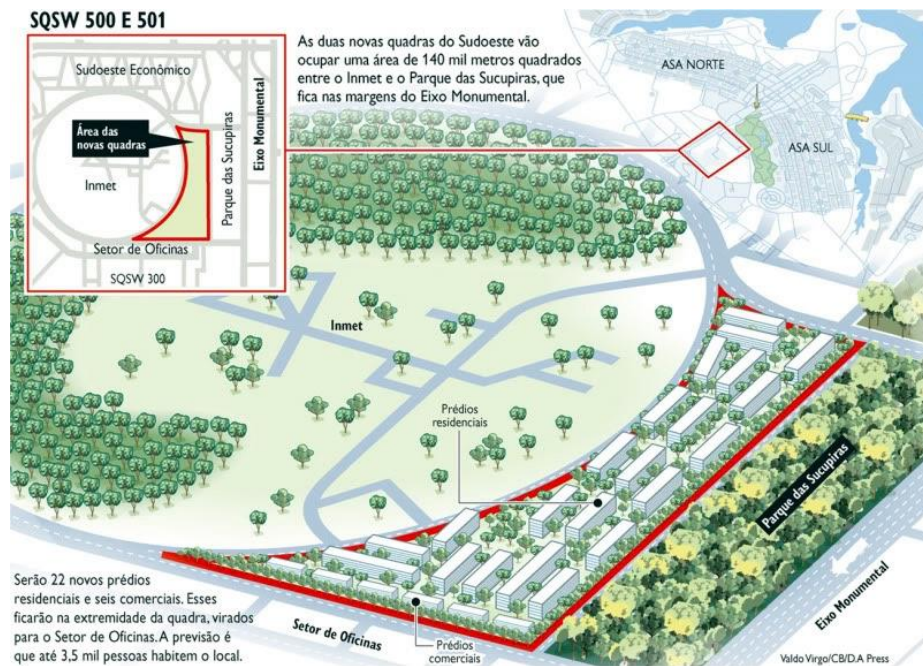
Figura 10: Sudoeste e Octogonal



Fonte: (SITURB, 2024)

Faria (2021) explica que em 2006 foi lançado o projeto de construção de novas Superquadras a denominada “Quadra 500”. Após longa discussão legislativa e judicial em 2019 são iniciadas as construções. A autora pontua que a área não havia sido prevista para ocupação no documento “Brasília revisitada”, porém foi mantido a forma padrão do plano piloto, isso é: edifícios de até 6 pavimentos com pilotis.

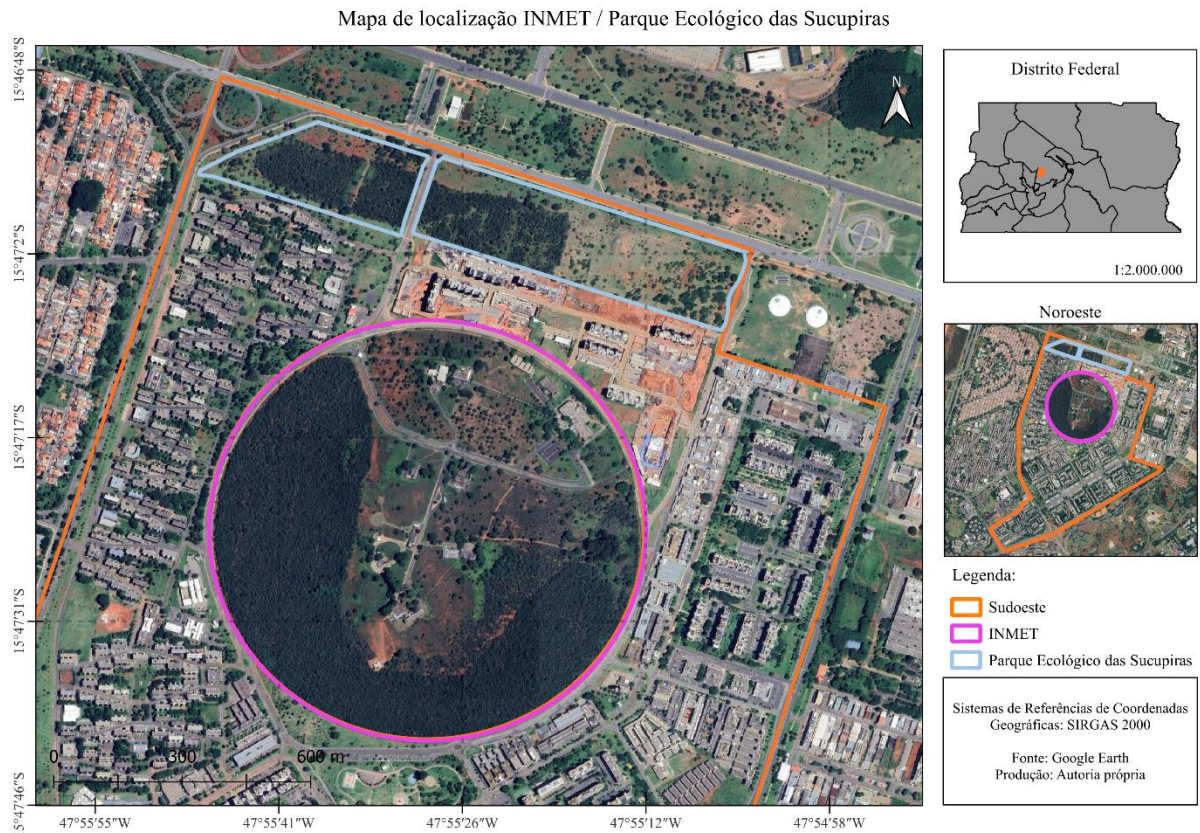
Figura 11: Quadras 500 Sudoeste



Fonte: (Faria, 2021)

No Sudoeste há ainda a sede nacional do INMET que pode ser vista também na Figura 10. A área do INMET, em formato circular bem distinto na cidade, conta com uma cobertura parcial de mata nativa densa e bem preservada. Foi destacado também o Parque Ecológico das Sucupiras, criado pelo Decreto nº 25.926, de 14 de junho de 2005 e categorizado pelo Decreto nº 40.116, de 19 de setembro de 2019.

Figura 12: Mapa de Localização INMET / Parque Ecológico das Sucupiras



Fonte: Autoria própria

A Lei complementar nº 827, de 22 de julho de 2010 que institui o Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC define Parque Ecológico, cujo conceito é aplicado no Parque Ecológico das Sucupiras e no Parque Ecológico Olhos D'Água.

Art. 18. O Parque Ecológico tem como objetivo conservar amostras dos ecossistemas naturais, da vegetação exótica e paisagens de grande beleza cênica; propiciar a recuperação dos recursos hídricos, edáficos e genéticos; recuperar áreas degradadas, promovendo sua revegetação com espécies nativas; incentivar atividades de pesquisa e monitoramento ambiental e estimular a educação ambiental e as atividades de lazer e recreação em contato harmônico com a natureza.

§ 1º O Parque Ecológico é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.

§ 2º O Parque Ecológico deve possuir, no mínimo, em trinta por cento da área total da unidade, áreas de preservação permanente, veredas, campos de murundus ou mancha representativa de qualquer fitofisionomia do Cerrado.

§ 3º A visitação pública é permitida e incentivada e está sujeita às normas e restrições estabelecidas no plano de manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua supervisão e administração e àquelas previstas em regulamento.

§ 4º A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento. (GDF, 2010)

4.1.3 Setor Noroeste

Administrativamente, o Setor Noroeste faz parte da RA I – Plano Piloto. Na prática a sua formação e desenvolvimento foi bem diferente. O Setor, ainda que tenha sido previsto por Lúcio Costa em “Brasília Revisitada” de 1987, só começa a ser construído de fato em 2009 com o primeiro prédio residencial entregue no final de 2012, isto é, 52 anos após a fundação de Brasília. O novo Setor, com edificações ainda em construção, encontra-se na Zona Urbana do Conjunto Tombado. O projeto urbanístico prevê 20 Superquadras sendo sua implantação realizada em duas etapas: a primeira lançada em 2008 e a segunda em 2013 (Glehn e KOS, 2021).

Conforme relata Vasconcellos (2007) o Setor Noroeste é alvo de especulação desde a publicação de Brasília Revisitada. Ainda que já fazem 15 anos do início da ocupação, o Setor ainda apresenta muitos lotes vazios.

Juntamente com a construção do setor Noroeste havia a promessa de estruturação do parque Burle Marx, um análogo do Parque Dona Sarah Kubitscheck, existente entre a Asa Sul e o Setor Sudoeste. Isso fica explícito no Projeto executivo de urbanismo, plano de manejo e demais projetos complementares do Parque Burle Marx de 2009.

Ao fazer uma avaliação do desenvolvimento da cidade, o autor do projeto do Plano Piloto alertou que, à imagem e semelhança da ocupação da Asa Sul, deveria ser previsto também um parque de grandes proporções para conter a expansão urbana do lado noroeste, e oferecer infra-estrutura para atividades de lazer e cultura ao ar livre. (GDF, 2009)

[...]

Só a partir da colocação em prática de considerações que o próprio urbanista Lúcio Costa fez no seu texto Brasília Revisitada é que a cogitação com possíveis ocupações urbanas voltou à pauta. A construção do Setor Habitacional Noroeste assumiu (junto com a ocupação do bairro Taquari), neste sentido, um papel fundamental como elemento consolidador desta dinâmica de ocupação. Independentemente de todas as preocupações com a sustentabilidade ambiental do setor habitacional citado, foi colocado como requisito para a existência do Setor Habitacional Noroeste a existência do Parque Burle Marx, que funcionaria como complementação ambiental dessa ocupação, aproveitando as últimas manchas de cerrado no entorno imediato ao Plano Piloto, e como zona tampão de amortecimento de impactos urbanos. (GDF, 2009)

As construtoras e especuladores imobiliários venderam e vendem o Setor Noroeste como um “bairro ecológico” e alguns vão além, chamando-o de “ecovila” (Oliveira, 2016). Não há dúvidas que o apelo a construções e planejamento urbano “sustentável” entrou na perspectiva

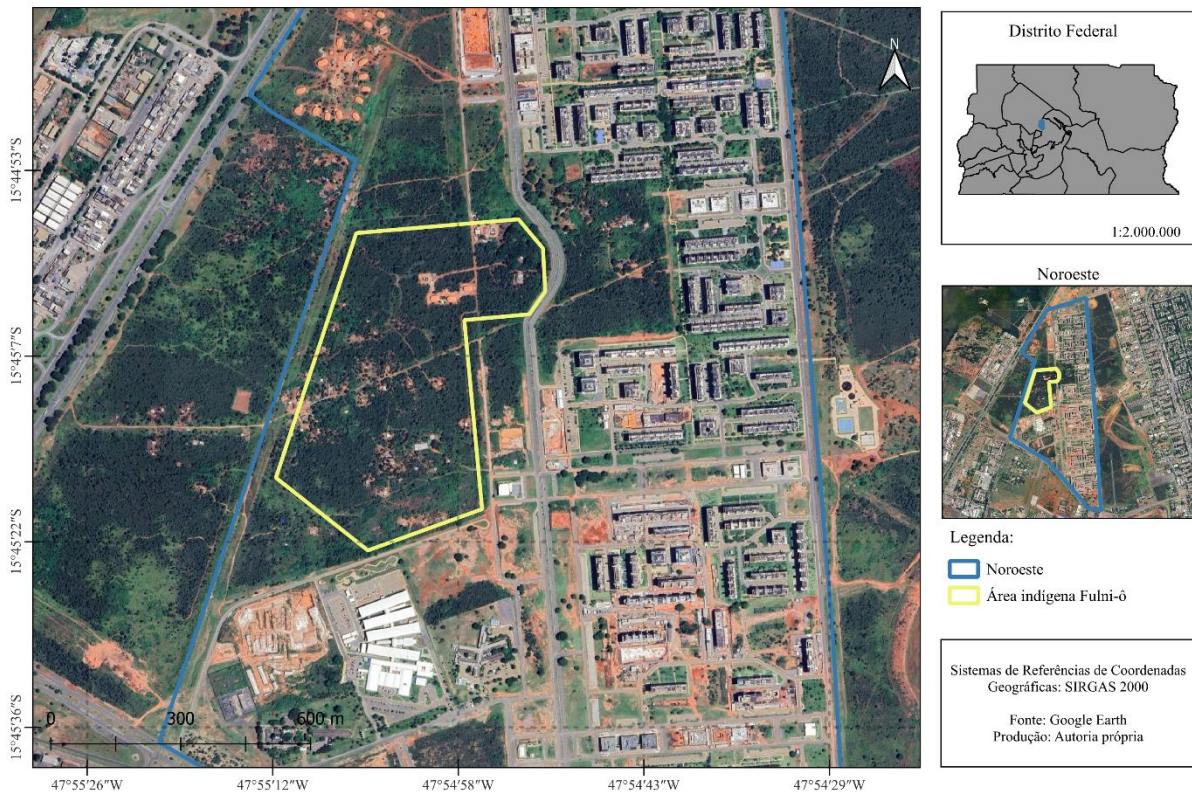
de marketing como um fator diferencial de aceitação de público e geração de valor, é a mercantilização dos SE, como explicitado nos capítulos anteriores.

Tal mercantilização foi apontada por Tenório (2012), com a intenção clara de especular o valor do terreno e dos futuros apartamentos. A professora indica que, ainda que as características principais do Setor Noroeste sejam idênticas às Superquadras Residenciais das Asas Norte e Sul, houve uma clara proposta que o Setor fosse destinado para as classes mais altas da sociedade brasileira.

Aqui retomamos a questão da “diversidade tipológica e morfológica”. Embora o edifício da superquadra do Setor Noroeste possa ser retangular ou quadrado; seus apartamentos possam ter um, dois, três ou quatro quartos, ser duplex, triplex, ou não, ter cobertura privativa ou não; esta “diversidade” não traz variação significativa no preço do metro quadrado dos imóveis. Isso porque suas características principais são as mesmas: todos os edifícios de seis pavimentos sobre pilotis com acabamento de luxo, ambientes especiais de isso coletivo e muitas vagas na garagem (a média é de duas vagas por unidade), localizados em superquadras onde a taxa de ocupação é de 15%. (Tenório, 2012)

A implementação do Noroeste foi marcada por polêmicas envolvendo empreendedores, o GDF, a justiça e as comunidades indígenas pela destinação da área. A comunidade Fulni-ô entende que parte do local se trata de território sagrado para sua cultura e ocupa a região desde a década de 1950 (Queiroz e Maia, 2021). Dada a ocupação do seu território houve uma proposta inicial por parte da comunidade indígena de demarcação de 50 hectares, a proposta não foi aceita. No ano de 2018 foi firmado o Acordo judicial: 2009.34.00.038240-0 (ação civil pública) envolvendo as lideranças da comunidade, e órgãos institucionais como a Companhia Imobiliária de Brasília (TERRACAP), Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM) e Ministério Público Federal (MPF), em que foi demarcada uma área de 32,5 hectares para a comunidade indígena.

Figura 13: Mapa de Localização Área indígena Fulni-ô
Mapa de localização Área indígena Fulni-ô



Fonte: Autoria própria

4.1.4 Determinação do local de pesquisa

Essa pesquisa tem como objetivo analisar os sumidouros de carbono no âmbito da zona urbana residencial. Assim sendo, será seccionada a RA I – Plano Piloto nas partes relevantes para o estudo. Serão consideradas conjuntamente a Asa Norte e Asa Sul e separadamente serão analisados o Setor Noroeste e o Setor Sudoeste. O Parque da Cidade Sarah Kubitschek e o Parque Burle Marx serão desconsiderados para a pesquisa, visa-se assim atingir somente a área residencial. As demais áreas residenciais, como Vila Planalto e Vila Telebrasilândia também não serão analisadas, dada a diversidade tipológica.

Para complementar o estudo será realizada também a apreciação da RA XXII – Sudoeste/Octogonal seccionada, com o descarte do Setor Octogonal. O porquê disso? Como já explicitado na anteriormente os Setores Sudoeste e Setor Noroeste deveriam seguir a forma arquitetônica e urbanística das Asas Norte e Sul, o mesmo não é válido para o setor Octogonal.

Ao eliminar a Octogonal da pesquisa busca-se aproximar as características das áreas em estudo para melhor comparação.

Ressalta-se o Parque Ecológico Olhos D'Água na Asa Norte; a Área indígena Fulni-ô no Noroeste; e o INMET e o Parque Ecológico das Sucupiras no Sudoeste, devido ao reconhecimento que essas regiões desempenham, do ponto de vista ambiental e urbanístico, um papel diverso do residencial, sendo marcado pela não construção e com objetivos de proteção ambiental, diferente das áreas residenciais.

Enquanto a construção das Asas Nortes e Sul se intensifica nas décadas de 60 e 70 o Setor Sudoeste e, especialmente, o Setor Noroeste iniciaram suas construções décadas depois, quando a compreensão sobre os efeitos climáticos que a intervenção humana causa a nível global e local já eram sedimentadas.

Como o ambiente urbano é um sistema complexo, de autorregulação entre diferentes atores sociais buscou-se setores com dados socioeconômicos similares, de forma a minimizar as possíveis que elas implicam sobre o ambiente construído a fim de termos uma resposta sobre os SE comparável.

Tabela 2: Dados socioeconômicos do Sudoeste, Plano Piloto e Noroeste

		Sudoeste	Plano Piloto	Noroeste	Média	Desvio Padrão	Coefficient e de variação
Sexo	Masculino	47,10%	46,60%	46,10%	46,60 %	0,005	1,07%
	Feminino	52,90%	53,40%	53,90%	53,40 %	0,005	0,94%
Idade média (anos)		38,8	40,3	35,8	38,3	2,291	5,98%
Raça	Branca	62%	61%	60%	61,00 %	0,010	1,64%
	Parda	33,70%	30,70%	36,40%	33,60 %	0,029	8,49%
	Preta	2,60%	6,70%	1,80%	3,70%	0,026	71,05%
	Amarela	1,50%	1,30%	1,30%	1,37%	0,001	8,45%
	Indígena	Amostra insuficiente	Amostra insuficiente	Amostra insuficiente	0	0	0,00%
Educação	Superior Completo	96,30%	75,50%	92,30%	88,03 %	0,110	12,54%
	Médio Completo	5,80%	14,90%	4,20%	8,30%	0,058	69,54%

	Superior incompleto	4,30%	4,70%	2,20%	3,73%	0,013	35,97%
	Fundamental incompleto	1,60%	1,90%	Amostra insuficiente	1,75%	0,002	12,12%
	Médio Incompleto	1,20%	1,50%	Amostra insuficiente	1,35%	0,002	15,71%
	Fundamento Completo	Amostra insuficiente	0,90%	Amostra insuficiente	0,90%	0	0,00%
	Sesmescolaridade	Amostra insuficiente	Amostra insuficiente	Amostra insuficiente	0,00%	0	0,00%
Redimento	Renda Média per capita	R\$ 9.261,68	R\$ 8.444,42	R\$ 11.227,50	R\$ 9.644,53	R\$ 1.430,50	14,83%
	Coeficiente de Gini	0,34	0,38	0,26	0,327	0,061	18,70%
	Renda Domiciliar	R\$ 15.390,60	R\$ 14.087,00	R\$ 19.058,30	R\$ 16.178,63	R\$ 2.577,64	15,93%
	Coeficiente de Gini	0,36	0,38	0,29	0,343	0,047	13,76%

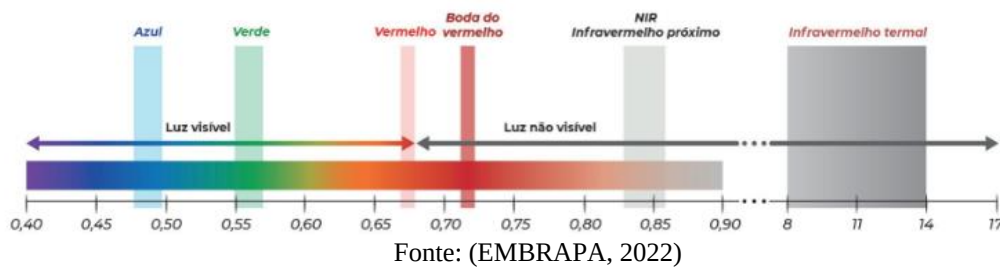
Fonte: Autoria própria. Dados da Pesquisa Distrital por amostra de Domicílios (CODEPLAN, 2021)

Pelos dados da Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN) e o histórico apresentado fica evidenciado que os setores selecionados tratam-se de áreas propostas pelo mesmo urbanista, com diretrizes semelhantes, por uma classe social homogênea. A diferença fundamental entre essas zonas urbanas foi o período da construção.

5 MATERIAL E MÉTODOS

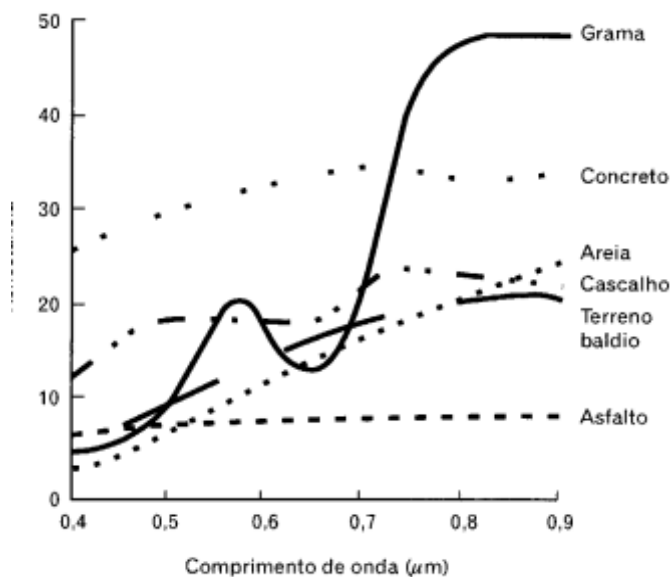
Sensoriamento remoto (SR) é toda aquisição de informações sobre um objeto que não está em contato direto com o observador (Garbin, 2023). Bandas espectrais são as diferentes faixas de comprimentos de onda eletromagnéticas que compõem a radiação refletida pelos corpos. A luz visível compreende uma pequena faixa de toda a radiação emitida. Será utilizada, particularmente, o processamento e análise de sensores remotos multiespectrais instalados em satélites, a vantagem dos sensores multiespectrais é a diferenciação de bandas espectrais, assim é possível identificar variações necessárias para a análise (Amaral *et al.*, 2020).

Figura 14: Bandas espectrais



Cada material possui uma “identidade espectral”, isto é, cada material reflete radiação de uma maneira específica. Dessa maneira é possível diferenciar os materiais através da separação de bandas espectrais.

Figura 15: Perfil espectral de alguns materiais



Optou-se por utilizar imagens obtidas de forma gratuita, assim como a utilização de softwares gratuitos, visando possibilitar a maior disseminação do conhecimento, uma vez que ele se torna reproduzível e adaptável para um maior número de pesquisadores e interessados. As imagens, adquiridas on-line e de forma gratuita, são da Constelação de satélite PlanetScope, que foram obtidas com sensor PS2. As imagens da PlanetScope, a priori, são pagas, porém o Programa de Dados de Satélite da Iniciativa Internacional para o Clima e as Florestas da Noruega (NICFI, em inglês) disponibiliza mosaicos prontos para análise, com fins não comerciais, a fim de ajudar o combate às mudanças climáticas e facilitar desenvolvimento sustentável.

Há disponibilização de imagens (na região de estudo) desde dezembro de 2015. Entre dezembro de 2015 e setembro de 2020 as imagens fornecidas são semestralmente (junho e dezembro) e, a partir de setembro de 2020, novas imagens são adicionadas mensalmente. Para essa pesquisa serão utilizadas as bandas Azul, Verde, Vermelho e NIR (infravermelho próximo). A resolução espectral dessas bandas é 4,77m, em outras palavras, cada pixel da imagem representa um quadrado de 4,77m por 4,77m. Abaixo tem-se o comprimento de ondas do PS2 por banda expressa em nanômetros (Planet, 2023).

Azul: 455 – 515nm

Verde: 500 – 590nm

Vermelho: 590 – 670nm

NIR: 780 – 860nm

O processamento das imagens garantirá sua adequação ao estudo. Com tais procedimentos espera-se a visualização e correlação entre o uso do solo, e indicação da diferença quanto à eficiência como sumidouro de carbono das regiões. Para tanto será utilizado o software livre QGIS (Quantum GIS). Através do software pode-se manipular as bandas espectrais para obtenção de índices pertinentes para o objetivo da dissertação, são eles:

1) NDVI - Índice de vegetação por diferença normalizada (Rouse *et al.*, 1974). Com esse índice pretende-se analisar e classificar os tratos vegetais. O índice é associado à capacidade de vegetação urbana em absorver CO₂ (Ribeiro, 2008). O NDVI é calculado pela expressão matemática abaixo (Equação 1) que é divisão da subtração da banda NIR pela RED pela sua soma. É um índice amplamente usado e reconhecido pela sua eficácia na diferenciação

do uso do solo assim com a condição da eventual área verde presente (Fontana *et al.*, 2019). Seus valores variam de -1 a 1.

Equação 1: Cálculo NDVI

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Vermelho}}{\text{NIR} + \text{Vermelho}}$$

2) PRI - Índice de Refletância Fotossintética (Gamon, Peñuelas e Field, 1992). Esse índice investiga o comportamento das vegetações quanto a utilização do CO₂ atmosférico. A sua formulação é similar ao NDVI com a diferenciação de quais bandas são usadas como referência. O PRI é calculado pela expressão matemática abaixo (Equação 2) que é divisão da subtração da banda Azul pela Verde pela sua soma. Seus valores variam de -1 a 1.

Equação 2: Cálculo do PRI

$$\text{PRI} = \frac{\text{Azul} - \text{Verde}}{\text{Azul} + \text{Verde}}$$

Como explicado o NDVI e o PRI podem ter valores negativos, por uma questão de ajuste utiliza-se uma transformação conhecida como sPRI, para transformar o PRI em valores positivos.

Equação 3: Cálculo do sPRI

$$\text{sPRI} = \frac{\text{PRI} + 1}{2}$$

3) CO₂flux (Rahman *et al.*, 2000) - índice com o objetivo de analisar as formações vegetais com a maior eficácia fotossintética, logo, o desempenho da vegetação no sequestro de carbono atuando como um sumidouro (Amaral *et al.*, 2020).

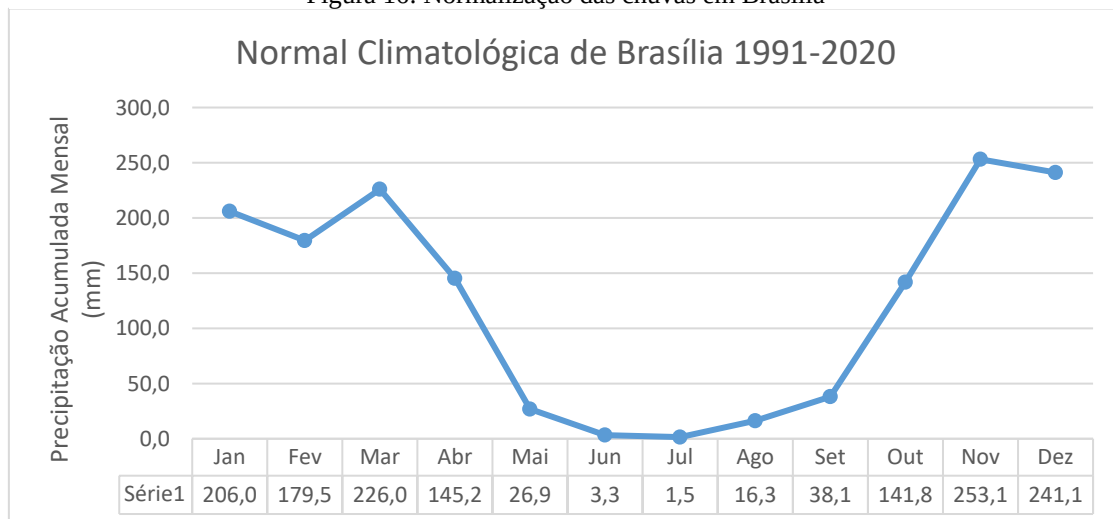
Equação 4: Cálculo do CO₂flux

$$\text{CO}_2\text{flux} = \text{NDVI} * \text{sPRI}$$

Baptista (2003; 2004) através de seus trabalhos com sensores hiperespectrais desenvolve o índice espectral ICO₂ que mensura a coluna vertical de CO₂ presente na atmosfera e demonstra a íntima correlação com o índice CO₂flux. O autor conclui que os dois índices demonstram o mesmo feito inversamente: quanto maior o índice CO₂flux, menor será o ICO₂ e, portanto, fica evidenciado uma área de sumidouro de CO₂. Quanto maior o valor encontrado para o CO₂flux maior é a eficácia fotossintética daquele pixel.

Foram escolhidos dois meses (junho e dezembro) para a análise. A escolha desses meses tem dois motivadores: i) o DF tem um período chuvoso (outubro até março) e um seco (abril até setembro) muito marcados (ver figura), os meses de Junho e Dezembro ficam na metade desses períodos, nos fornecendo assim dados das duas situações extremas do ano; ii) selecionando junho e dezembro é possível futuras expansões da série histórica até 2015.

Figura 16: Normalização das chuvas em Brasília



Fonte: Produzido pelos autores a partir dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024)

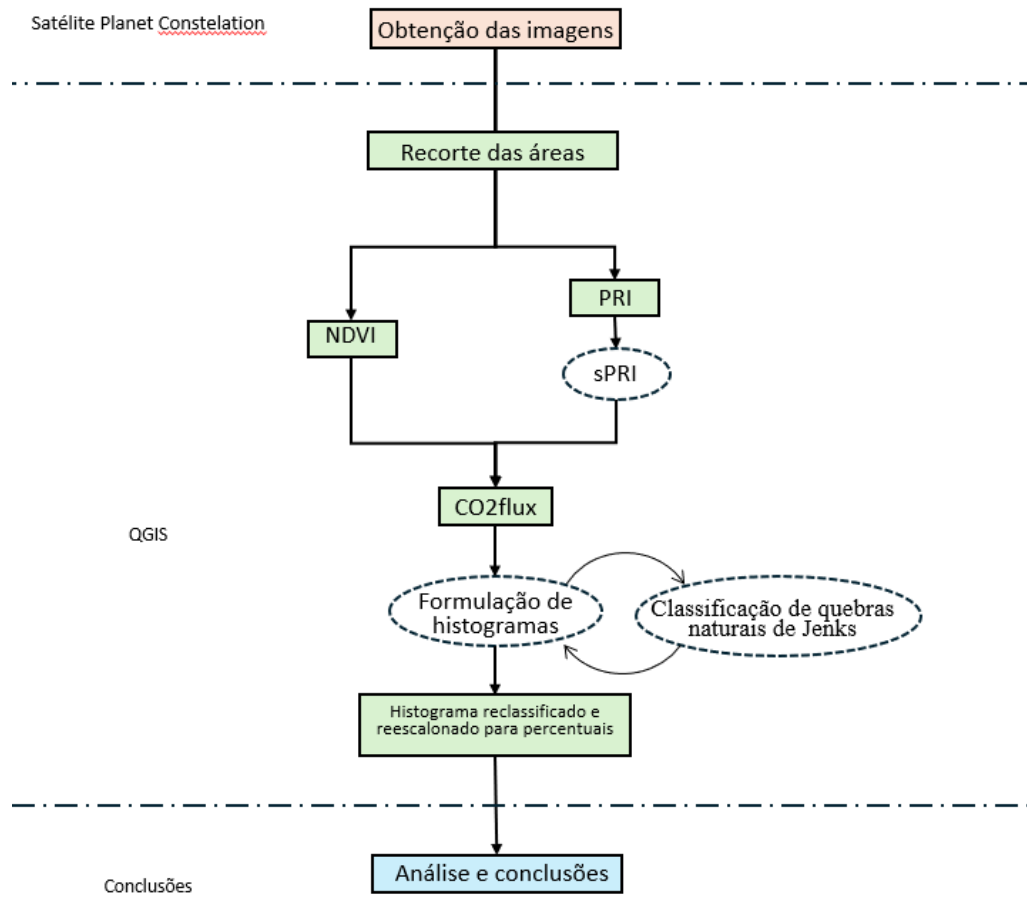
Primeiramente obteve-se as imagens da Constelação de satélite PlanetScope, em seguida essas imagens foram submetidas ao cálculo de NDVI e PRI separadamente. Do PRI obteve-se o sPRI e em combinação com o NDVI atingimos o CO₂flux. Após atingido o CO₂flux ainda houve a consideração de como dividir os atributos gerados através de classes de bandas para melhor visualização e análise, assim como formulação dos histogramas para quantificação. Pretende-se pormenorizar esses procedimentos no artigo.

A Figura 18 explica o fluxograma dos processos aplicados na metodologia dessa pesquisa. Pretende-se analisar os Setores Noroeste, Sudoeste, Asa Norte e Sul. Dentro dos Setores Noroeste, Sudoeste e Asa Norte foi analisada as influências das áreas ambientalmente protegidas.

Iniciamos com a obtenção e imagens da Constelação de satélite PlanetScope, em seguida essas imagens foram recortadas, destacando-se as áreas protegidas. A partir da separação tratou-se duas imagens para cada região: uma sem incluir as áreas protegidas, que será denominada de “área recortada”, e outra incluindo as áreas protegidas que será demonimada de “área completa”. Submeteu-se as imagens ao cálculo de NDVI e PRI separadamente. Do PRI obte-se o sPRI e em combinação com o NDVI atingimos o CO2flux. Após atingido o CO2flux foi possível traçar o histograma da quantidade de pontos por valor. Os dados foram separados em 6 classes através do método de classificação de quebras naturais de Jenks. Dessa maneira minimizamos a variância dentro das classes e maximizamos a variância entre classes, resultando em classes mais balanceadas. Com a nova definição das classes foi possível reclassificar as classes e reformular o histograma. Para que fosse possível comparar as duas imagens da mesma região (área recortada e completa) foi necessário o reescalonamento dos

histogramas em valores percentuais para cada região. Dessa maneira os valores de CO2flux ficam comparáveis.

Figura 167: Esquematização da Metodologia



Fonte: Autoria própria

6 ARTIGO: SUMIDOUROS DE CARBONO NO DISTRITO FEDERAL: ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS RESIDENCIAIS E A INFLUÊNCIA DE ÁREAS PROTEGIDAS

6.1 Introdução

Dentre os gases do efeito estufa (GEE) o dióxido de carbono (CO₂) é o mais impactante por possuir maior forçamento radiativo⁸ (IPCC, 2021). Segundo o Sexto Relatório de Avaliação (*Sixth Assessment Report*, ou AR6, de 2023) a temperatura global superará 1,5°C de aumento, comparado aos anos 1850-1900, antes da primeira metade da década de 2030. Nesse contexto, na 21ª Conferência das Partes (COP-21), é estabelecido o Acordo de Paris (2015), onde cada país membro voluntariamente assume a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, em inglês). como compromisso com a redução de emissões de GEE.

O Brasil define na sua NDC – com a versão vigente produzida em 2023 – a redução das emissões líquidas de GEE em 48% até 2025 e 53% até 2030 em referências aos dados de 2005 (BRASIL, 2022). O Distrito Federal (DF), em 2022, instituiu através do Plano Carbono Neutro do Distrito Federal, a “versão local” da NDC, responsabilizando-se a reduzir em 20% até o ano de 2025 e em 37,4% até 2030 os GEE, tomando como referência o ano de 2013 (GDF, 2022).

A capacidade de absorção e retenção de CO₂ atmosférico qualifica zonas como sumidouros de carbono (Ferreira, 2010; Almeida, 2006; Amaral *et al.*, 2020). Dentro do ambiente urbano, as áreas verdes se destacam pela mitigação das emissões de GEE (Viveiros, 2017; MEA, 2005). Entende-se como mitigação, segundo o AR6 de 2023, “uma intervenção humana para reduzir as emissões ou aumentar os sumidouros de gases com efeito de estufa.”

Sistemas urbanos são críticos para alcançar reduções profundas de emissões e avançar no desenvolvimento resiliente do clima, particularmente quando isso envolve um planejamento integrado que incorpora infraestrutura física (IPCC, 2023)

⁸ O forçamento radiativo (FR) quantifica, em watts por metro quadrado (W m⁻²), a mudança nos fluxos de energia provocados na troposfera pelos catalisadores do aquecimento global. O FR antropogênico total para 2011 em relação a 1750 é de 2,29 W m⁻², sendo o CO₂ sozinho causador de um FR de 1,68 W m⁻². (IPCC, op. cit.).

A legislação Brasileira é rasa e omissa para definir “áreas verdes urbanas”. O Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) se propõe a definir o termo.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

XX - Área verde urbana: espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais; (BRASIL, 2012)

O DF não possui legislação que verse sobre a definição de “áreas verdes urbanas”, ainda que possua um Plano de Mitigação para redução da emissão de gases de efeito estufa de 2021. O Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) é omissivo, ainda que ressalte a importância da sua ampliação, o mesmo acontece com o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do DF.

Importante dizer que “área verde” não se confunde com “área livre”, pois a primeira deve, necessariamente, ser capaz de exercer função ecológica tomado por algum tipo de vegetação, e com potencial para contribuir, em termos ambientais, com aumento do conforto térmico, controle da poluição do ar e acústica, interceptação das águas das chuvas, e abrigo à fauna (Benini e Martin, 2010; Bargos e Matias, 2011; Rubira, 2016). Lima e Amorim (2006), Branco (2009) e Coelho (2012) corroboram que as áreas verdes são centrais para a qualificação ecológica do ambiente urbano. Adotou-se a definição de Oliveira (2022)⁹ para “área verdes urbanas”: **“Ambientes livres em área urbana, públicos ou privados, com cobertura vegetal e permeabilidade, com potencial de auxiliar na manutenção dos ciclos naturais”**.

Não existe consenso na literatura de qual o tamanho mínimo de uma área para que ela possa ser considerada como “área verde urbana”. Perin (2019) aponta que metragem mais aplicável para o Brasil é da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) que, em 1996, definiu como 15m²/habitante como um índice desejável. Infelizmente a organização especifica esse valor apenas para “áreas públicas destinadas à recreação” ignorando o fator ambiental.

9 Citando: Llardent (1982); Lima et al.(1994); Macedo (1995), Oliveira (1996), Loboda et al.(2005); Guzzo et al (2006), Hijoka et al.(2007); Benini e Martin (2011); Bargos e Matias (2011).

Focando especialmente no contexto de atividades fotossintética das áreas verdes, especialmente no potencial de mitigação dos GEE é necessário abordar o conceito de “floresta urbanas”.

O termo arborização urbana acabou sendo muito mais difundido no Brasil confundindo-se às vezes com as definições de floresta urbana. A arborização urbana remete a um padrão de distribuição de árvores em um território urbano. Pode-se então concluir que as árvores em vias públicas e demais áreas livres de edificação são constituintes da floresta urbana atuando sobre o conforto humano no ambiente. (Rossetti, Pellegrino e Tavares, 2010).

Biondi (2015) Entende que a floresta urbana pode ser definida como toda “cobertura vegetal” situada dentro do perímetro urbano. As florestas urbanas são fundamentais para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e sequestro de carbono (Janhäll, 2015; Pearlmutter, 2017; Moreira et al., 2018; Ferreira; Duarte, 2019; Westfall et al., 2021 apud Heidemann *et al.*, 2024).

É oportuno pontuar em que contexto da dinâmica da construção da cidade essas áreas estão inseridas. A construção do ambiente urbano é permeada pelo processo de apropriação do espaço pela lógica capitalista mercadológica (Harvey, 1982; Rolnik, 1994). Durante a primeira fase de expansão das cidades modernas, a partir da primeira revolução industrial, as áreas verdes eram vistas como capital potencial desperdiçado. Mas logo os espaços entram na própria dinâmica do capital. Nascimento e Silva (2023) acrescentam que a questão ambiental não é mais vista como problemática pelos agentes do capital, e sim como uma nova área de expansão e reprodução de capital. A vinculação de uma demanda real (o Desenvolvimento Sustentável¹⁰) com a racionalidade neoliberal mescla o papel urbano de luta contra as mudanças climáticas com lucro capitalista através da construção de um urbanismo climático. Gonçalves, Lima e Fortunato destacaram o processo de como “gentrificação verde¹¹” (Nascimento e Silva, 2023) Rômulo (2008) afirma que o verde urbano pode ser considerado um indicador de condição de vida. A distribuição das áreas verdes urbanas, em especial as com vegetação, é relacionável, explicitamente ou não, com a segregação socioeconômica (Coelho, 2012). Em outras palavras, para a lógica mercadológica, a área verde urbana é um produto, que deve ser vendido com exclusividade para a maximização do lucro (Salatino, 2002).

¹⁰ O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades (CMED, 1987).

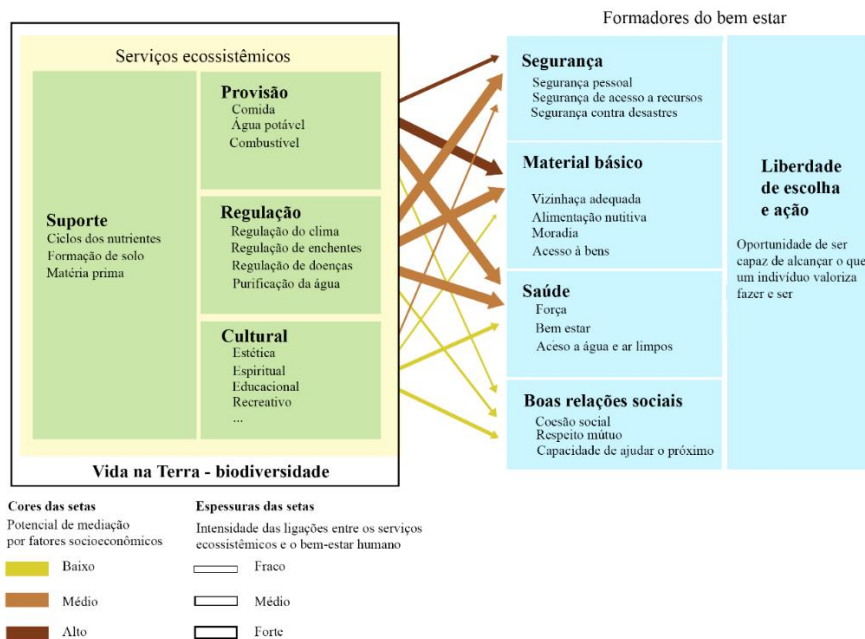
¹¹ Descreve como a melhoria da infraestrutura verde de determinada área das cidades leva a uma pressão imobiliária que tende a expulsar as pessoas de classe mais pobres em detrimento de classes mais ricas.

Serviços ecossistêmicos (SE) se refere aos benefícios de bem-estar que a população obtém a partir dos ecossistemas naturais (Ehrlich e Ehrlich, 1983). SE são as externalidades positivas para a população humana proporcionadas por uma área com predominância de ambiente natural. Pode-se classificá-los em quatro categorias (Figura 01): (a) serviços de suporte: garantidores das demais categorias, fixação de carbono atmosférico; (b) serviços de provisão: fornecimento de insumos básicos como alimentos e água potável; (c) serviços de regulação: purificação da água, controle de doenças, estabilização do clima, e; (d) serviços culturais: educação, conexão espiritual, entre outros (MEA, 2005; Amaral *et al.*, 2020). Essa categorização também é amplamente aceita entre acadêmicos e é adotada pela Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021.

Tavares, Bergier e Guaraldo (2021) entendem que os SE reguladores têm particular importância no ambiente urbano, visto a necessidade de purificação do ar, regulação do ruído, regulação do microclima, drenagem de águas pluviais e tratamento de esgoto. Jennings, Larson e Yun (2016, apud (Gaudereto *et al.*, 2018) demonstram as relações entre as áreas verdes urbanas, eficientes prestadoras de serviços ecossistêmicos, e os consequentes benefícios para a saúde física, psicológica e social da população.

O planejamento urbano tem que levar em consideração os SE (Rolo *et al.*, 2019), visão que é apoiada por Gaudereto *et al.* (2018) que acrescenta que os SE são um mecanismo para a promoção de cidades sustentáveis e saudáveis.

Figura 1 - Serviços ecossistêmicos e Bem-estar Humano



Fonte: Tradução livre dos autores do gráfico do MEA (2005)

Soluções baseadas na Natureza (SbN) como conceito foi especialmente desenvolvido pela União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN).

Ações para proteger, gerir de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que abordem os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente benefícios para o bem-estar humano e a biodiversidade (Cohen Shacham e Walters, 2016)¹²

SbN busca o aprimoramento de ecossistemas adotando padrões de organização e forma encontrados na natureza. uma visão mais proativa. Através da gestão desses espaços busca-se mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas, posto que ecossistemas naturais e aqueles modificados com princípios das SbN funcionam como sumidouros de carbono (Cohen Shacham e Walters, 2016).

A Resolução adotada pela Assembleia das Nações Unidas para o Ambiente na 5ª sessão em 2 de março de 2022, reconhece que as SbN podem contribuir significativamente para a mitigação das alterações climáticas e do seu impacto (UNEP, 2022).

A Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal (SEMA-DF) entende que as SbN são essenciais para o promover sumidouros de carbono no GDF colaborando com as metas da Agenda 2030.

¹² Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.

6.2 Local de pesquisa

Brasília é inaugurada em 1960 como a nova capital do Brasil, pertencente ao DF com uma área de 5.760,78 km² (IBGE, 2022). O desenho urbano de Lúcio Costa, que fundamentou a construção da nova capital, divide a cidade em escalas e zonas por tipo de ocupação. A Asa Norte e a Asa Sul (reservadas para a zona residencial) foram morfologicamente caracterizadas por Lúcio Costa. Compostas de edifícios de no máximo 6 pavimentos mais o Pilotis¹³. Para o paisagismo das áreas residenciais da nova cidade, Lúcio Costa propôs que uma cinta densamente arborizada de árvores de grande porte emoldurasse as superquadras residenciais.

16- Quanto ao problema residencial, ocorreu a solução de criar-se uma sequência contínua de grandes quadras dispostas, em ordem dupla ou singela, de ambos os lados da faixa rodoviária, e emoldurados por uma larga cinta densamente arborizada, árvores de porte, [...] independentemente das áreas livres previstas no interior das próprias quadras (Costa, 1956).

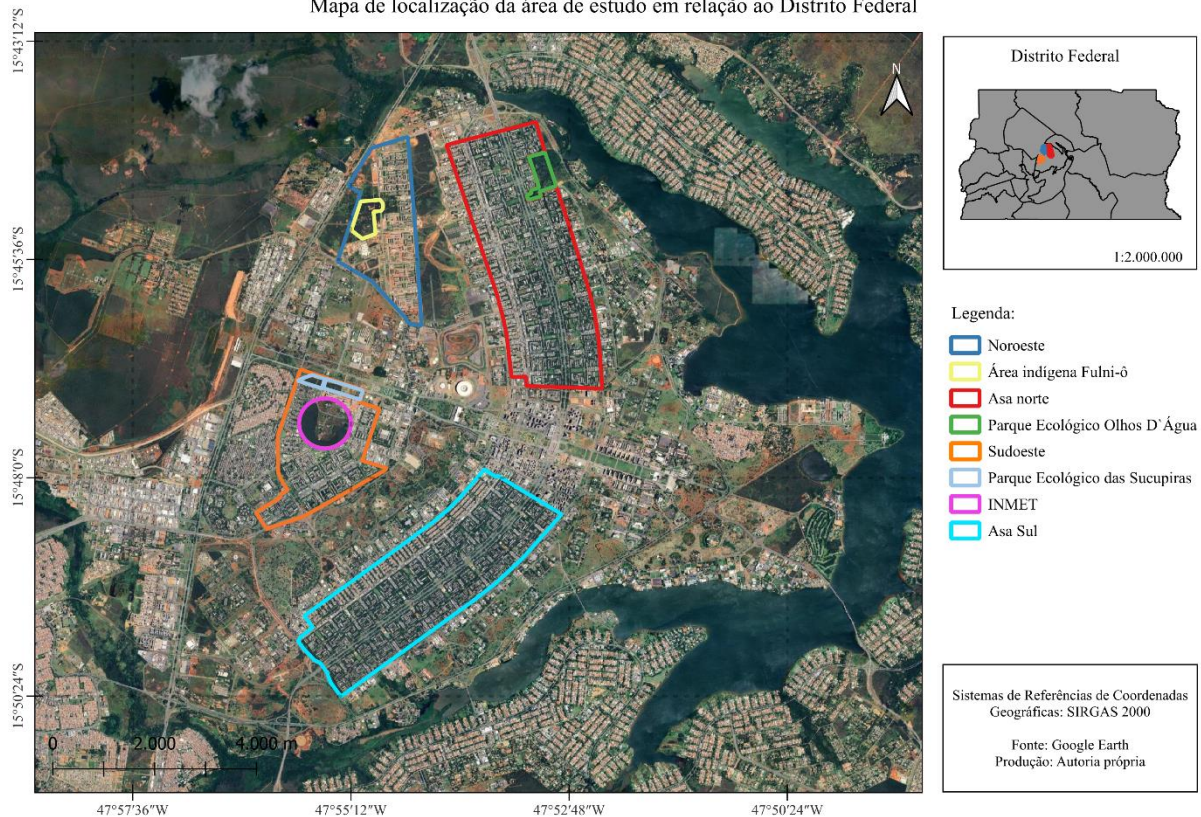
Essa vegetação faz parte da escala bucólica: espaço reservado às áreas verdes (IPHAN, 2014). A conformação da escala bucólica qualifica Brasília como cidade-parque e segundo Londe e Mendes (2014) essas áreas são importantes para o equilíbrio climático.

O documento “Brasília Revisitada” de 1985, produzido por Lúcio Costa, avança novas propostas para Brasília, dentre elas a criação do Setor Sudoeste o Noroeste, mantendo-se as “Características fundamentais do Plano Piloto”, entre elas: o limite de 6 pavimentos; a densa arborização circundante das quadras; e “quintal comum” no centro (Costa, 1987).

Nesse artigo analisa-se o Setor Noroeste, Setor Sudoeste, Asa Norte; Asa Sul todas destinadas para o uso residencial e guiadas obrigações legais e determinantes arquitetônico e urbanístico similares (Costa, 1987), além de uma população homogênea socio economicamente (CODEPLAN, 2021). Restringe-se, dessa maneira, demais fatores e facilita-se a padronização dos resultados da pesquisa e apontar conclusões com maior grau de precisão. Destacam-se no Setor Noroeste, Sudoeste e a Asa Norte zonas não suscetíveis à ocupação residencial e com viés de preservação ambiental, explicadas em seguida.

¹³ Pilotis caracteriza-se nos edifícios, não importando seu uso, que possuem o nível térreo em sua maioria livre de limitações. O termo Pilotis é de origem francesa e significa palafita.

Figura 2: Localização da área de estudo, Distrito Federal
 Mapa de localização da área de estudo em relação ao Distrito Federal



Fonte: Autoria própria

No Setor Noroeste, através de um Acordo judicial envolvendo as lideranças da comunidade indígena Fulni-ô, órgãos institucionais como a Companhia Imobiliária de Brasília (TERRACAP), Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM) e Ministério Público Federal (MPF), foi demarcada uma área de 32,5 hectares, local sagrado para a cultura da comunidade (Queiroz e Maia, 2021). No Setor Sudoeste localiza-se o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em formato circular e com uma cobertura parcial de mata nativa densa e bem preservada. Há ainda o Parque Ecológico das Sucupiras. Na Asa Norte encontra-se o Parque Ecológico Olhos D'Águas.

O Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC define “Parque Ecológico”, apontado como objetivos, entres outros: “recuperar áreas degradadas, promovendo sua revegetação com espécies nativas; incentivar atividades de pesquisa e monitoramento ambiental e estimular a educação ambiental e as atividades de lazer e recreação em contato harmônico com a natureza.” (GDF, 2010).

6.3 Objetivo

Comparar o desempenho, enquanto prestadores de serviço ecossistêmico (SE) de suporte, através da capacidade de sumidouros de GEE, as áreas verdes urbanas residenciais presentes nos setores Sudoeste, Noroeste, Asa Norte e Asa Sul, em Brasília – DF.

6.3.1 Objetivos Específicos

a) Identificar e quantificar as áreas verdes urbanas residenciais, nas regiões pesquisadas, que agem como sumidouros de GEE. Classificar e comparar os sumidouros de GEE das regiões.

b) Identificar e quantificar as áreas verdes urbanas residenciais, nas regiões pesquisadas, a influências das áreas preservadas, não disponíveis para ocupação residencial. Avaliar a importância dessas regiões preservadas para as regiões.

6.4 Material e Métodos

Sensoriamento remoto (SR) é toda aquisição de informações sobre um objeto que não está em contato direto com o observador (Garbin, 2023). Bandas espectrais são as diferentes faixas de comprimentos de onda eletromagnéticas que compõem a radiação refletida pelos corpos. Utilizou-se o processamento e análise de sensores remotos multiespectrais instalados em satélites, a vantagem é a diferenciação de bandas espectrais, assim é possível identificar variações necessárias para a análise (Amaral *et al.*, 2020).

Optamos por utilizar imagens obtidas de forma gratuita, assim como a utilização de softwares gratuitos, assim possibilitamos a maior disseminação do conhecimento, uma vez que ele se torna reproduzível e adaptável para um maior número de pesquisadores e interessados. As imagens, adquiridas on-line e de forma gratuita, são da Constelação de satélite PlanetScope, que foram obtidas com sensor PS2. Há disponibilização de imagens (na região de estudo) desde

dezembro de 2015. Entre dezembro de 2015 e setembro de 2020 as imagens fornecidas são semestralmente (junho e dezembro) e, a partir de setembro de 2020, novas imagens são adicionadas mensalmente. Para essa pesquisa serão utilizadas as bandas Azul, Verde, Vermelho e NIR (infravermelho próximo). A resolução espectral dessas bandas é de 4,77m. Abaixo o comprimento de ondas do PS2 por banda expressa em nanômetros¹⁴ (Planet, 2023).

Azul: 455 – 515nm

Verde: 500 – 590nm

Vermelho: 590 – 670nm

NIR: 780 – 860nm

O processamento das imagens garantirá sua adequação ao estudo. Espera-se a visualização e correlação entre o uso do solo, busca-se a inferência de potencial de atividade fotossintética o que sugere à eficiência como sumidouro de carbono das regiões. Para esse fim, será utilizado o software livre QGIS (Quantum GIS), no qual as bandas espectrais para obtenção de índices pertinentes para o objetivo da pesquisa, são eles:

1) NDVI - Índice de vegetação por diferença normalizada (Rouse *et al.*, 1974). Com esse índice pretende-se analisar e classificar os tratos vegetais. O índice é associado à capacidade de vegetação urbana em absorver CO₂ (Ribeiro, 2008). O NDVI é calculado pela expressão matemática abaixo (Equação 1) que é divisão da subtração da banda NIR pela RED pela sua soma. É um índice amplamente usado e reconhecido pela sua eficácia na diferenciação do uso do solo assim com a condição da eventual área verde presente (Fontana *et al.*, 2019). Seus valores variam de -1 a 1.

Equação 5 - Cálculo NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - Vermelho}{NIR + Vermelho}$$

¹⁴ Um Nanômetro (nm) é igual a 10⁻⁹metros

2) PRI - Índice de Refletância Fotossintética (Gamon, Peñuelas e Field, 1992). Esse índice investiga o comportamento das vegetações quanto a utilização do CO₂ atmosférico. A sua formulação é similar ao NDVI com a diferenciação de quais bandas são usadas como referência. O PRI é calculado pela expressão matemática abaixo (Equação 2) que é divisão da subtração da banda Blue pela Green pela sua soma. Seus valores variam de -1 a 1.

NDVI e o PRI podem ter valores negativos, por uma questão de ajuste será utilizada uma transformação conhecida como sPRI, para transformar o PRI em valores positivos.

Equação 7 - Cálculo do sPRI

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2}$$

$$PRI = \frac{\text{Azul} - \text{Verde}}{\text{Azul} + \text{Verde}}$$

3) CO₂flux (Rahman *et al.*, 2000) - índice com o objetivo de analisar as formações vegetais com a maior eficácia fotossintética, logo, o desempenho da vegetação no sequestro de carbono atuando como um sumidouro (Amaral *et al.*, 2020).

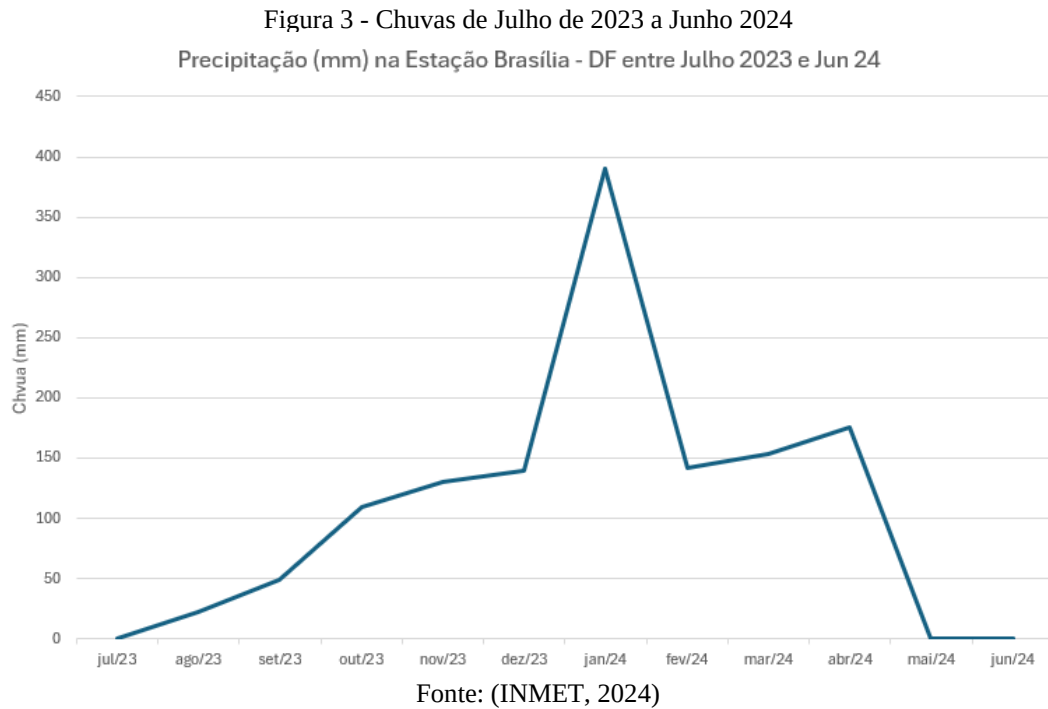
Equação 8 - Cálculo do CO₂flux

$$CO_2\text{flux} = NDVI * sPRI$$

Baptista (2003; 2004) através de seus trabalhos com sensores hiperespectrais desenvolve o índice espectral ICO₂ (que mensura a coluna vertical de CO₂ presente na atmosfera) e demonstra a íntima correlação com o índice CO₂flux. O autor conclui que os dois índices demonstram o mesmo feito inversamente: quanto maior o índice CO₂flux, menor será o ICO₂ e, portanto, fica evidenciado uma área de sumidouro de CO₂. Quanto maior o valor encontrado para o CO₂flux maior é a eficácia fotossintética daquele pixel.

Foram selecionados dois meses (junho e dezembro) para a análise. A escolha desses meses tem dois motivadores: i) o mês de junho é representativo do período seco que no DF vai de abril até setembro e o mês de dezembro é representativo do período chuvoso que se inicia

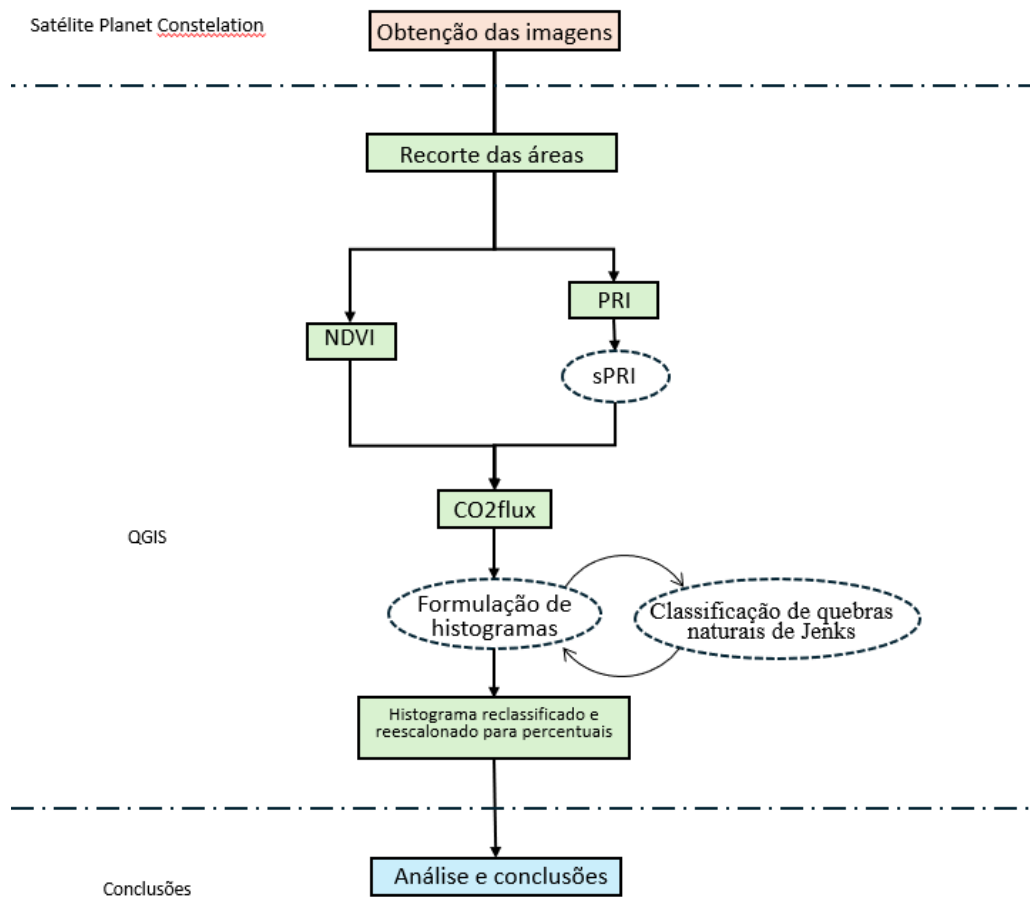
em outubro e se encerra em março; b) com a escolha de junho e dezembro pode-se, com o sensor PS2, expandir, em estudos adicionais, a série histórica até 2015. A Figura 18 mostra o acumulado de precipitação por mês entre Julho de 2023 e Junho 2024.



Após a obtenção das imagens prosseguiu-se com os recortes das imagens, tratou-se duas imagens para cada região: uma excluindo as áreas protegidas (área recortada), e outra incluindo as áreas protegidas (área completa). Em seguida calculamos o NDVI e PRI separadamente, corrigimos o PRI com o índice sPRI e obteve-se o CO2flux. Posteriormente traçou-se o histograma da quantidade de pontos por valor. Através do método de classificação de quebras naturais de Jenks estabelecendo-se 6 Classes. A classificação visa reduzir a variância dentro das Classes e potencializar a variância entre classes, balanceando-as. Prontamente foi realizada a reclassificação das classes e reformulação dos histogramas. Por meio do reescalonamento dos

histogramas em valores percentuais foi possível extrair informações de comparação entre áreas distintas.

Figura 4: Fluxograma de pesquisa



Fonte: Autoria própria

6.5 Resultados

Com a realização do CO2flux através do software QGis foram obtidos os valores dados para cada pixel das imagens das regiões para as regiões de estudo, após a reclassificação foi produzida uma imagem falsa-cor com as classes arbitradas. As 6 classes, foram divididos de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3: Classes dos valores de CO2flux

Cor atribuída	Classe	Mínimo	Máximo
	1	-1	0,031
	2	0,031	0,085
	3	0,085	0,126
	4	0,126	0,168
	5	0,168	0,211
	6	0,211	1

Fonte: Autoria própria

Valores acima de 0,168 (Classe 5) de CO2flux caracterizam uma região que demonstra atividade fotossintética importante. Esse valor foi obtido com a confrontação da divisão de classes com a de fotografias de satélite da região. Valores de Classe 6 mostram uma região com eficácia fotossintética elevada. Valores semelhantes foram encontrados por Almeida (2018).

Abaixo demonstraremos algumas fotos e sua relação com as Classes encontradas. As fotos foram produzidas em Dezembro de 2024, ou seja, no período chuvoso e são representações gerais de cada uma das seis Classes.

Figura 5 - Representação Classe 1



Fonte: Autoria própria

Figura 6 - Representação Classe 2



Fonte: Autoria própria

Figura 7 - Representação Classe 3



Fonte: Autoria própria

Através da análise do processamento das imagens de satélite e a visita in loco pode-se determinar com mais exatidão o que cada Classe representa. A Classe 1 comporta-se como materiais metálicos, muito presente em topo de edifícios e em áreas de construção. A Classe 2 representa materiais de pavimentação e asfalto assim como concreto.

A Classe 3 demonstra um solo exposto com uma fraca cobertura vegetal. Trata-se, nesse estudo, de uma área de gramínea baixa e que não reveste todo o solo.

Figura 8- Representação Classe 4



Fonte: Autoria própria

A Classe 4 trata-se de uma zona de transição entre a Classe 3 e 5. Apresenta uma formação vegetal mais consolidada e vigorosa. Por vezes pequenas formações arbustivas ou arbóreas sem formar grandes massa, mas em sua maioria trata-se de gramíneas e apresenta ainda algum solo exposto.

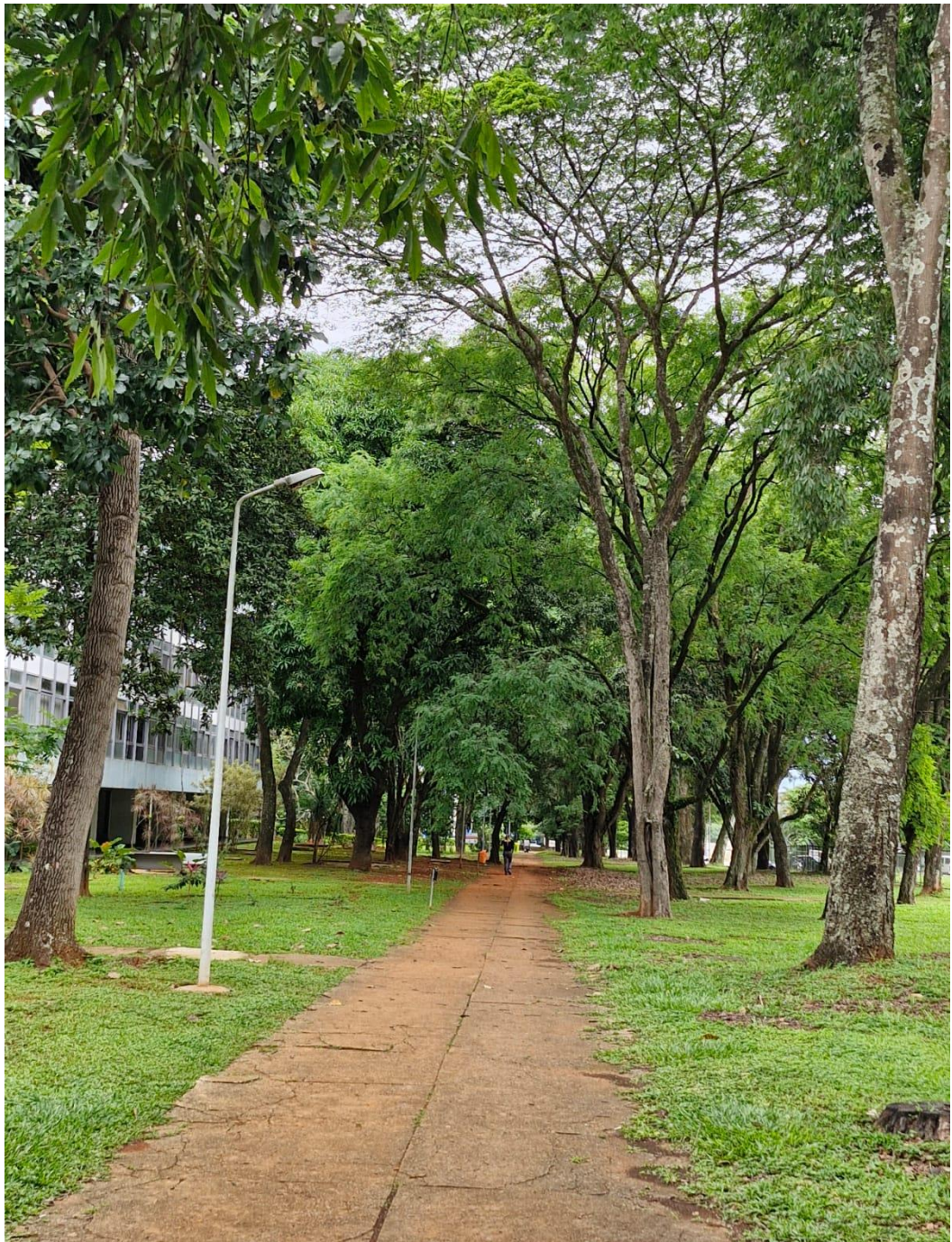
Figura 9 - Representação Classe 5



Fonte: Autoria própria

A partir da Classe 5 vemos uma cobertura quase que total do solo, sem a presença de solo exposto. A vegetação é vigorosa e possui muitas massas esparsas de maciços arbustivos e arbóreos. As Classes 5 e 6 já apresentam valores importantes de atividade fotossintética o que pode servir como indicativo que a área possa atuar como um sumidouro de carbono.

Figura 10 - Representação Classe 6



Fonte: Autoria própria

Na Classe 6 predomina a vegetação arbórea bem desenvolvida. Há pouquíssimo ou nenhum solo exposto. A vegetação é robusta e varia de indivíduos esparsos a grandes manchas de cobertura vegetal.

6.5.1 Setor Noroeste

Abaixo está a comparação entre dezembro de 2023 (estação chuvosa) e junho de 2024 (estação seca) do Setor Noroeste recortado. Note-se que destacamos no Setor Noroeste da área indígena Fulni-ô.

Figura 11 - Índice CO₂flux no Noroeste Dez/23 e Jun/24

ÍNDICE CO₂FLUX NO NOROESTE, BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL



Fonte: Autoria própria

É possível notar a baixa amostragem de pontos pertencentes a classe 5 e 6. Nas proximidades dos blocos residenciais fica claro a fragilidade da vegetação que entre dezembro e junho perde bastante vigor. Percebe-se ainda, a predominância de pontos marcados pelas Classes 1, 2, 3 e 4. Pontuamos que, no canto inferior esquerdo da imagem, há uma diminuição visível da Classe 1 de dezembro para junho. Constatamos que essa Classe, nessa pesquisa, se refere a material metálico. Visto que o Setor Noroeste está com muitos edifícios em obras a diminuição não causa espanto.

Abaixo está apresentado o Setor Noroeste com a área indígena Fulni-ô. Ambas as imagens são de Junho de 2024. É notável a importância da região referente a capacidade de absorção de CO₂ atmosférico (Figura 5). A área preservada demonstra, em quase sua totalidade, valores das Classes 5 e 6.

Figura 12 - Índice CO₂flux comparação área recortada e completa, Noroeste

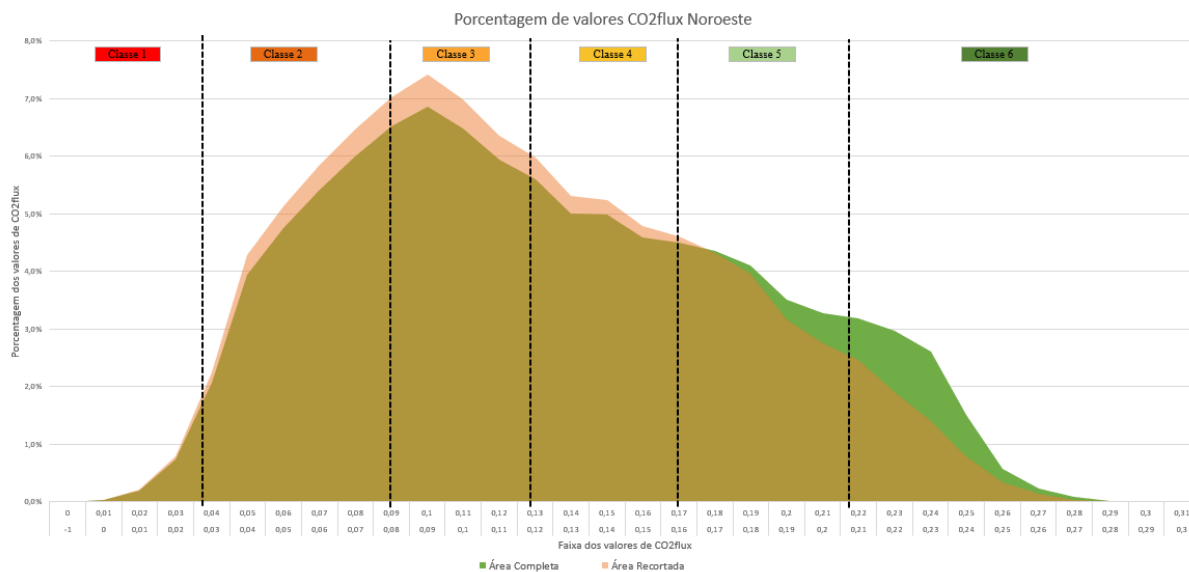
ÍNDICE CO₂flux NA ÁREA DO NOROESTE, BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL



Fonte: Autoria própria

Abaixo demonstra-se a comparação dos histogramas de CO₂flux para a área completa (verde) e recortada (rosa) em Junho de 2024. A área em que os gráficos se sobrepõem está na cor marrom.

Figura 13 - Histograma CO2flux Noroeste



Fonte: Autoria própria

A inserção da área indígena causa, no histograma, um deslocamento para direita, em direção às Classes 5 e 6 e representa um rebaixamento das demais Classes, em especial a Classe 3. Indicando, claramente, que o potencial de prestação de SE de suporte aumenta.

Apresentamos em seguida a somatória da quantidade de pontos pertencentes a cada uma das Classes.

Tabela 4 - Somatório de Classes, Noroeste

	Noroeste			
	Seca Completo		Seca Parcial	
Classe 1	1,18%	72,93%	1,28%	78,04%
Classe 2	25,49%		27,57%	
Classe 3	25,87%		27,82%	
Classe 4	20,39%		21,38%	
Classe 5	16,32%	27,07%	15,21%	21,96%
Classe 6	10,75%		6,74%	

Fonte: Autoria própria

A área indígena Fulni-ô representa 7,85% da área do Noroeste e causa um aumento nas Classes 5 e 6 de 5,11%. Chegamos assim à conclusão de que 87,10% da área protegida é composta de pontos de Classe 5 e 6, representando 3,97 vezes mais pontos com valores de Classe 5 e 6 do que a área recortada.

6.5.2 Setor Sudoeste

Abaixo há a comparação entre dezembro de 2023 (estação chuvosa) e junho de 2024 (estação seca) do Setor Sudoeste recortado. Note-se que destacamos no Setor Sudoeste as áreas protegidas (Parque Ecológico das Sucupiras e o INMET).

Figura 14 - Índice CO2flux no Sudoeste Dez/23 e Jun/24

ÍNDICE CO2FLUX NO SUDOESTE, BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL



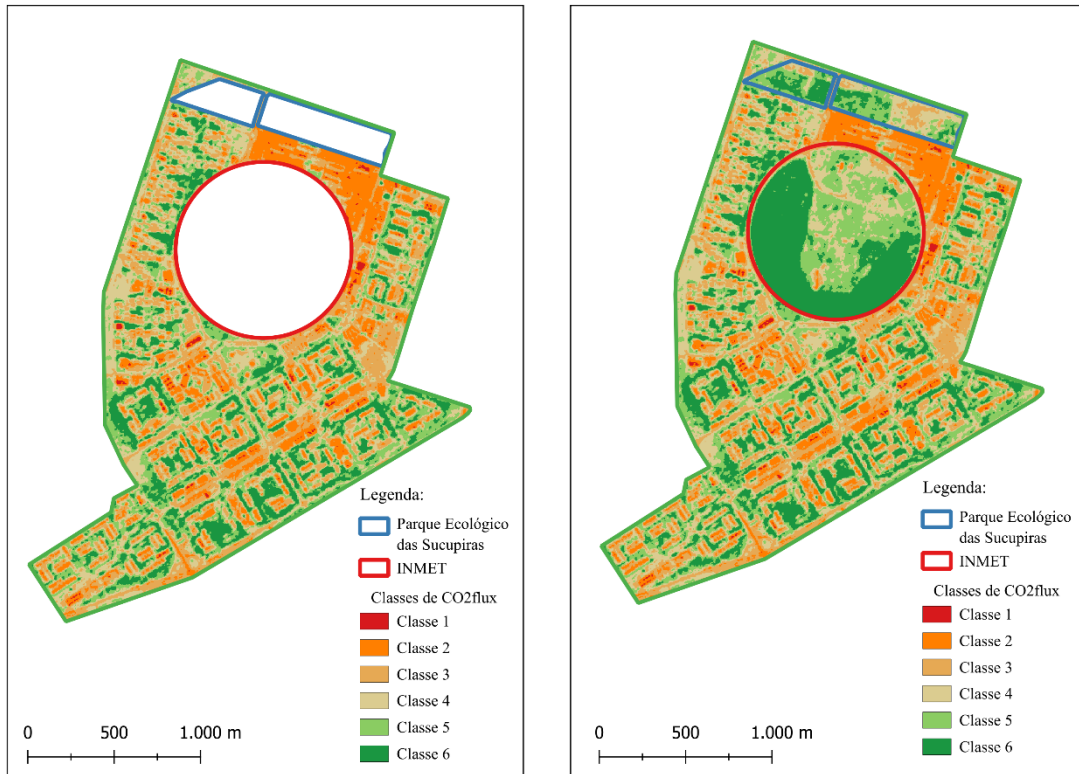
Fonte: Autoria própria

O CO2flux para o Setor Sudoeste revela uma área de relativa fragilidade. Muitos pontos de Classe 6 passam para a Classe 5 ou inferior no período da seca. Esse efeito pode ser explicado por grandes áreas não edificadas, com cobertura de solo natural, porém desprovidas de espécimes arbóreas ou nativas. Nesses “descampados”, durante o período chuvoso, a capacidade de fotossíntese aumenta, sugerindo que a área porra atuar como sumidouro de carbono. Por outro lado, no período seco essa capacidade é drasticamente reduzida. Cabe ressaltar a posição de Rubira (2016) que põe que “área verde” não se confunde com “área livre”.

Abaixo está apresentado o Setor Sudoeste com o Parque Ecológico das Sucupiras e o INMET. Ambas as imagens são de Junho de 2024.

Figura 15 - Índice CO₂flux comparação área recortada e completa, Sudoeste

ÍNDICE CO₂flux NA ÁREA DO SUDOESTE, BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL

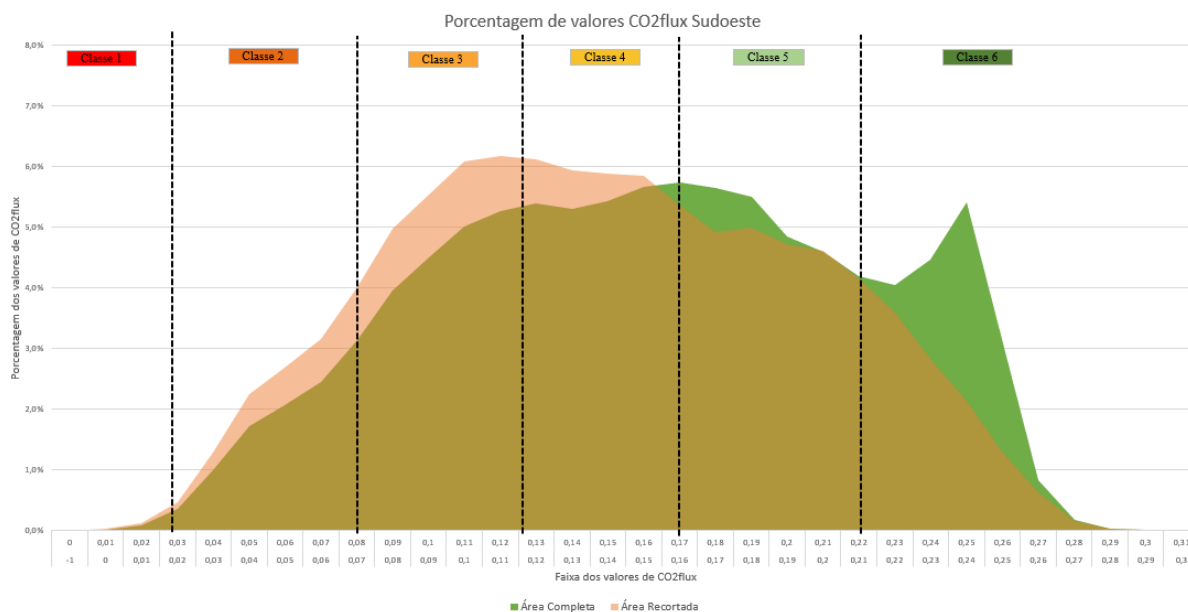


Fonte: Autoria própria

No Setor Sudoeste notamos que as áreas protegidas contêm duas situações opostas: enquanto parte dessas regiões são notoriamente de Classe 6, demarcando zonas fotossinteticamente ativa; outras revelam Classes inferiores, até o nível 3, demonstrando tratar-se de regiões com pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

A seguir, apresenta-se a comparação dos histogramas de CO₂flux para a área completa (verde) e recortada (rosa) em Junho de 2024. A área em que os gráficos se sobrepõem está na cor marrom.

Figura 16 - Histograma CO2flux Sudoeste



Fonte: Autoria própria.

A inserção das regiões protegidas causa, no histograma, um deslocamento para direita, em direção às Classes 5 e 6 e representa um rebaixamento das demais Classes, em especial a Classe 3. Indicando, claramente, que o potencial de prestação de SE de suporte aumenta. Observa-se, inclusive, num grande pico, antes inexistente, na Classe 6. Apresentamos em seguida a somatória da quantidade de pontos pertencentes a cada uma das Classes.

Tabela 5 - Somatório de Classes, Sudoeste

	Sudoeste			
	Seca Completo		Seca Parcial	
Classe 1	0,58%	56,28%	0,75%	65,18%
Classe 2	12,37%		15,89%	
Classe 3	20,09%		24,09%	
Classe 4	23,25%	43,72%	24,45%	34,82%
Classe 5	21,99%		20,56%	
Classe 6	21,73%		14,27%	

Fonte: Autoria própria.

As áreas Parque Ecológico das Sucupiras e o INMET somadas representam 23,17% da área do Sudoeste e causam um aumento na Classes 5 e 6 8,89 %. Chegamos assim à conclusão de que 73,21% da área protegida é composta de pontos de Classe 5 e 6, representando 2,10 vezes mais pontos com valores compatíveis com sumidouros de carbono do que a área recortada.

6.5.3 Asa Norte

A seguir, apresenta-se a comparação entre dezembro de 2023 (estação chuvosa) e junho de 2024 (estação seca) da Asa Norte recortado. Note-se que destacamos da Asa Norte o Parque Ecológico Olhos D'Água referente às quadras: SCLN 212 e SCLN 213; SNQ 413, SQN 414 e SCLN 414, SCLN 415.

Figura 17 - Índice CO2flux no Asa Norte Dez/23 e Jun/24

ÍNDICE CO2FLUX NA ÁREA DA ASA NORTE, BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL



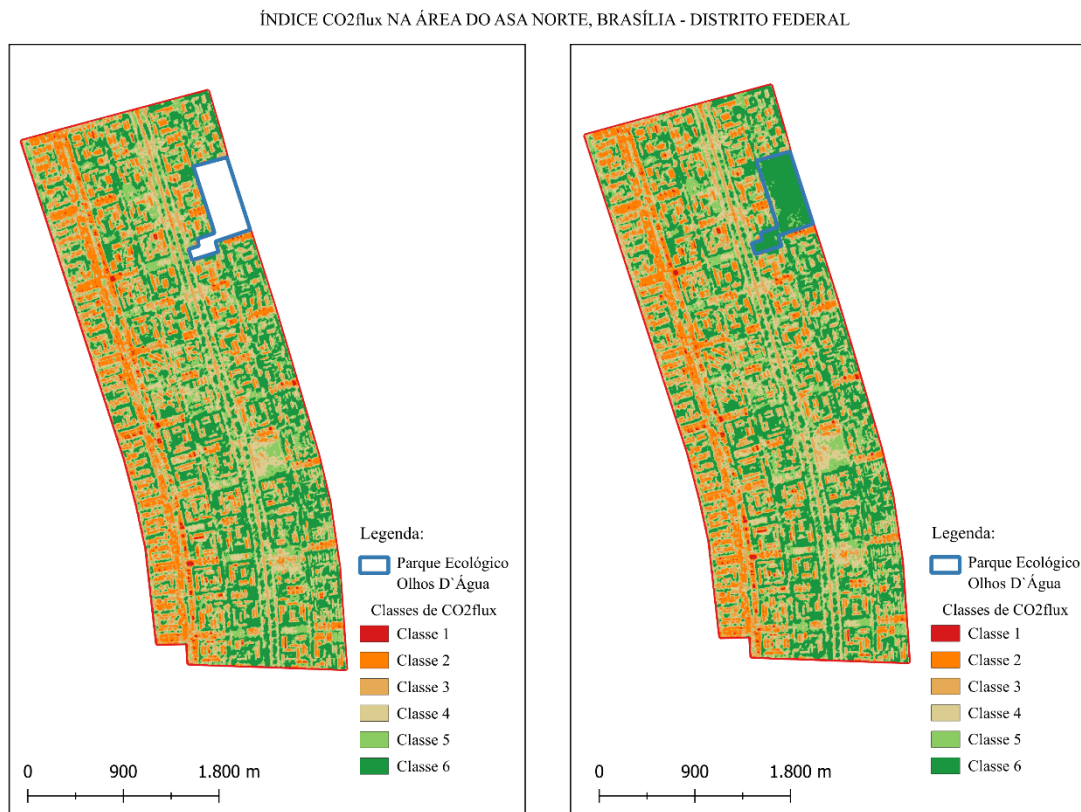
Fonte: Autoria própria

Pode-se distinguir na imagem claramente a via W3 (zona de comércio), e o Eixo Rodoviário (eixo de ligação viária). Ao redor dos edifícios residenciais, diferentemente do Setor Sudoeste, existem valores altos, mesmo na seca, o que demonstra uma vegetação consolidada e perene, com alta capacidade de resiliência. Nas entre quadras notamos duas ocupações: aquelas destinadas ao comércio e aquelas marcadas por descampados. Nos descampados é possível notar o mesmo efeito já marcado no Setor Sudoeste como fica demonstrado na única

quadra residencial não ocupada das Asas, a SQN 207. Fica bem caracterizado o “cinturão verde” e o “quintal comum” proposto por Lúcio Costa e com alta capacidade de prestação de SE de suporte. Mesmo em junho é notável a importante função, do ponto de vista ambiental, que a escala bucólica desempenha na região.

Abaixo está a Asa Norte com o Parque Ecológico Olhos D'Água. Ambas as imagens são de Junho de 2024.

Figura 18- Índice CO2flux comparação área recortada e completa, Asa Norte

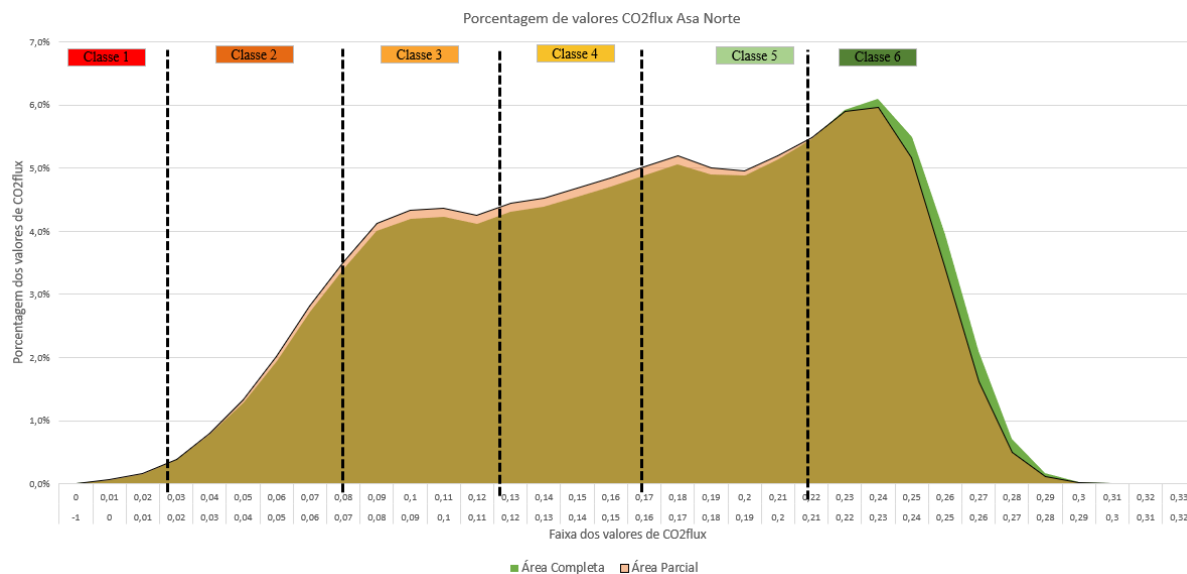


Fonte: Autoria própria

Notamos que a do Parque Ecológico Olhos D'Água é composta praticamente toda por pontos da Classe 6 com alguma ocorrência de Classe 5, destarte concluímos que se trata de uma zona com alta capacidade de absorção de CO₂, atuando como sumidouro de carbono na região.

A seguir visualiza-se a comparação dos histogramas de CO2flux para a área completa (verde) e recortada (rosa) em Junho de 2024. A área em que os gráficos se sobrepõem está na cor marrom.

Figura 19 - Histograma CO2flux Asa Norte



Fonte: Autoria própria.

A inserção da região protegida causa, no histograma, um discreto deslocamento para direita, em direção a Classe 6 e representa uma tímida diminuição das Classes inferiores. Indicando, que o potencial de prestação de SE de suporte da Asa Norte já é alto, independentemente do Parque Ecológico Olhos D'Água. O pico, na Classe 6, com ou sem a consideração do Parque é bem marcado. Apresentamos em seguida a somatória da quantidade de pontos pertencentes a cada uma das Classes.

Tabela 6 - Somatório de Classes, Asa Norte

	Asa Norte			
	Seca Completo		Seca Parcial	
Classe 1	0,69%		0,72%	
Classe 2	12,19%	49,37%	12,60%	50,84%
Classe 3	17,16%		17,69%	
Classe 4	19,32%		19,83%	
Classe 5	21,42%	50,63%	21,76%	49,16%
Classe 6	29,21%		27,40%	

Fonte: Autoria própria.

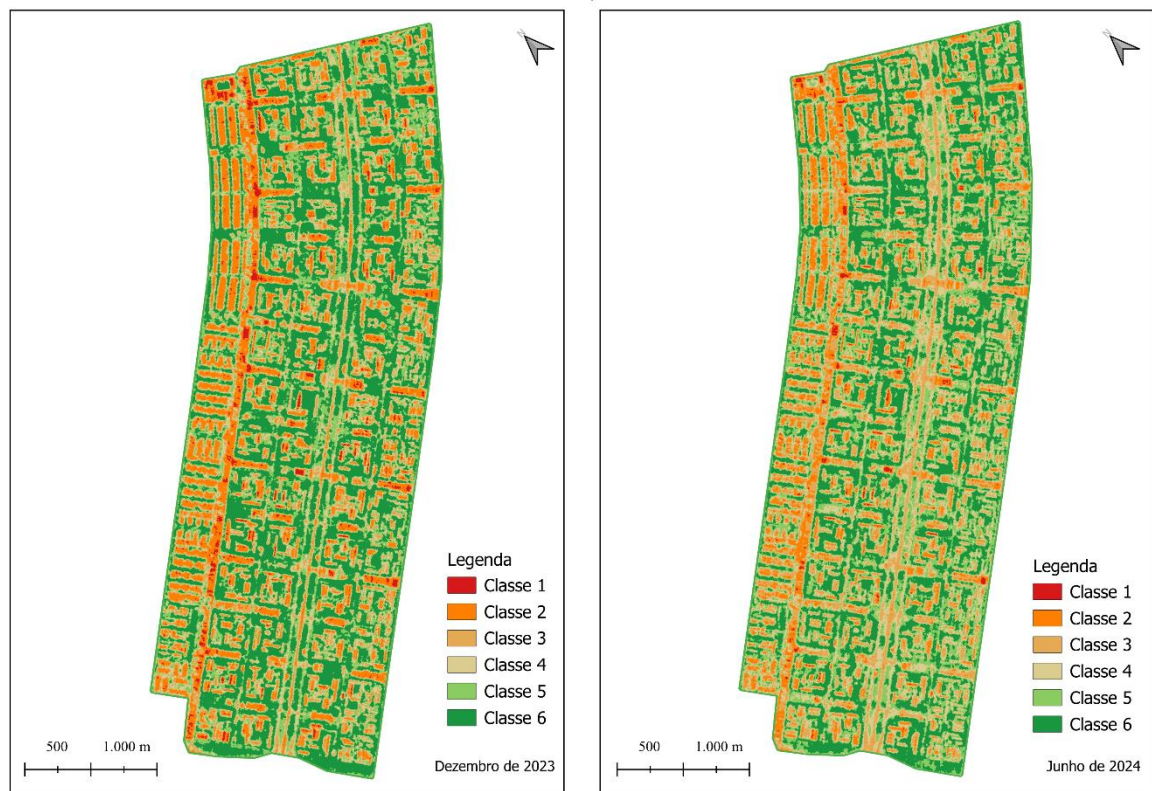
A área do Parque Ecológico Olhos D'Água representa 3,27% da área da Asa Norte e causa um aumento s Classes 5 e 6 de 1,47 %. Chegamos assim à conclusão de que 94,11% da área protegida é composta de pontos de Classe 5 e 6, representando 1,91 vezes mais pontos com valores compatíveis com sumidouros de carbono do que a área recortada.

6.5.4 Asa Sul

A Asa Sul, das 4 regiões, é a única que não foi realizada a retirada parcial da área, posto que ela não possui zonas de proteção ambiental. Abaixo, a comparação entre dezembro de 2023 (estação chuvosa) e junho de 2024 (estação seca) da Asa Sul.

Figura 20- Índice CO2flux no Asa Sul Dez/23 e Jun/24

ÍNDICE CO2FLUX NA ASA SUL, BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL



Fonte: Autoria própria

As observações pertinentes à Asa Norte são válidas para a Asa Sul, destacamos que nas quadras 700 há um comportamento alto de valores de CO2flux, indicando que a vegetação ao redor das residências unifamiliares possui alta capacidade fotossintética nas duas imagens. Aqui o fato ocorre com maior intensidade do que na Asa Norte.

6.5.5 Comparação entre Setores

Aqui, para melhor comparação, só foram considerados os setores recortados, ou seja, sem a inclusão das zonas de proteção ambiental. A seguir, apresenta-se a contabilização, em porcentagem, da quantidade de pontos pertencentes a cada uma das Classes, por Setor e por período. Adicionalmente é apresentada a soma da quantidade de pontos pertencentes às Classes 1, 2, 3 e 4 – como aquelas com baixa ou nenhuma capacidade de atuar como sumidouro de carbono - e as classes 5 e 6, aquelas ativas fotossinteticamente e que prestam SE de suporte como sumidouro de carbono.

Tabela 5 - Classes CO2flux Noroeste e Sudoeste

	Noroeste				Sudoeste			
	Seca Completo		Seca Parcial		Seca Completo		Seca Parcial	
Classe 1	1,18%		1,28%		0,58%		0,75%	
Classe 2	25,49%	72,93%	27,57%	78,04%	12,37%	56,28%	15,89%	65,18%
Classe 3	25,87%		27,82%		20,09%		24,09%	
Classe 4	20,39%		21,38%		23,25%		24,45%	
Classe 5	16,32%	27,07%	15,21%	21,96%	21,99%	43,72%	20,56%	34,82%
Classe 6	10,75%		6,74%		21,73%		14,27%	

Fonte: Autoria própria

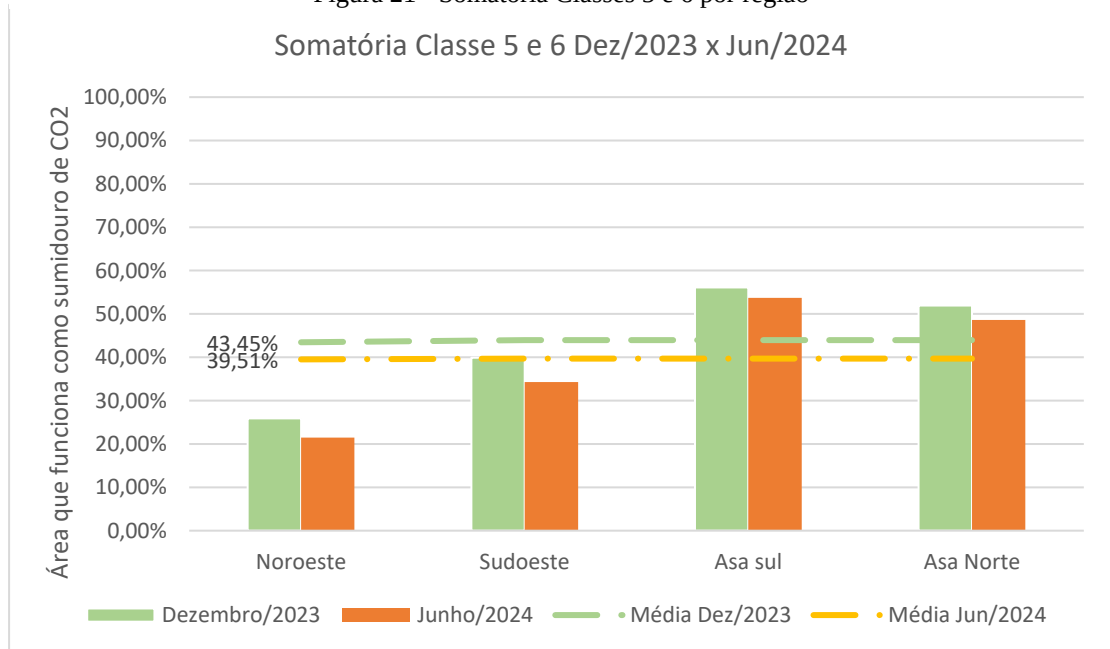
Tabela 6 - Classes CO2flux Asa Sul e Asa Norte

	Asa Sul				Asa Norte			
	Dez/2023 Chuva		Jun/2024 Seca		Dez/2023 Chuva		Jun/2024 Seca	
Classe 1	1,50%		0,48%		1,57%		0,63%	
Classe 2	15,02%	44,06%	8,82%	46,52%	16,17%	48,22%	11,60%	51,60%
Classe 3	13,76%		18,66%		14,93%		18,87%	
Classe 4	13,79%		18,57%		15,55%		20,51%	
Classe 5	20,56%	55,94%	24,53%	53,48%	21,04%	51,78%	21,22%	48,40%
Classe 6	35,37%		28,95%		30,74%		27,18%	

Fonte: Autoria própria

A Figura 14 compila os dados da somatória percentual das Classes 5 e 6 por região e por período, além de apresentar a média para o período chuvoso e seco.

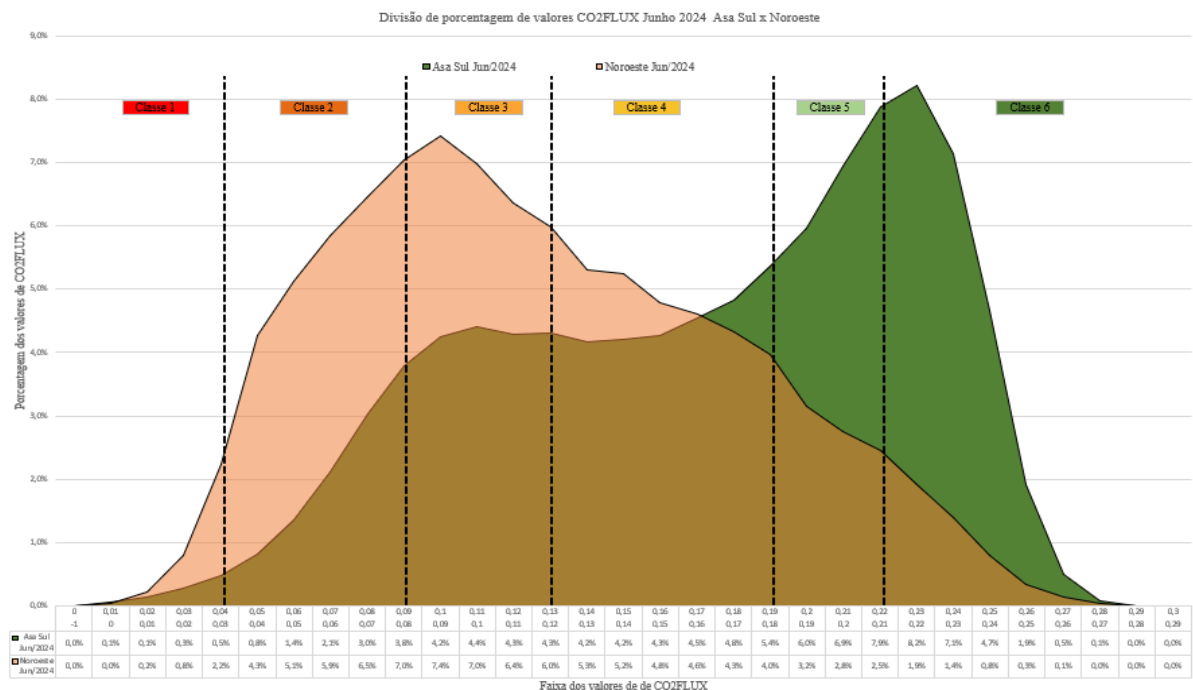
Figura 21 - Somatória Classes 5 e 6 por região
Somatória Classe 5 e 6 Dez/2023 x Jun/2024



Fonte: Autoria própria

Fica evidente o quanto o Noroeste e Asa Sul são destoantes quanto a presença de pontos que funcionam como sumidouro de carbono. Pode-se analisar, através da Figura 15, o histograma dos pontos dessas duas regiões no período da seca (por ser o período crítico).

Figura 22 - Distribuição percentual de CO2flux Noroeste e Asa Sul



Fonte: Autoria própria

Através da análise em porcentagem da distribuição dos valores dos pontos de CO₂flux é possível a comparação de áreas com tamanhos diferentes, como é o caso do Noroeste e Asa Sul. O Noroeste (em azul) possui seu pico na Classe 3 representando 27,82% do total de valores dos pontos, apontando para uma região fraca para a prestação de SE de suporte, em especial a função como sumidouro de carbono. A Asa Sul (em verde), mesmo na seca, possui o seu pico na Classe 6 representando 29,19% do total de valores dos pontos, indicando justamente o contrário.

6.6 Discussão

Enquanto a construção da Asa Norte e Sul se intensifica nas décadas de 60 e 70 o Sudoeste e, especialmente, o Noroeste iniciaram suas construções décadas depois, quando a compreensão sobre os efeitos climáticos que a intervenção humana causa a nível global e local já avançava no universo acadêmico. Tal contexto não parece ter influenciado positivamente a proposição de espaços capazes de atuar como sumidouros de carbono.

Os resultados permitem identificar as áreas com maior efetividade fotossintética. Trata-se de um indicativo de áreas que possam atuar com sumidouros de carbono, ainda é necessário realizar estudos que verifiquem o saldo entre emissões e sequestro de carbono por um período maior para a caracterização exata.

Pode-se argumente que o Setor Noroeste ainda está em fase de construção e isso explicaria, ao menos em parte, a alta concentração das Classes 1, 2, 3 e 4. Rechaçamos tal argumentação, posto que, ainda que tenha aparência de veracidade, não justifica os baixos valores de CO₂flux nas áreas ao redor de edifícios há muitos anos já finalizados. Uma vez incluída a Comunidade indígena Fulni-ô revela-se uma elevação significativa na somatória das Classes 5 e 6, ainda que a área represente pouco da área total do Setor. Isso entra em conflito direto com o discurso de “bairro ecológico” das construtoras: justamente o local onde, através de um Acordo judicial não lhes foi permitido edificar é onde existe o maior ganho para prestação de SE de suporte com a alta atividade fotossintética, tendo a área quase 4 vezes mais pontos de com CO₂flux representativos das Classes 5 e 6.

No Setor Sudoeste fica evidente que é ilusória a ideia que espaços livres são sinônimos de espaços verdes. É necessária massa vegetal importante para que a área exerça SE de suporte. Tal constatação vai ao encontro das SbN para uso, manejo ou restauração de do ecossistema natural. Ainda que o INMET e o Parque Ecológico das Sucupiras representem quase um quarto da região, o crescimento da somatória das Classes 5 e 6 é pequeno proporcionalmente. Dessa maneira os dados apontam que “áreas livres” não são, necessariamente, “áreas verdes”, por não cumprirem serviço ecossistêmico, caso analisado apenas a possibilidade de atuarem como sumidouro de carbono. Essas mesmas áreas podem exercer outros SE que não foram analisados no presente estudo.

A Asa Norte nos dados da área completa e recortada mostram situações muito semelhantes. Há sim um acréscimo na somatória das Classes 5 e 6 quando se considera o Parque Ecológico Olhos D`Água, porém ínfima. Releva-se, portanto, que a Asa Norte já presta, mesmo sem considerar o Parque um distribuído e homogêneo SE de suporte.

A Asa Sul foi a única que não teve zonas recortada e mesmo assim atingiu valores muito altos (os maiores entre todos os Setores) na somatória das Classes 5 e 6 totalizando 53,70% em junho de 2024 contra: 27,07% do Noroeste completo ;43,72% do Sudoeste completo e; 50,63% da Asa Norte completa.

A Asa Norte e Sul atingiram valores próximos na somatória das Classes 5 e 6, isso indica que as duas regiões seguiram parâmetros similares na forma da cidade e no seu paisagismo. Há, no entanto, 27,55% de Classe 3 e 4 na Asa Sul e 30,48% na Asa Norte. Podemos inferir que essas regiões tem potencial de arborização, e, caso realizado, pode aumentar ainda mais a somatória das Classes 5 e 6.

6.7 Conclusão

Por meio da análise de SR, de imagens distribuídas da constelação de satélites PlanetScope foi possível extrair dados que expõe a realidade das áreas residenciais do Noroeste, Sudoeste, Asa Norte e Asa Sul, atuando como sumidouros de carbono. A resolução espectral de 4,77m se mostrou adequada para o estudo.

Os dados sugerem que a Asa Norte e Sul, seguindo o ideário de “cidade-parque” de Lúcio Costa, prestam SE de suporte na zona urbana. O Setor Noroeste e Sudoeste não seguiram a mesma linha dos anteriores, ainda que as diretrizes arquitetônicas e urbanísticas sejam as mesmas.

Concluimos que não basta a “reserva” de espaço livres no ambiente urbano para que o mesmo exerça função ambiental. Os Setores Noroeste, em especial, e Sudoeste em muito tem que melhorar seus índices de CO₂flux. A mesma linha de pensamento é válida para o Parque Ecológico das Sucupiras, não há que se falar em “ecologia” sem a o manejo e gestão da região com os fundamentos da SbN. O Plano de Mitigação para redução da emissão de gases de efeito estufa do DF, o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) assim como o Plano Carbono Neutro do Distrito Federal devem considerar esse aspecto.

Através da análise das imagens geradas e da constatação da realidade in loco podemos inferir alguns argumentos. As Classes 1 e 2 representam principalmente edifícios (sejam residenciais ou comerciais) e infraestrutura de deslocamento na cidade (como vias, estacionamento e calçadas) sendo, portanto, de difícil alteração. Apenas uma mudança radical nos parâmetros urbanísticos ou grandes obras de intervenção podem alterar as suas porcentagens de maneiras significativa. Por outro lado, urbanistas e atores públicos, podem analisar seus valores para a proposição de políticas públicas visando um ambiente urbano mais equilibrado.

As Classes 3 e 4 tratam de espaço não edificável, mas subutilizado quanto ao potencial ambiental e prestação de SE que podem fornecer. São espaços prioritários para urbanistas e atores públicos miraram SbN no sentido de recuperar essas regiões com planos de arborização, aumentando, dessa maneira, a metragem quadrada de florestas urbanas.

As Classes 5 e 6 já apresentam um valor alto no índice CO₂flux, o que sugere sua alta capacidade de fotossíntese. Dessa maneira essas Classes devem passar por políticas públicas de manejo para que continuem exercendo suas funções ambientais em prol da população de do DF.

Demais pesquisas são necessárias para melhor compreender a prestação de SE de suporte em ambientes urbanos no Brasil e especificamente no bioma Cerrado. Indica-se algumas possíveis linhas de expansão do presente estudo.

- i) Análise temporal expandida para determinar quais Classes de fato atuam como sumidouros de CO₂ e demais GEE.
- ii) De que maneiras o Sudoeste e o Noroeste estão afastados dos planos de arborização das Asas Norte e Sul para que haja uma diferença tão expressiva de Classes 5 e 6? Porque as políticas de arborização não são similares para as 4 regiões? Se são iguais, o que explica a diferença?
- iii) Qual o desenvolvimento de políticas públicas para o aperfeiçoamento das Classes 3 e 4?
- iv) Qual o desenvolvimento de políticas públicas para o manejo das Classes 5 e 6?
- v) É possível estabelecer um valor mínimo de CO₂flux que Parque Ecológicos devam apresentar?
- vi) Qual será a capital brasileira, no bioma cerrado, com melhores índices de CO₂flux, considerando apenas o ambiente urbano?

6.8 Referências bibliográficas

ALMEIDA, A. O valor das árvores: Árvores e Floresta Urbana de Lisboa. Lisboa: Universidade técnica de Lisboa, v. Tese apresentada neste Instituto para obtenção do grau de Doutor, 2006.

ALMEIDA, J. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO₂flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Jardim: Embrapa Informática Agropecuária/INPE. 2018. p. 986-994.

AMARAL, R.; BEZERRA, M.; BAPTISTA, G.; RIBEIRO, R.; OLIVEIRA, A.. Bases para o planejamento territorial urbano: Uso de imagens hiperespectrais para a identificação de áreas geradoras de funções ecológicas de suporte. **Cidades, Comunidades e Territórios**, Lisboa, v. 1, p. 71-89, 2020.

BAPTISTA, G. Mapeamento do seqüestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. Geografia, Rio Claro, v. 29, p. 189-202, Maio a Agosto 2004.

BAPTISTA, G. M. Validação da Modelagem de Seqüestro de Carbono para Ambientes Tropicais de Cerrado, por meio dos dados AVIRIS e HYPERION, Belo Horizonte, n. Trabalho apresentado no XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Abril 2003.

BRANCO, L. M. B. C. Microclimas urbanos no Plano Piloto de Brasília: O caso da Superquadra 108 Sul. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências, Brasília, 25 Maio 2012.

BRASIL. UNFCCC. Federative Republic of Brazil Paris agreement nationally determined contribution (NDC), 21 mar. 2022. Disponível em: <<https://unfccc.int/NDCREG>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CMED. Nosso futuro comum. Escotolmo: [s.n.], 1987.

CODEPLAN. Pesquisa Distrital por Amostra de domicílios Sudoeste/Octogonal. Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN. Brasília. 2021.

COELHO, J. Evolução Urbana em Brasília entre 2000 e 2010 - aspectos socioeconômicos, morfológicos e ambientais da segregação socioespacial. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2012.

COHEN SHACHAM, E.; WALTERS, D. Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Suíça: IUCN, 2016.

COSTA, L. Brasília, cidade que inventei. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - 2018. Brasília, p. 140. 1956.

COSTA, L. Brasília revisitada 1985/87. Anexo I do Decreto nº 10.829/1987 - GDF e da Portaria nº 314/1992 - Iphan.. Brasília. 1987.

EHRLICH, P.; EHRLICH, A. Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species. [S.l.]: Ballantine Books, 1983.

FERREIRA, J. C. Estrutura ecológica e corredores verdes estratégias territoriais para um futuro urbano sustentável. [S.l.]: Pluris, 2010.

FONTANA, D.; SANTOS, L.; DALMAGO, G.; SCHIRMBECK, J.; SCHIRMBECK, L. **NDVI e alguns fatores de variabilidade**. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. [S.l.]: [s.n.]. 2019. p. 1783.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A Narrow-Waveband Spectral Index That Tracks Diurnal Changes in Photosynthetic Efficiency. Remote Sensing of Environment, 41, 1992. p. 35-44.

GARBIN, E. P. Sensoriamento Remoto como Jogo Semiótico. Revista Brasileira de Cartografia, 75, 2023.

GAUDERETO, G.; GALLARDO, G.; FERREIRA, M.; NASCIMENTO, A; MANTOVANI, W.. Avaliação de serviços ecossistêmicos na gestão de áreas verdes urbanas: promovendo cidades saudáveis e sustentáveis. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 21, 2018.

GDF. DECRETO Nº 43.413, DE 07 DE JUNHO DE 2022. Institui o Plano Carbono Neutro do Distrito Federal, a contribuição distritalmente determinada – CDD e dá outras providências., Brasília, DF, 07 jul. 2022.

HARVEY, D. Os Limites do Capital. Tradução de Magda Lopes. [S.l.]: Boitempo, 1982. 697 p.

IBGE. Cidades e Estados. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [S.l.]. 2022.

IPCC. Mudança do Clima 2021: A base científica. Suíça: [s.n.], 2021.

IPCC. Mudança do clima 2023: Relatório síntese. Tradução de Governo do Brasil e pelo Pacto Global da ONU no Brasil. [S.l.]: Painel intergovernamental sobre mudança do clima, 2023. 182 p.

IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. O Plano Piloto de Brasília e Suas Escalas, 2014. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1643/>>. Acesso em: 2 Fevereiro 2022.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. D. C. T. A. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. Revista Formação, Presidente Prudente, p. 139-165, dezembro 2006. ISSN 13.

LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A Influência das áreas verdes na qualidade da vida urbana. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, Uberlândia - MG, Jun 2014. 264 - 272.

MEA. Ecosystems and Human Well-Being. Millennium Ecosystem Assessment Panel. Washington, DC., p. 155. 2005.

NASCIMENTO, A.; SILVA, M. A urbanização neoliberal "sustentável" e sua materialização no espaço geográfico: a gentrificação verde/ecológica. In: SANTOS, J.; GUTIERRES, H. Áreas verdes urbanas e Serviços Ecossistêmicos. 1ª. ed. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2023. p. 171 - 183.

OLIVEIRA, A. D. N. As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, p. 186. 2022.

PERIN, J. Análise Crítica dos Índices de Áreas Verdes Urbanas. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas. 2019.

PLANET. Planet Imagery Product. [S.l.]: [s.n.], 2023. Disponível em: <https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf>.

QUEIROZ, P.; MAIA, B. Território usado, saúde indígena e Covid-19 no Brasil. PatryTer, Brasília, v. 4, p. 38-57, 2021.

RAHMAN, , A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D. Modeling co2 flux of boreal forests using narrow-band indices from aviris imagery. **AVIRIS Workshop**, Pasadena, p. 8, 2000.

RIBEIRO, R. Índice Composto de Qualidade de Vida Urbana - Aspectos de Configuração Espacial, Socioeconômicos e Ambientais Urbanos. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2008.

ROLNIK, R. O que é a cidade. São Paulo: Brasiliense, 1994.

ROLO, DANIELLA ; GALLARDO, AMARILIS ; RIBEIRO, ANDREZA ; KNIESS, CLÁUDIA ; ZAJAC, MARIA Adaptação baseada em ecossistemas para promover cidades resilientes e sustentáveis: análise de programas de revitalização de rios urbanos de São Paulo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Tatuapé, p. 220-235, Dezembro 2019.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with erts**. Texas A&M University. [S.l.]. 1974.

RUBIRA, F. G. Questões ambientais urbanas: Discussões e reflexões teóricas sobre as áreas verdes localizadas em centros urbanos. *Revista de Geografia*, Recife, 2016. 263 - 282.

SALATINO, A. Nós e as plantas: ontem e hoje. Nós e as plantas: ontem e hoje, São Paulo, v. <https://www.scielo.br/j/rbb/a/WQmzvwrp8zP4YzZNzsGcPG/?lang=pt>, Julho 2002.

TAVARES, F.; BERGIER, I.; GUARALDO, E. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços. *Interações*, Campo Grande, v. 22, p. 103 - 114, Março 2021.

VIVEIROS, R. R. A influência da vegetação em pequenos espaços verdes na mitigação do efeito ilha de calor urbano em Lisboa. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, v. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre, 2017.

7 CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO

Por meio da análise de SR, de imagens distribuídas de forma gratuita e utilizando software livre, foi possível obter, de forma classificada, organizada e compreensível, imagens que expõe a realidade das áreas residenciais do Setor Noroeste, Sudoeste, Asa Norte e Asa Sul, quando a capacidade de prestação de SE de suporte, especificamente atuando como sumidouros de carbono. A gratuidade possibilita a maior popularização da ciência. A resolução espectral do sensor PS2 instalado na constelação de satélites PlanetScope, se mostrou adequada para o estudo em áreas urbanas. Ficou demonstrado que a divisão de classes pelo método das quebras naturais de Jenks foi bem-sucedida para a separação pretendida, isto é, diferenciar regiões com capacidade maior ou menor de absorção de CO₂ atmosférico.

Os cinturões verdes, propostos por Lúcio Costa, atuam de forma inequívoca como sumidouros de carbono, classificando-os como áreas prestadoras de SE de suporte e contribuindo para que o DF e o Brasil atinjam suas metas de mitigação dos GEE. Tal solução não foi adotada de forma satisfatória pelo Setor Noroeste e Sudoeste, logo indicando que “Características fundamentais do Plano Piloto” não foram seguidas, nesse aspecto. A concepção de restauração de áreas livres para que se tornem áreas verdes fica marcada como SbN que resulta em áreas de sumidouros de carbono.

Proporcionalmente pequenas regiões preservadas (da Comunidade indígena Fulni-ô no Setor Noroeste) geram maior impacto do que grandes áreas pouco preservadas (Parque Ecológico das Sucupiras e o INMET no Setor Sudoeste) na prestação de SE. Na Asa Norte, posto que a prestação de SE de suporte é distribuída na região mesmo uma área com enorme prestação de SE (Parque Ecológico Olhos D'Água) tem pouco impacto, considerando a região como um todo.

Concluimos, portanto, que a “cidade-parque” projetada por Lúcio Costa, do ponto de vista da prestação de SE de suporte foi bem-sucedida quando analisados os dados recolhidos da Asa Norte e Sul. Os planejadores urbanos têm que levar em consideração não somente a criação de área livres, mas de áreas verdes. Dessa maneira mitigando a produção de GEE e contribuindo para a metas estabelecidas pelo DF e o Brasil.

A estruturação da dissertação em forma de artigo se mostrou bastante produtiva, posto que após a finalização já está gerado material apto para publicação em congresso e revistas.

Demais pesquisas são necessárias, é preciso aprimorar o conhecimento científico quanto a SE no Brasil e especificamente no bioma cerrado. Dessa dissertação muitas vertentes de pensamento podem ser extraídas, ousamos aqui propor algumas:

- vii) Quais espécies vegetais, dentro da região Classe 6, são do endógenas ou exógenas?
- viii) Qual seria o impacto caso os telhados das edificações fossem substituídos por telhados verdes?
- ix) Qual impacto especulativo se tem sobre um Setor que se vende como sustentável e os dados mostram o contrário?
- x) Em quanto tempo áreas livres podem se tornar áreas verdes no ambiente urbano?
- xi) De que maneiras as regiões que não prestam SE de suporte podem ser incentivadas, do ponto de políticas públicas, para se tornarem prestadoras?

8 REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **Uma Linguagem de Padrões**. [S.l.]: Oxford University Press, 1977.

ALMEIDA, A. **O valor das árvores: Árvores e Floresta Urbana de Lisboa**. Lisboa: Universidade técnica de Lisboa, v. Tese apresentada neste Instituto para obtenção do grau de Doutor, 2006.

ALMEIDA, J. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO₂flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Jardim: Embrapa Informática Agropecuária/INPE. 2018. p. 986-994.

AMARAL, R.; BEZERRA, M.; BAPTISTA, G.; RIBEIRO, R.; OLIVEIRA, A.. Bases para o planejamento territorial urbano: Uso de imagens hiperespectrais para a identificação de áreas geradoras de funções ecológicas de suporte. **Cidades, Comunidades e Territórios**, Lisboa, v. 1, p. 71-89, 2020.

BAPTISTA, G. Mapeamento do seqüestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, p. 189-202, Maio a Agosto 2004.

BAPTISTA, G. M. **Validação da Modelagem de Seqüestro de Carbono para Ambientes Tropicais de Cerrado, por meio dos dados AVIRIS e HYPERION**, Belo Horizonte, n. Trabalho apresentado no XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Abril 2003.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Área verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta. **Soc. Bras. de Arborização Urbana REVSBAU**, Piracicaba – SP, n.3, 2011. p.172-188.

BENINI, S. M.; MARTIN, E. S. Decifrando as áreas verdes públicas. **Revista Formação**, Presidente Prudente, Nº 17 volume 2, 2010. p. 63-80.

BITTENCOURT, F. ; CARMO, R.; RATES, B.; FOLLADOR, M.; AROEIRA, I.; BRITO, M.. **Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do DF**. Secretaria de Estado de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Brasília. 2014.

BRANCO, L. M. B. C. Microclimas urbanos no Plano Piloto de Brasília: O caso da Superquadra 108 Sul. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2009.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Estatuto das Cidades**, Brasília, 10 Julho 2001.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de Dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas - PNMCM e dá outras providências**, Brasília, DF, dez 2009.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**, Brasília, 25 Maio 2012.

BRASIL. Lei nº14.119, de 13 de janeiro de 2021. **Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política.**, Brasília, 13 Janeiro 2021.

BRASIL. UNFCCC. **Federative Republic of brazil Paris agreement nationally determined contribution (NDC)**, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CHELOTTI, G. B.; SANO, E. E. **Sessenta anos de ocupação urbana da capital do Brasil: Padrões, vetores e impactos na paisagem**. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Brasília. 2021.

CMED. **Nosso futuro comum**. Escotolmo: [s.n.], 1987.

CODEPLAN. **Pesquisa Distrital por Amostra de domicílios Sudoeste/Octogonal**. Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN. Brasília. 2021.

COELHO, J. **Evolução Urbana em Brasília entre 2000 e 2010 - aspectos socioeconômicos, morfológicos e ambientais da segregação socioespacial**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2012.

COHEN SHACHAM, E.; WALTERS, D. **Nature-based Solutions to address global societal challenges**. Gland, Suíça: IUCN, 2016.

COSTA, L. **Brasília, cidade que inventei**. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - 2018. Brasília, p. 140. 1956.

COSTA, L. **Brasília revisitada 1985/87**. Anexo I do Decreto nº 10.829/1987 - GDF e da Portaria nº 314/1992 - Iphan.. Brasília. 1987.

COSTANZA, R. ;D`ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O`NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.; SUTOON, P.; BELT, MARJAN.. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387, 15 Maio 1997.

DAVIES, Z. ; EDMONDSON, J.; HEINEMEYER, A.; LEAKE, J.; GASTON, K. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, p. 1125 - 1134, 2011.

EGGERMONT, H., BALIAN, E., AZEVEDO, J.M.N., BEUMER, V., BRODIN, T., CLAUDET, J., FADY, B., GRUBE, M., KEUNE, H., LAMARQUE, P., REUTER, K., SMITH, M., VAN HAM, C., WEISSER, W.W., LE ROUX, X., 2015. Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe. **Gaia** 24 (4), 243–248. <https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9>.

EHRlich, P.; EHRlich, A. **Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species**. [S.l.]: Ballantine Books, 1983.

EMBRAPA. **Câmeras modificadas e multispectrais embarcadas em drones: enfoque para estudos da vegetação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2022.

EOS. NDVI FAQ: **All you need to know about NDVI**. Earth Observing System, 22 Mar 2024. Disponível em: <https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>.

FARIA, N. **Análise da ventilação urbana no plano piloto de Brasília**: Um estudo de caso das quadras 500 do setor Sudoeste. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2021.

FERREIRA, J. C. **Estrutura ecológica e corredores verdes estratégias territoriais para um futuro urbano sustentável**. [S.l.]: Pluris, 2010.

FLAUSINO, F.; GALLARDO, A. Oferta de serviços ecossistêmicos culturais na despoluição de rios urbanos em São Paulo. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 13, 2021.

FONTANA, D.; SANTOS, L.; DALMAGO, G.; SCHIRMBECK, J.; SCHIRMBECK, L. **NDVI e alguns fatores de variabilidade**. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. [S.l.]: [s.n.]. 2019. p. 1783.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A Narrow-Waveband Spectral Index That Tracks Diurnal Changes in Photosynthetic Efficiency. **Remote Sensing of Environment**, 41, 1992. p. 35-44.

GARBIN, E. P. Sensoriamento Remoto como Jogo Semiótico. **Revista Brasileira de Cartografia**, 75, 2023.

GAUDERETO, G.; GALLARDO, G.; FERREIRA, M.; NASCIMENTO, A; MANTOVANI, W.. Avaliação de serviços ecossistêmicos na gestão de áreas verdes urbanas: promovendo cidades saudáveis e sustentáveis. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 21, 2018.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Decreto nº 10.829/1987**. Governo do Distrito Federal. Brasília. 1987.

GDF. **Lei nº 556**, de 07 de outubro de 1993, Brasília, 1993.

GDF. **Projeto executivo de urbanismo, plano de manejo e demais projetos complementares do Parque Burle Marx**. NOVACAP. Brasília. 2009.

GDF. Lei Complementar nº 827, de 22 de julho de 2010. **Regulamenta o art. 279, I, III, IV, XIV, XVI, XIX, XXI, XXII, e o art. 281 da Lei Orgânica do Distrito Federal, instituindo o Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC, e dá outras providências.**, Brasília, 22 Julho 2010.

GDF. Decreto nº 39.469, de 22 de novembro de 2018. **Dispõe sobre a autorização de supressão de vegetação nativa, a compensação florestal, o manejo da arborização urbana em áreas verdes públicas e privadas e a declaração de imunidade ao corte de indivíduos arbóreos situados no âmbito do Distrito Federal.**, Brasília, 22 Novembro 2018.

GDF. Lei nº 6.269, de 29 de janeiro de 2019. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal**, Brasília, 29 Janeiro 2019.

GDF. **Plano de Mitigação para a Redução de Gases do Efeito Estufa das principais fontes emissoras no território do Distrito Federal**, Brasília, 2021. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/06/PLANO-DE-MITIGACAO-E-BOOK-FINAL.pdf>.

GDF. DECRETO Nº 43.413, DE 07 DE JUNHO DE 2022. **Institui o Plano Carbono Neutro do Distrito Federal, a contribuição distritalmente determinada – CDD e dá outras providências.**, Brasília, DF, 07 jul. 2022.

GDF. **Políticas inovadoras e integradas para o presente e o futuro**. Brasília: Secretaria do Meio Ambiente e Proteção Animal, 2023.

GDF. **Administração Regional do Plano Piloto**, 2024. Disponível em: <https://www.planopiloto.df.gov.br/category/sobre-a-ra/conheca-a-ra/>. Acesso em: 12 março 2024.

GDF; MENEZES, L.; CHOU, S.; ALMEIRA, J.; SOUZA, S.; BEZERRA, W., RODRIGUES, L.; ROCHA, C.. **Mudanças Climáticas no DF e RIDE**. Brasília: [s.n.], 2016.

GLEHN, P. V.; KOS, D. Reflexão sobre o impacto dos códigos edífícios no desempenho térmico e lumínico de edifícios residenciais do bairro Noroeste, Brasília - DF. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Brasília, 2021.

GOMES, B. D. O. A. **Os Sentidos do vazio**. Dissertação (Dissertação em Arquitetura e Urbanismo) - UnB. Brasília, p. 138. 2023.

GURNEY, K. R. Track urban emissions on a human scale. **Nature Publishing Group**, v. 525, p. 179-181, Setembro 2015.

HARVEY, D. **Os Limites do Capital**. Tradução de Magda Lopes. [S.l.]: Boitempo, 1982. 697 p.

IBGE. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 2001.

IBGE. Censo Demográfico. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 2022 Fevereiro 10.

IBGE. **Cidades e Estados**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [S.l.]. 2022.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 20 Outubro 2024.

IPCC. **Alterações Climáticas 2013**: Base científica. Painel Intergovernamental Sobre Alterações Climáticas. [S.l.], p. 210. 2013.

IPCC. **Mudança do Clima 2021**: A base científica. Suíça: [s.n.], 2021.

IPCC. **Mudança do clima 2023**: Relatório síntese. Tradução de Governo do Brasil e pelo Pacto Global da ONU no Brasil. [S.l.]: Painel intergovernamental sobre mudança do clima, 2023. 182 p.

IPHAN. **O Plano Piloto de Brasília e Suas Escalas**, 2014. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1643/>. Acesso em: 2 Fevereiro 2022.

IPHAN. **Relatório do Plano Piloto de Brasília**. 4º. ed. Brasília: [s.n.], 2018.

KAMM, E.; GALLARDO, A. Soluções baseadas na Natureza em projetos de revitalização de brownfields urbanos: novos paradigmas para problemas urbanos. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 37, 2023.

LIMA, R. **Avaliação da arborização urbana do Plano Piloto**. Brasília: Universidade de Brasília, v. Dissertação de Mestrado, 2009.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. D. C. T. A. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Revista Formação**, Presidente Prudente, p. 139-165, dezembro 2006. ISSN 13.

LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A Influência das áreas verdes na qualidade da vida urbana. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Uberlândia - MG, Jun 2014. 264 - 272.

MEA. **Ecosystems and Human Well-Being**. Millennium Ecosystem Assessment Panel. Washington, DC., p. 155. 2005.

MUÑOZ, A.; FREITAS, S. Importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades: revisão das publicações de 2003 a 2015. **Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS**, v. 6, n. 2, Agosto 2017.

NASCIMENTO, A.; SILVA, M. A urbanização neoliberal "sustentável" e sua materialização no espaço geográfico: a gentrificação verde/ecológica. In: SANTOS, J.; GUTIERRES, H. **Áreas verdes urbanas e Serviços Ecossistêmicos**. 1ª. ed. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2023. p. 171 - 183.

NEVES, G.; SENA-SOUZA, J.; MARTINS, E.; JUNIOR, A. Dinâmica da cobertura da terra do Distrito Federal. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p. 383-396, set/dez 2017.

NOVACAP. **Revista Brasília**. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 3, 1957.

OLIVEIRA, A. D. N. **As áreas verdes nos padrões de ocupação do solo urbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, p. 186. 2022.

OLIVEIRA, M. **Grandes Empreendimentos, Novo Urbanismo e Imagem Ambiental do Setor Noroeste, em Brasília**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2016.

PERIN, J. **Análise Crítica dos Índices de Áreas Verdes Urbanas**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas. 2019.

PLANET. **Planet Imagery Product**. [S.l.]: [s.n.], 2023. Disponível em: https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf.

QUEIROZ, P.; MAIA, B. Território usado, saúde indígena e Covid-19 no Brasil. **PatryTer**, Brasília, v. 4, p. 38-57, 2021.

RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D. Modeling co2 flux of boreal forests using narrow-band indices from aviris imagery. **AVIRIS Workshop**, Pasadena, p. 8, 2000.

RIBEIRO, R. **Índice Composto de Qualidade de Vida Urbana - Aspectos de Configuração Espacial, Socioeconômicos e Ambientais Urbanos**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2008.

ROLNIK, R. **O que é a cidade**. São Paulo: Brasiliense, 1994.

ROLO, DANIELLA ; GALLARDO, AMARILIS ; RIBEIRO, ANDREZA ; KNISS, CLÁUDIA ; ZAJAC, MARIA Adaptação baseada em ecossistemas para promover cidades resilientes e sustentáveis: análise de programas de revitalização de rios urbanos de São Paulo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Tatuapé, p. 220-235, Dezembro 2019.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with erts**. Texas A&M University. [S.l.]. 1974.

RUBIRA, F. G. Questões ambientais urbanas: Discussões e reflexões teóricas sobre as áreas verdes localizadas em centros urbanos. **Revista de Geografia**, Recife, 2016. 263 - 282.

SALATINO, A. **Nós e as plantas: ontem e hoje**, São Paulo, [S.l.]. 2002.

SITURB. **Administração Regional do Sudoeste**, 2024. Disponível em: <https://sudoeste.df.gov.br/category/sobre-a-ra/mapas/>. Acesso em: 06 Abril 2024.

TAVARES, F.; BERGIER, I.; GUARALDO, E. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços. **Interações**, Campo Grande, v. 22, p. 103 - 114, Março 2021.

TENÓRIO, G. **Ao desocupado em cima da ponte. Brasília, arquitetura e vida pública**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2012.

UNESCO. **Vegetação no Distrito Federal: Tempo e Espaço**. 2º. ed. Brasília: [s.n.], 2002.

VASCONCELLOS, S. **Uso e Ocupação do solo: do Bairro Oeste Sul ao Setor Noroeste**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília - UnB. Brasília. 2007.

VIVEIROS, R. R. **A influência da vegetação em pequenos espaços verdes na mitigação do efeito ilha de calor urbano em Lisboa**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, v. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre, 2017.

WERNECK, D.; ROMERO, M. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ):** um estudo para a área urbana do Distrito Federal. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - UnB. Brasília. 2022.