



RELATÓRIO 2

PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF

Avaliação de emissões
de Gases de Efeito
Estufa de ações
governamentais no
Distrito Federal

MAIO **2024**
BRASÍLIA/DF



RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF
Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

Governo do Distrito Federal - GDF

Ibaneis Rocha

Governador

Celina Leão

Vice-governador

Secretaria de Estado de Economia - SEEC

Ney Ferraz

Secretário

Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal – IPEDF Codeplan

Manoel Clementino Barros Neto

Diretor-Presidente

Renata Florentino de Faria Santos

Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - DEPAT

Dea Guerra Fioravante

Diretora de Estatística e Pesquisas Socioeconômicas - DIEPS

Marcela Machado

Diretora de Estudos e Políticas Sociais – DIPOS

Leandro Nonato Mota

Diretor de Administração Geral - DAG

Sônia Gontijo Chagas Gonzaga

Diretora de Estratégia e Qualidade - DIESQ

AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE AÇÕES GOVERNAMENTAIS

PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF

Brasília - DF
Maio - 2024

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais (COET/DEPAT) - Arquiteta e Urbanista

Equipe Técnica IPEDF

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial (COET/DEPAT) - Arquiteta e Urbanista

Jéssica Oliveira- Gerente de Metrôpoles (COET/DEPAT) - Arquiteta e Urbanista

Umberto Menezes – Economista (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor (DEPAT)

Carolina Musso (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral – Arquiteto e Urbanista

Bolsistas (Chamada Pública n.º 02/2023/IPEDF Codeplan)

Leticia Gomes da Silva – Bolsista (Assistente de Pesquisa V - Doutora)

Rafael Salles Pereira – Bolsista (Assistente de Pesquisa III - Mestre)

Fabiana Oliveira Machado – Bolsista (Assistente de Pesquisa IA - Graduada)

Rebeca Borges de Oliveira – Bolsista (Assistente de Pesquisa IB - Graduada)

Carlos Augusto Zangrando Toneli – Bolsista (Assistente de Pesquisa IC – Graduado)

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	6
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO DF.....	6
3. ASPECTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS.....	13
3.1. Mobilidade e Transporte.....	15
3.2. Mudança de uso do solo e urbanização.....	16
3.3. Consumo energético.....	18
3.4. Resíduos.....	18
4. PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF.....	19
4.1. Aspectos metodológicos para o cálculo de emissões das Regiões Administrativas.....	19
4.2. Balanço de emissões das áreas urbanas das Regiões Administrativas.....	20
4.2.1. Formações vegetais.....	22
4.2.2. Transporte rodoviário e deslocamentos casa-trabalho/estudo.....	25
4.2.3. Consumo Energético.....	27
4.2.4. Resíduos.....	28
4.2.5. Avaliação entre emissões e remoções.....	30
5. CADEIAS CAUSAIS DAS EMISSÕES DOS DIFERENTES SETORES NO DF.....	33
5.1. Mobilidade e transporte.....	33
5.2. Mudança de uso do Solo e Urbanização.....	34
5.3. Consumo energético.....	35
5.4. Resíduos.....	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
7. REFERÊNCIAS.....	39

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório investiga a conexão entre os padrões de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e os parâmetros associados à configuração urbana, como a cobertura vegetal nas áreas urbanas, a estrutura dos tecidos urbanos, o tamanho dos lotes, o número de domicílios e a estimativa populacional. Além disso, analisa como esses padrões estão relacionados à renda, ao consumo de energia, à geração de resíduos e aos padrões de deslocamento para trabalho e estudo.

Primeiramente, foi realizado um amplo levantamento bibliográfico sobre diferentes formas e metodologias de cálculo das emissões dos componentes que impactam nos Setores de Mudança de Uso do Solo, Mobilidade, Consumo Energético e Resíduos.

Com o objetivo de verificar em que medida as remoções de GEE realizadas pela cobertura vegetal são capazes de neutralizar os impactos das emissões da população urbana, foram realizadas análises espaciais relacionadas à cobertura vegetal no perímetro urbano das diferentes Regiões Administrativas do DF e foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa, relacionadas ao deslocamento casa-trabalho-estudo, ao consumo energético e à geração de resíduos. O cenário de referência para o estudo foi o ano de 2021, em razão da utilização de dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD 2021).

Os resultados integram a Etapa 2 do Projeto "Índice de avaliação de emissões de GEE de ações governamentais", objeto da Chamada Pública n.º 02/2023 (IPEDF CODEPLAN, 2023), cujo objetivo é integrar e articular as políticas públicas a fim de que as ações propostas pelos diversos órgãos setoriais, em universo de curto e médio prazo, honrem o compromisso do Governo do Distrito Federal (GDF) com o enfrentamento às mudanças do clima no Distrito Federal (DF).

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO DF

No DF, o principal setor responsável pelas emissões de GEE é o setor Energia, com foco nos Transportes Rodoviários. As emissões são decorrentes dos longos deslocamentos no território do DF, em razão das viagens diárias por motivo de trabalho e estudo, da dependência do automóvel e da forma urbana, marcada pela concentração do emprego na área central de Brasília (setor administrativo),

com a dispersão da residência pelo território em: 1) núcleos urbanos planejados e compactos; 2) em condomínios eminentemente residenciais dispersos e dissociados de áreas urbanas consolidadas; e 3) em áreas irregulares oriundas do parcelamento de glebas rurais, igualmente dissociadas de áreas consolidadas.

Alguns desses núcleos urbanos foram planejados desde a construção de Brasília, e encontram-se a distâncias razoáveis do centro urbano da Capital Federal, em razão de premissas de saneamento, relacionadas à proteção da bacia do Lago Paranoá e da preservação de importantes porções ambientais. O planejamento territorial da Capital Federal se deu a partir das primeiras ocupações que se consolidaram fora do Plano Piloto concebido por Lúcio Costa, resultantes da permanência e atração de mão de obra para a construção da Capital. Nas décadas de 1960 e 1970, resultantes das primeiras medidas de ordenamento do uso e ocupação do solo¹ e sob o conceito de cidades-satélites, foram planejados núcleos urbanos, distantes do centro administrativo. Entre 1970 e 1975, os zoneamentos sanitários, sob a premissa e escassez dos recursos hídricos no território, coibiu a formação de novas cidades-satélites na bacia do lago Paranoá, além daquelas já consolidadas. Os planos seguintes reforçaram o crescimento urbano na direção sudoeste do distrito, coibindo também a ocupação a leste (bacia do rio São Bartolomeu) e oeste (bacia do Descoberto), onde se localizam os mananciais de abastecimento de água do DF.

Nos anos 1990, foi executado um dos maiores programas de assentamento para a população de baixa renda, com a criação de novas cidades satélites, também distantes do centro administrativo, com a oferta de aproximadamente 100 mil lotes urbanizados, sem a criação conjunta de postos de trabalho. Além disso, a partir dos anos 2000 intensificou-se o processo de parcelamento irregular do solo urbano, em especial nas terras rurais de propriedade públicas que perdura até o presente, levando à ampliação da mancha urbanizada do DF de forma extensiva, sem novas atividades econômicas além do comércio e serviços de apoio à residência, com os postos de emprego ainda vinculados à Administração Pública, na zona central (Plano Piloto).

Como destacado no Documento Técnico do Plano de Ordenamento Territorial 2009:

¹ Decreto 163, de 26.02.1962 e o Código Sanitário do DF, Lei 5.027/66.

“Essa política de ordenamento territorial, baseada na premissa de preservação de recursos hídricos, legitimou a localização dos demais núcleos urbanos em um raio mínimo de 15 km de distância do Plano Piloto, instituindo um processo planejado de segregação socioespacial.” (p. 31)

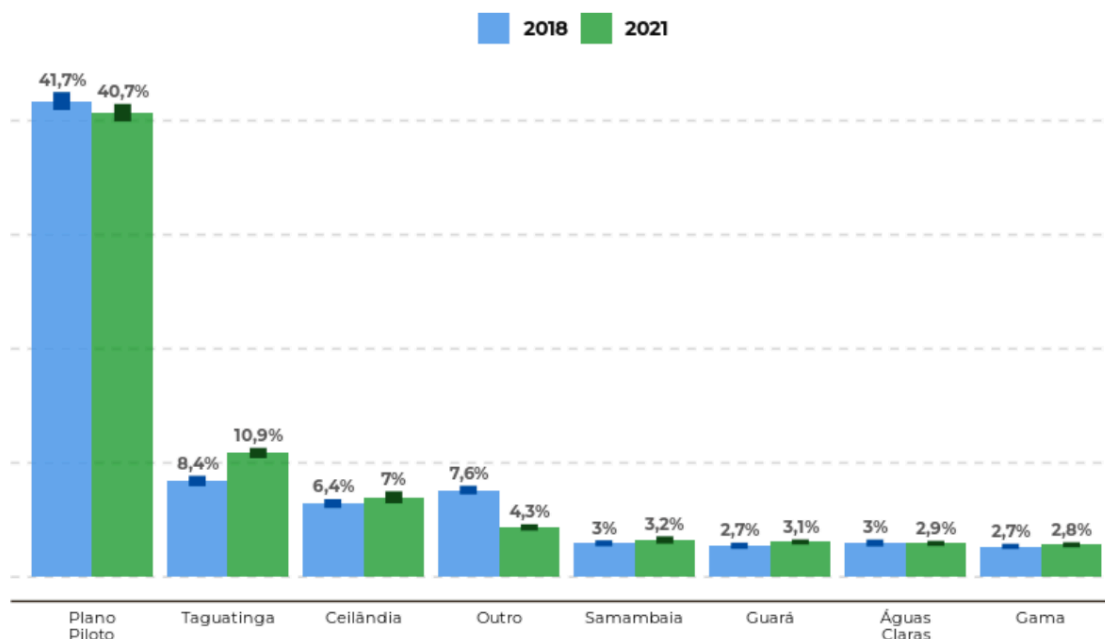
Conforme a Nota Técnica nº 04/2023 - IPEDF/PRESI/DEPAT, o número de domicílios no DF em 2021 cresceu mais de 30% em relação à 2013. Conforme dados da PDAD (2021), apenas 33,7% das famílias vivem em apartamentos, tipologia residencial de áreas compactas e densas. A maioria da população do DF vive em casas (63,6% das moradias), sendo que 55,4% tratam-se de casas fora de condomínio, nos núcleos urbanos mais antigos e consolidados, com uma ocupação mais contínua e compacta, onde existem serviços, infraestrutura urbana e transporte público. Já 8,2% vivem em casas em condomínio (o que em termos absolutos corresponde a 79.127 domicílios), em áreas com ocupação extensiva do solo, em baixas densidades e desconectadas de áreas com serviços e equipamentos urbanos: 76,6% dos domicílios no Parkway e 75,9% no Jardim Botânico estão configurados como casas em condomínio. A mesma situação ocorre com 42,1% dos domicílios em Vicente Pires, 6,3% de Arniqueira e 34,5% em Sobradinho.

Nessa temática é importante apontar que a moradia na tipologia de condomínios também afeta diretamente o território, tanto no que tange a extensão das áreas ocupadas e aos parcelamentos irregulares, quanto pelas dinâmicas territoriais, sociais e econômicas que esse tipo de habitação movimenta. O fenômeno da expansão urbana nesses moldes traz inúmeros impactos para a vitalidade dos espaços públicos e induz as áreas comerciais, de serviços e atividades institucionais, como escolas e hospitais, a se localizarem às margens das rodovias de acesso a esses loteamentos. Soma-se às questões morfológicas, a concentração dos principais postos de trabalho no Plano Piloto, reforçando um deslocamento pendular diário. Conforme dados da PDAD (2021), até o momento, o Plano Piloto mantém-se como local predominante do emprego no DF, embora se verifique uma ligeira queda dos empregos nessa localidade e o aumento do percentual de empregos em Taguatinga e Ceilândia, em comparação com a PDAD (2018) (Gráfico 1).

RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF

Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

Gráfico 1: Local do Emprego Principal, comparação PDAD 2018-2021.

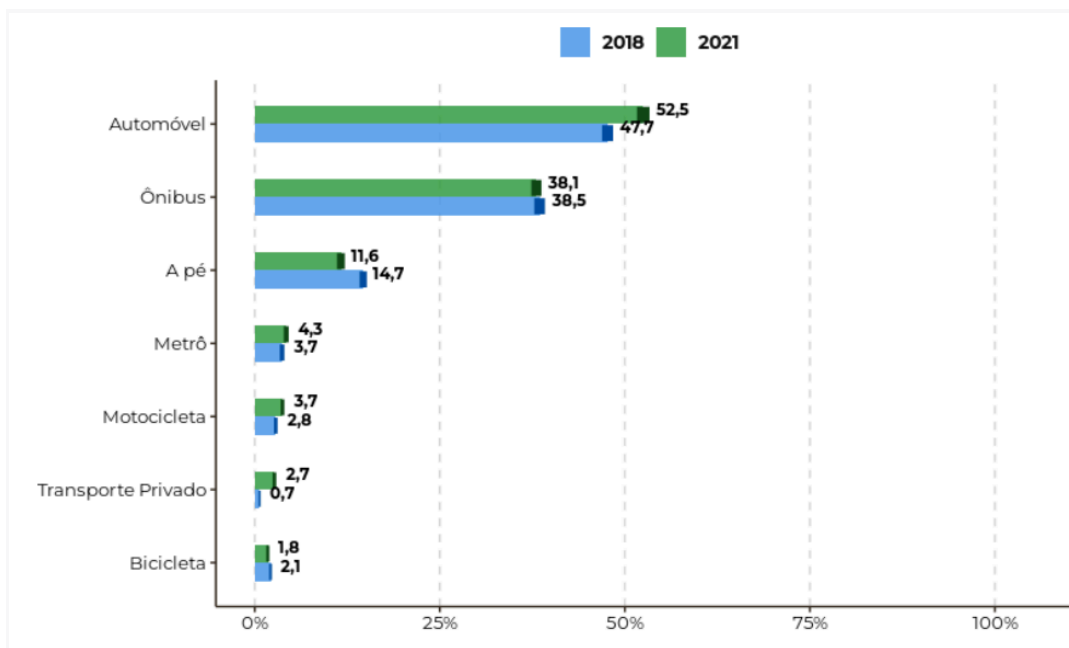


Fonte: IPEDF. Relatório Comparativo PDAD 2018 e 2021. Disponível em: <<https://ipe.df.gov.br/ipedf-publica-analise-comparativa-do-df-m-2018-e-2021/>>

Constata-se a segregação socioespacial do DF, na medida em que as Regiões Administrativas com mais baixa renda no DF são também aquelas mais distantes da área central. Conforme a Nota Técnica nº 04/2023 -IPEDF/PRESI/DEPAT, os modais de transporte refletem o padrão de urbanização do DF. Áreas mais densamente ocupadas tendem a fomentar deslocamentos a pé e maior utilização do transporte coletivo, enquanto áreas de baixa densidade populacional e construtiva fomentam a utilização do transporte individual.

Com base nos dados da PDAD (2021), o automóvel segue como o principal meio de transporte para os deslocamentos casa-trabalho (Gráfico 2). Em 2018, 47,7% dos entrevistados declararam utilizar o automóvel para ir até o local de trabalho, percentual que cresceu em 2021 e chegou a 52,5%. No que se refere aos deslocamentos por motivo de trabalho, depreende-se que a escolha pelo transporte motorizado do tipo automóvel é o de maior representatividade, mantendo a tendência já observada na pesquisa de 2018.

Gráfico 2: Meios de transporte utilizados para o deslocamento até o trabalho principal, Distrito Federal, 2018-2021.



Fonte: IPEDF/DIEPS/COEPS/PDAD 2018 e PDAD 2021. Disponível em: <<https://ipe.df.gov.br/ipedf-publica-analise-comparativa-do-df-em-2018-e-2021/>>

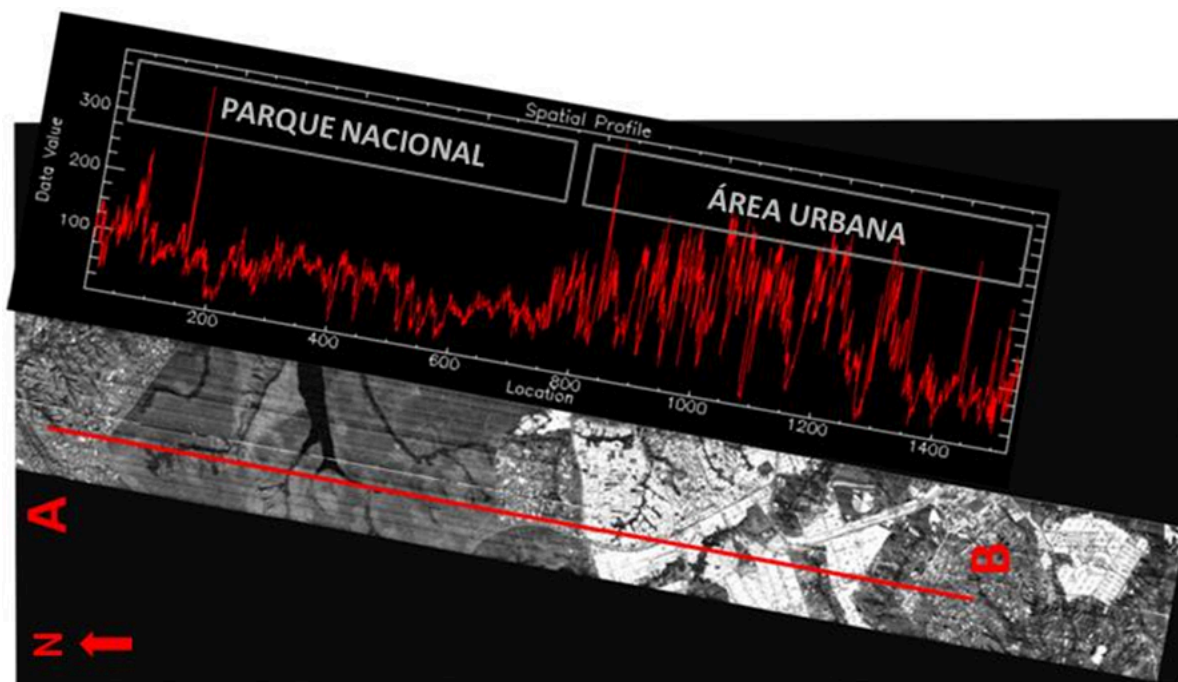
Embora a utilização do automóvel alcance mais de 70% dos deslocamentos na faixa de renda acima de 5 salários mínimos, percebe-se que, mesmo na faixa de renda de 2 a 5 salários mínimos mais de 50% dos deslocamentos ocorrem com esse modal. Outra questão é que à medida que se aumenta a faixa salarial há uma diminuição do uso dos meios de locomoção como ônibus e a pé e um aumento da utilização de automóvel para ir ao trabalho. Apenas a renda mais baixa (até 1 salário mínimo), opta prioritariamente pelo ônibus.

A expansão das áreas urbanas também tem comprometido o carbono estocado na vegetação, seja pela criação de novos parcelamentos ou pela ocorrência de queimadas urbanas. Essa perda da cobertura verde urbana reduz a capacidade de prestação de serviços ecossistêmicos, tais como a redução da poluição atmosférica e poluição sonora, regulação climática e mitigação de mudanças climáticas por intermédio do processo de captura de CO₂. A percepção dessa cobertura vegetal urbana nas áreas com maior contingente populacional humano torna-se relevante para as análises da interação da vegetação com a climatologia local.

As concentrações de CO₂ na coluna atmosférica podem variar de acordo com uso e ocupação do solo ao longo do território do DF, como demonstrado no estudo

de Amaral et al. (2020) (Gráfico 3), no qual foi observado que as concentrações de CO₂ espelham os padrões de uso e ocupação do solo apresentados pela cena e interceptados pelo transecto A-B, sendo que as áreas mais claras (ou mais brilhantes) correspondem às maiores concentrações de CO₂ e as mais escuras, às menores quantidades de CO₂.

Gráfico 3. Concentrações de CO₂ na coluna atmosférica de acordo com uso e ocupação do solo ao longo do território do DF.



Fonte: Amaral et al. (2020)

Por um lado, observam-se os domos urbanos configurados pela alta concentração de CO₂ atmosférico nas colunas de ar adjacentes quando o transecto intercepta a concentração de alvos urbanos. Por outro lado, quando o alvo interceptado é o Parque Nacional de Brasília - PARNA, diversos vales de concentração de CO₂ atmosférico agrupam-se evidenciando o protagonismo de grandes unidades de conservação e das fitofisionomias florestais nelas existentes como hotspots de mitigação climática no território (AMARAL et al., 2020; BAPTISTA, 2004). Por outro lado observam-se, sobretudo sobre a área urbana, baixas de concentração de CO₂ intercaladas entre as cidades ou nas áreas arborizadas dos tecidos urbanos, evidenciando o potencial de mitigação e adaptação dos extratos de vegetação arbórea ou nativa ao longo da forma urbana (AMARAL et al., 2020; AMARAL et al., 2022).

Porém, mesmo que essas duas perspectivas sobre mitigação e adaptação sejam mandatórias para a resiliência territorial e suscitam a importância da proteção e expansão dos extratos arbóreos ao longo do gradiente urbano-rural do DF, o aumento da quantidade de árvores ao longo do território não pode ser a única estratégia a ser adotada para promoção e recuperação desses processos. As emissões oriundas da atividade urbana precisam sofrer um controle, e iniciativas destinadas a sua redução devem ser um importante objetivo da Administração pública.

Assim, o quadro de mitigação territorial do DF, considerando seus diversos fatores de emissão, deve considerar conjuntamente as seguintes perspectivas: o papel das Unidades de Conservação e hotspots de escala regional, bem como maior estímulo à utilização do transporte coletivo nos deslocamentos, a otimização das rotas do transporte de carga; e, na escala intraurbana, a revisão dos padrões de parcelamento do solo (sistema viário, quarteirões, quadras), perante o sistema de espaços livres verdes (praças, canteiros ao longo de vias, bulevares, florestas urbanas etc.), o aumento da reciclagem de resíduos produzidos e diminuição do consumo energético e o estímulo à redução da dependência do automóvel, com maior utilização de modos não motorizados. E, em ambas escalas, deve-se buscar a relação entre sistemas biofísicos e sistemas construídos, visando manejos da vegetação que protejam e promovam o sequestro de carbono e provimento de serviços ecossistêmicos, acompanhado da implantação de uma melhor infraestrutura de calçadas, ciclovias. Nessa perspectiva se faz necessário, repensar os padrões de uso e ocupação do solo, configurados na forma de núcleos, corredores e trampolins ecológicos intercalados com os sistemas construídos, formando infraestruturas verdes híbridas, conforme as demandas de cada escala da paisagem (PELLEGRINO, 2017).

3. ASPECTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS

O presente trabalho utiliza a abordagem “bottom-up”² do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), que envolve a coleta de dados detalhados sobre as fontes de emissões de GEE em nível local, como consumo energético, geração de resíduos e viagens realizadas, bem como a transformação do uso do solo no que se refere à supressão da cobertura vegetal nativa, tanto na análise dos padrões de emissões das diferentes Regiões Administrativas (RAs) do DF quanto nas análises das emissões evitadas e adicionais.

O recorte do estudo são as emissões oriundas da atividade urbana por serem aquelas mais afetadas ao foco das ações governamentais, das quais destacam-se os seguintes temas: mobilidade, consumo energético, resíduos e mudança de uso do solo e urbanização.

O setor industrial, incipiente no DF, e o setor agropecuário, com ocupação estável e consolidada na macrozona rural, com ênfase produtiva na Bacia do Rio Preto, não foram incluídos nesta análise por sua participação residual nas emissões do DF. Além disso, tratam-se de setores que dependem fundamentalmente de iniciativas do próprio setor produtivo, reservando às políticas governamentais um caráter mais ordenador e abrangente, porém, menos executivo.

As estimativas das emissões de GEE baseiam-se basicamente na multiplicação dos dados de uma determinada atividade (p. ex, consumo energético, resíduos despejados em aterro sanitário, número de carros ou ônibus circulando em uma via) pelo respectivo fator de emissão, que expressa a quantidade de liberação de determinado poluente, a partir de processos como a queima de combustíveis fósseis para o funcionamento de um motor ou para a geração de energia, ou o processo de transformação e decomposição do lixo, por exemplo.

O cenário de referência é a linha de base para a avaliação das emissões e adota parâmetros derivados dos dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD 2021) para a produção de indicadores relacionados à população, quantidade de domicílios, renda média, local de trabalho dos moradores de

² Em contraposição à abordagem “bottom-up”, o método “top-down”, por outro lado, parte de dados globais de concentração de GEE na atmosfera e utiliza modelos matemáticos para estimar as emissões a partir dessas concentrações. Em vez de medir diretamente as emissões em fontes individuais, o método “top-down” calcula as emissões com base na difusão e dispersão dos gases na atmosfera. Embora possa ser menos preciso em nível local, o método “top-down” é mais eficiente para estimar as emissões em larga escala e pode ser útil para avaliações globais.

diferentes localidades, padrões de deslocamento (modais) para trabalho e estudo. A PDAD é uma pesquisa amostral realizada pelo Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal (IPEDF Codeplan) bianualmente, o que permitirá a atualização periódica de tais indicadores.

Também foram utilizadas bases de dados governamentais relacionadas aos diferentes setores:

1. MOBILIDADE E TRANSPORTE:

- DETRAN/DF
 - i. Composição da frota do DF por combustível (e-mail enviado à Gerência de Estatística de Acidentes de Trânsito - GEREST);
 - ii. Movimentação veicular medida nas vias urbanas do DF para os anos de 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 (Processo 04031-00001457/2023-84);
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis- ANP: Consumo de combustíveis no DF obtida por meio da Lei de Acesso à Informação;
- GHG Protocol Brasil – Rendimento médio dos veículos e Fator de Emissão dos combustíveis;
- SENATRAN – Idade da frota de veículos do DF;
- METRÔ-DF - Dados sobre Expansão do metrô - Samambaia e Ceilândia Norte (Processo 04031-00000012/2024-68);
- SEMOB - Dados sobre perfil de combustível sobre frota de ônibus do DF, dados sobre utilização de bicicletas compartilhadas (Processo 04031-00001457/2023-84);
- DER: movimentação veicular medida nas vias urbanas do DF para os anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022 (Processo 04031-00000978/2023-14).

2. MUDANÇA DE USO DO SOLO E URBANIZAÇÃO:

- IDE/DF Geoportal SEDUH: camadas VEGETAÇÃO. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>;
- IDE/DF Geoportal SEDUH: USO E COBERTURA DO SOLO 2019. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>;

- Empreendimentos habitacionais da CODHAB fornecidos pela Subsecretaria de Gestão de Programas e Projetos Estratégicos - SUPPE da Secretaria Executiva de Planejamento - SPLAN

3. CONSUMO ENERGÉTICO:

- NEOENERGIA BRASÍLIA. Base de Dados Geográfica da Distribuidora NEOENERGIA Brasília. Disponível em: <<https://dadosabertos-aneel.opendata.arcgis.com/datasets/190cae4761b7404ab89bd7f57af3822b/about>>. Acesso em: 26 jan. 2024;
- Programa Brasileiro GHG Protocol- <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>;
- CEB Iluminação - Dados sobre os Projetos de Melhoria da Iluminação Pública (Processo 04031-00000010/2024-79).

4. RESÍDUOS:

- SLU: dados do Relatório de Gravimetria por RA <https://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/RelatorioGravimetria-PeriodoChuvoso2021.pdf>;
- SLU: Dados de resíduos coletados, reciclados, compostagem, varrição para 2021 e 2022 (Processo 04031-00000306/2023-17: arquivo Anuario_CODEPLAN- SLU 2021-2022).

Como unidade de referência nas medições, adotou-se o CO₂e, que é uma métrica que converte as emissões de diferentes gases de efeito estufa (no presente estudo foram avaliados CO₂, N₂O e CH₄) em uma única unidade com base em seu potencial de aquecimento global em comparação com o dióxido de carbono (CO₂), que é o gás de referência. Foram utilizados os fatores de conversão estabelecidos no 2º, 4º e 5º relatórios do IPCC (AR2, AR4 e AR5).

Por fim, destaca-se ainda como recorte metodológico os seguintes tópicos relacionados aos temas trabalhados neste estudo.

3.1. Mobilidade e Transporte

Considerando o impacto das emissões no DF decorrente do Setor Transporte, foram utilizados dados da PDAD (2021) para construção de uma distribuição relativa origem-destino por motivo de trabalho ou estudo para avaliação das emissões

decorrentes das viagens da população de cada RA. Tratam-se dos principais deslocamentos diários, em razão da concentração do emprego e de importantes instituições de ensino na área central de Brasília e em segundo lugar na região de Taguatinga e Ceilândia. Foi calculada a distribuição dos modais poluentes de transporte (carro, moto e ônibus) conforme variáveis disponíveis na PDAD (2021). A quantidade de carros por domicílio em relação às pessoas que usam carro como principal meio de deslocamento é contabilizada, com uma regra de decisão para garantir ocupação mínima de uma pessoa por carro. Em termos de distância dos deslocamentos, utilizou-se o QGIS Hub Plugin para cálculo da distância dos centroides da RA de origem em direção ao centroide da RA de destino. Foram considerados anualmente 250 dias úteis para o cálculo anual dos deslocamentos. Com esse dado foram aplicados os fatores de emissão e consumos de combustíveis fornecidos pelo Programa GHG Protocol Brasil, ponderados pelas características da frota de veículos do DF (automóveis, incluindo caminhonetes, ônibus e motos), tais como ano de fabricação e tipo de combustível utilizado, levando-se em consideração o consumo de etanol e gasolina informado pela ANP para estimar o combustível consumido pelos veículos tipo flex. Para mais detalhes, consultar APÊNDICE I - NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões do deslocamento por motivo de trabalho ou estudo nas Regiões Administrativas do DF) e APÊNDICE II: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito Federal).

3.2. Mudança de uso do solo e urbanização

A função de sequestro de carbono da vegetação é um dos importantes serviços ecológicos das florestas urbanas, mas existem poucos estudos que revelam quantitativamente o padrão espacial da função de sequestro de carbono da vegetação florestal urbana que compensam as emissões de carbono (ZHANG et al., 2021). O presente estudo baseou-se na análise de imagens de satélite de alta resolução, procurando identificar detalhadamente a vegetação nativa com as estruturas de campo, savana e florestas e a vegetação plantada com cobertura florestal urbana. Para o cálculo dos fatores de remoção decorrentes do crescimento anual da vegetação, conforme recomendação do IPCC para áreas manejadas com

coberturas de árvores em terras urbanizadas que permanecem urbanizadas, foram adotados os fatores globais em áreas comuns de manejo, na ausência de medições de inventários florestais locais, que é o caso do DF. As florestas urbanas podem apresentar variações significativas dos valores de biomassa dependendo do tipo de vegetação, composição das espécies, densidades de plantio das árvores e arbustos, qualidade do ar, impermeabilização do solo, sombreamentos de prédios, dentre outras características de manejo, de modo que o fator de remoção adotado tende a subestimar as possibilidades de remoção decorrentes do crescimento anual da biomassa.

Para efeitos do presente estudo, as florestas urbanas foram consideradas em um viés mais contemporâneo, compreendidas como o conjunto de todas as árvores existentes no contexto biofísico e social das áreas urbanas e periurbanas de uma cidade, consolidando seu papel como Solução Baseada na Natureza, essencial para a adaptação climática, para a conservação da biodiversidade e para a promoção do bem-estar no meio urbano (AMARAL et al., 2017; PELLEGRINO, 2017; CAICHE, 2021; SCHEUER et al., 2024). Em uma perspectiva sistêmica, incluem-se tanto as árvores presentes nas calçadas, estacionamentos, parques, bosques, praças, áreas verdes, áreas de preservação permanente e de áreas particulares, quanto as oriundas de manejo paisagístico ou da preservação da vegetação nativa (AMARAL et al., 2017; CAICHE, 2021). Em reconhecimento ao potencial desse conjunto vegetacional nas áreas urbanas, cada vez mais pesquisas e projetos têm se voltado para sua conservação, restauração e expansão (SCHEUER et al., 2024).

No caso da análise da forma urbana, foram coletados dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do DF - IDE-DF/Geoportal da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH) da camada relativa aos lotes com possibilidade de uso residencial assim definidos na “Lei de Uso e Ocupação do Solo”. As Regiões Administrativas, como Plano Piloto, Cruzeiro, Candangolândia, Sudoeste, Octogonal, Arniqueira, Arapoanga e Água Quente tiveram seus dados extraídos da camada do shape “Lotes Registrados” também com foco nos setores onde o uso residencial é admitido. As Regiões Administrativas de Itapoã e parte de São Sebastião, entre outras, tiveram os dados extraídos da camada “Ocupações Identificadas”, uma vez que apresentam ocupação irregular ainda não registrada em cartório. Sobre essas bases, foi realizado tratamento nos dados para a retirada dos lotes industriais, comerciais, escolas e igrejas. Para mais detalhes, consultar

APÊNDICE V: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MUDANÇA DE USO DO SOLO E URBANIZAÇÃO (Estoque de carbono da Cobertura Vegetal e Fatores de emissão, remoção de CO₂e).

3.3. Consumo energético

Foram adotados os fatores de emissão associados ao Programa Brasileiro GHG Protocol, que ajusta os coeficientes usados para quantificar as emissões da matriz energética brasileira, baseada na geração de eletricidade a partir de energias renováveis.

Os fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica correspondem aos dados apresentados pelo MCTIC (<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>) que calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Para mais detalhes, consultar APÊNDICE VII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE CONSUMO ENERGÉTICO (Estimativas do Fator de Emissão de GEE do consumo energético do Distrito Federal).

3.4. Resíduos

Para avaliar as emissões de GEE decorrentes da produção de resíduos sólidos, foi utilizada a Ferramenta GRS GEE disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer>. Essa ferramenta considera as emissões específicas de GEE por massa de material primário e material reciclado para obter seu saldo líquido de emissões de GEE, em todo o seu ciclo de vida (GIEGRICH, 2021, p. 86).

As informações necessárias para os cálculos incluem a quantidade total de resíduos sólidos coletados, a quantidade de resíduos seletivos e compostados, bem como sua gravimetria correspondente (resíduos de alimentos, podas, plástico, vidro, metais e outros), o método de disposição final - descontrolada (descarte ou queima a céu aberto) ou controlada (lixão, aterro controlado sem coleta de gás, aterro sanitário com possibilidade de coleta de gás) -, existência de tratamento dos resíduos orgânicos (tratamento biológico, produção de combustível derivado de resíduos), existência de incineração.

Utilizando essa ferramenta, obteve-se um valor médio de emissões para as emissões decorrentes do resíduo depositados no Aterro Sanitário de Brasília, tanto por Região Administrativa como para o DF. Para mais detalhes, consultar APÊNDICE VIII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE RESÍDUOS (Estimativas emissões de geração de resíduos sólidos).

4. PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF

4.1. Aspectos metodológicos para o cálculo de emissões das Regiões Administrativas

O presente capítulo trata da avaliação do desempenho do perímetro urbano das Regiões Administrativas usando o método bottom-up de medição de emissões de carbono com o processo de espacialização, buscando relacionar, para diferentes localidades urbanas do DF, os padrões de viagens por motivo de trabalho e estudo, consumo energético e produção de resíduos, que permitem caracterizar os principais setores que contribuem com as emissões urbanas com aspectos da forma urbana, tais como concentração populacional, quantidade e tipologias de moradia e renda média familiar da localidade. As emissões de carbono estão intimamente relacionadas com o nível de desenvolvimento socioeconômico (WANG et al., 2022), do que decorre a necessidade de contabilização das emissões de carbono na escala regional e urbana, uma vez que as concentrações urbanas são importantes fontes de emissões de GEE.

Também busca-se identificar as características das fontes de emissão e de sumidouros de carbono das áreas urbanas das Regiões Administrativas do DF em diferentes dimensões, permitindo a avaliação do balanço de carbono na escala das aglomerações urbanas, tendo o ano de 2021 como referência em função dos dados disponíveis:

- Dados de população, número de domicílios e renda média familiar estimada pela PDAD 2021;

- Análise da cobertura vegetal procurando identificar áreas de vegetação nativa (campo, savana e florestas), gramados, jardins e florestas urbanas;
- Análise do padrão espacial, baseado nas faixas de dimensões de lotes destinados à moradia;
- Análise do consumo energético dos domicílios;
- Análise da produção de resíduos e de seu percentual reciclado dos domicílios nas áreas urbanas;
- Análise do padrão de mobilidade por Região Administrativa (RA).

4.2. Balanço de emissões das áreas urbanas das Regiões Administrativas

O processo de urbanização no Brasil, a partir do final do século XX, gerou um aumento significativo no número de cidades e da população urbana, com um processo crescente de dispersão da residência no território. De acordo com Bruegmann (2011 apud Pescatori, 2015) alguns argumentos centrais da crítica ao processo de dispersão urbana são os custos econômicos e ambientais pelo aumento do consumo de combustíveis e pela diminuição das terras agricultáveis e florestadas, além de problemas sociais relacionados à diminuição da urbanidade.

No caso do DF, a dispersão no território tem sido fortemente motivada pelas ocupações irregulares, independente da renda, muitas vezes além dos limites da Macrozona Urbana definida no Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT).

Ao mesmo tempo, cabe ressaltar que, mesmo em um quadro de urbanização dispersa como o DF, é possível verificar tecidos urbanos diversos nas Regiões Administrativas, seguindo tanto padrões da cidade tradicional, preceitos do movimento moderno no urbanismo e configuração de espaços murados com acesso controlado, na forma de condomínios de casas ou de edifícios (CALDEIRA, 2000).

Os tecidos urbanos são organizados pelo sistema viário e pelos quarteirões ou quadras, com lotes de diferentes tamanhos, que dão origem a diferentes tipologias arquitetônicas (COSTA e NETTO, 2015). De forma geral, os elementos naturais do sítio físico (geomorfologia, relevo, vegetação e hidrografia) tais como os morros, lagos, costa, matas ciliares e córregos (McHARG, 1969), são fatores de organização espacial e moldam a ocupação urbana.

Espaços livres públicos são fundamentais na organização da forma urbana, especialmente quando projetados em conjunto com o sistema viário ou com a distribuição dos quarteirões, como canteiros verdes, praças e parques urbanos. Os lotes de pequenas dimensões acabam induzindo a ocupações unifamiliares com pouca área livre privada, enquanto lotes de grandes dimensões permitem maior superfície verde; entretanto, acabam levando à formação de enclaves ou clusters dissociados do espaço urbano como um todo, restando uma gama de espaços livres privados impermeabilizados (HOPKINS, 2013).

Nessa perspectiva, o DF possui um quadro contrastante em relação à conformação dos elementos constituintes do tecido urbano. Por um lado, em áreas como Park Way, Lago Sul, Lago Norte, Jardim Botânico e Sobradinho II, a expansão e extensão da malha urbana e do modo de produção urbano para além dos limites da cidade consolidada, como afirma Monte-Mór (2007, apud Pescatori, 2015), é a característica mais marcante dessa urbanização dispersa, na qual predominam as baixas densidades habitacionais.

Por outro lado, RAs como Samambaia, Santa Maria, Recanto das Emas e Riacho Fundo I e II foram concebidas por meio de uma política habitacional centrada em populações de baixa renda e sua infraestrutura e políticas públicas só foram implementadas após a expansão territorial. Acomodando uma população já urbana, possuem os tecidos urbanos mais compactos, porém ainda com certa desproporção entre unidades imobiliárias e sistema viário, o qual pode chegar a ocupar 50% da área do parcelamento urbano, restando pouco espaço para espaços verdes.

Outra reflexão importante sobre o tecido urbano é de que forma essa sucessão de lotes leva à formação de quarteirões de menor ou maior dimensão, com maior ou menor densidade populacional, fatores definitivos para viabilizar sistemas de transporte coletivo e os deslocamentos a pé. Cidades muito extensivas e com baixa densidade populacional dificultam a implantação de sistemas eficientes e economicamente viáveis de transporte coletivo. Da mesma forma, lotes de grandes dimensões e grandes quarteirões também dificultam a caminhabilidade, pois, por um lado, permitem a configuração de áreas muradas e com poucas aberturas em relação à rua, ao mesmo tempo em que obrigam maiores percursos para o pedestre (COSTA e NETTO, 2015). Tais aspectos da forma urbana terão grande repercussão nas emissões derivadas do transporte automotivo.

No contexto dos serviços ecossistêmicos dos sistemas de espaços verdes para enfrentar as mudanças climáticas, mas além das grandes unidades de conservação ou grandes parques, o conjunto de espaços livres da cidade deve ser considerado como potencial sumidouro para a neutralização das emissões de GEE. É crucial debater como elementos em menor escala nos tecidos urbanos podem desempenhar um papel significativo para evitar a formação de pontos de concentração de CO₂ e, conseqüentemente, ampliar as possibilidades de neutralização das emissões, ao longo do território.

Nessa perspectiva de neutralização, com base na metodologia do "bottom up", foram analisadas as emissões nas diferentes localidades do DF com o objetivo de relacionar aspectos da renda, forma urbana e presença de cobertura vegetal com as emissões de GEE.

4.2.1. Formações vegetais

Para identificação dos sumidouros urbanos, foram verificadas formações vegetais, seguindo as categorias do IPCC, caracterizadas como: Florestal nativa, Florestal urbana, Campestre e Savânica, que são as formações com possibilidade de medição da remoção de carbono.

Segundo o Inventário Florestal do Distrito Federal, (2016, p. 33), o total de áreas com florestas nativas é de 134.147 ha com a estimativa total de 3,2 milhões de toneladas de carbono estocadas acima do solo e 1,7 milhões de toneladas abaixo do solo. Pode-se inferir que, no DF, as florestas nativas apresentam um rendimento de 36 tC/ha.

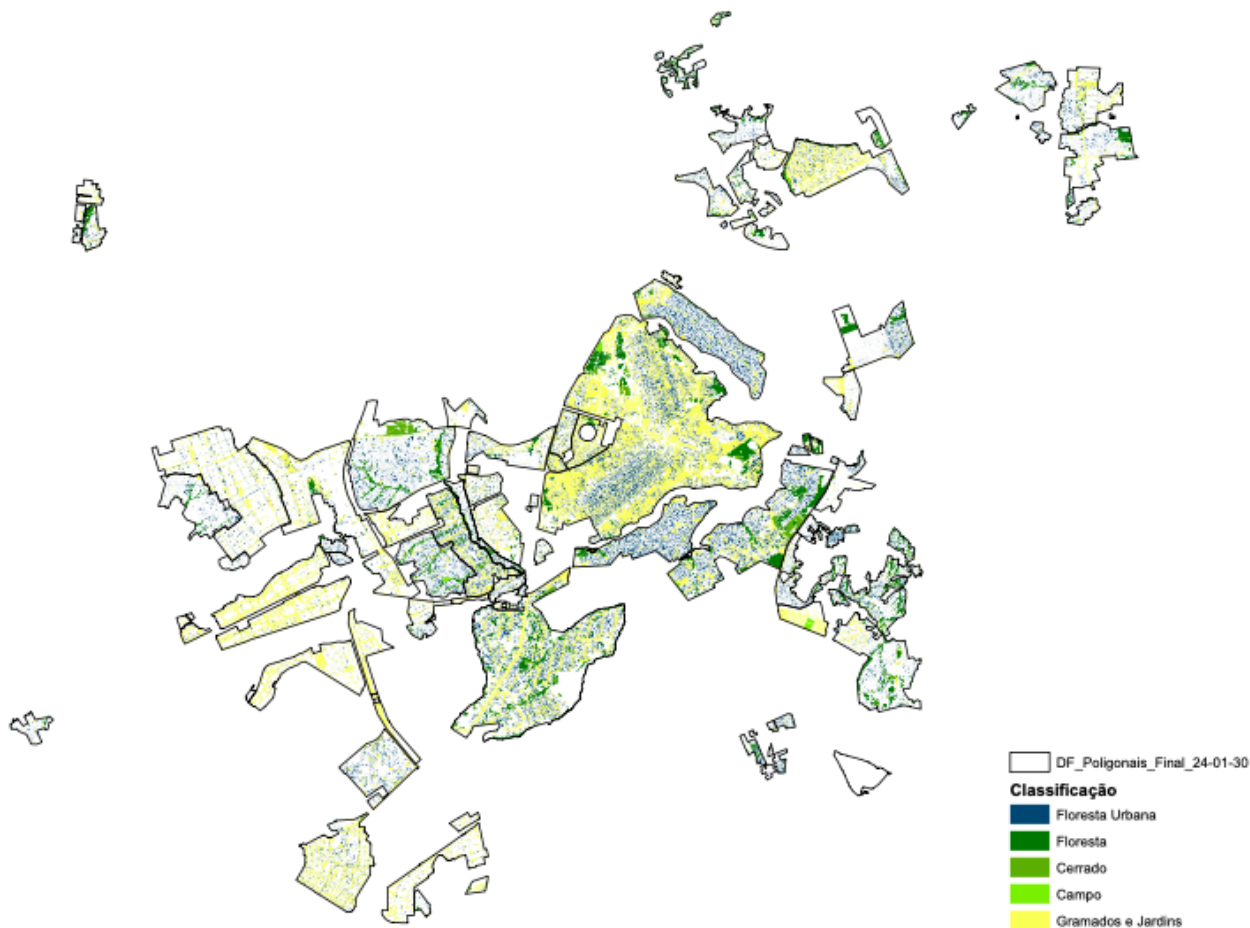
Neste estudo, foi mapeada a cobertura vegetal entre florestas e não florestas em aproximadamente 16 mil ha, considerando o perímetro da área urbanizada das 35 RAs. Nesse mapeamento, 36% desse território urbanizado foram identificados com coberturas florestais com estoque e remoções de carbono.

Analisando a cobertura vegetal do perímetro urbano do DF (Gráfico 4), o Plano Piloto é a RA com a maior área recoberta por vegetação urbana, totalizando 1.269 hectares, seguida da região do Park Way, onde a cobertura vegetal na forma de florestas urbanas equivale a aproximadamente 664 hectares, Lago Sul com 615 hectares e Lago Norte com 288 hectares. Existe um percentual considerável de

RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF
Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

áreas recobertas com gramado (52%), com pouca representatividade para a formação de estoque de carbono.

Mapa 1. Cobertura vegetal do perímetro urbano do DF

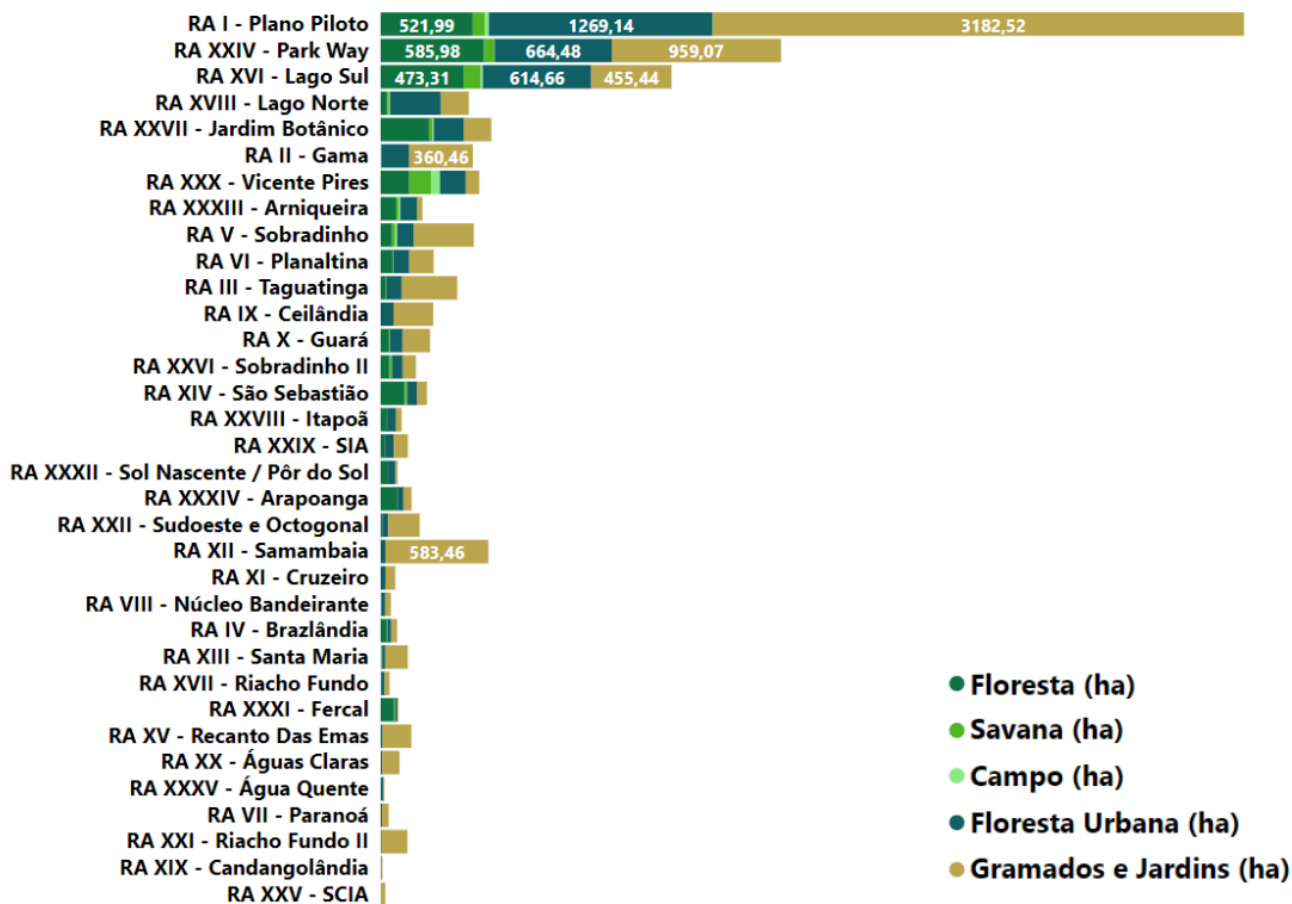


Fonte: Elaboração Própria, 2024.

Diferentemente de formações nativas campestres com gramíneas do Cerrado que incrementam a biomassa na vegetação e no solo, os gramados e jardins são manejados com tratos culturais que tendem a neutralizar o saldo de carbono na biomassa acima e abaixo do solo. Do ponto de vista do estoque de carbono e nas remoções de GEE, não existem fatores para formações não florestais manejadas com gramados e jardins antropizados.

SCIA, Candangolândia e Riacho Fundo são aquelas áreas com menor quantidade de sumidouros urbanos. Sua cobertura vegetal está concentrada nos espaços livres públicos, que atualmente não abrigam florestas urbanas, e sim áreas gramadas, que representam pouco ganho na questão do estoque de carbono, assim como nas remoções advindas do crescimento da vegetação.

Gráfico 4. Sumidouros urbanos - Estoque de Carbono da cobertura Vegetal no perímetro urbano (ha)



Fonte: Elaboração Própria, 2024.

Conforme os lotes vão aumentando de tamanho, é possível perceber que também aumenta a proporcionalidade de cobertura vegetal, em especial a presença de savana, que constitui o Cerrado nativo. Entretanto, tratam-se de áreas com maior renda e áreas com maior dependência do automóvel para os deslocamentos diários.

Em última análise, a forma urbana de diferentes Regiões Administrativas do DF nos permite tirar algumas conclusões sobre a relação entre os espaços edificados, o sistema de espaços livres público e privado e a presença ou permanência de florestas urbanas. Por um lado, há grupos de regiões, como Gama, Sobradinho, e mesmo as quadras 700 do Plano Piloto, cujos tecidos urbanos se configuram por lotes de dimensão média voltados à habitação unifamiliar, circundados por espaços verdes, que acabam se refletindo como grandes áreas arborizadas e, portanto, abrigando trechos de floresta urbana. Por outro lado, existem tecidos urbanos extremamente compactos, com grande aproveitamento construtivo, onde há maior dificuldade na distribuição de espaços livres públicos,

como é o caso de regiões como Itapoã, onde a presença de floresta urbana é praticamente imperceptível (McHARG, 1969; HOPKINS, 2013). Algumas regiões, mesmo formadas a partir de ocupações irregulares, como Arniqueira e Vicente Pires, têm a própria geografia do terreno como fator preponderante para a presença da cobertura vegetal e a organização dos quarteirões (HOPKINS, 2013). O caso de São Sebastião também se insere nesse mesmo contexto, onde o terreno acidentado, a presença de córregos e matas ciliares também organizam o espaço urbano.

Considerando o ano base de 2021, as queimadas antrópicas atingiram três RAs: Vicente Pires (488,6 ha), Arapoanga (484,8 ha) e Sobradinho (35,2 ha). Sendo que a maior área queimada ocorreu em vegetação campestre nativa, correspondendo a 56,2% do total de vegetação queimada. Essas queimadas emitiram cerca de 1.008,7 tCO₂. Comparativamente, essa vegetação urbana teria potencial de remoção anual de 58.073,3 tCO₂. Assim, essas remoções estariam compensando o carbono emitido pelas queimadas. Além disso, caso a cobertura atual de gramados e jardins (8.373,3 ha), fosse transformada em área para o plantio de mudas nativas, seu potencial total de remoção poderia dobrar, sendo capaz de remover mais 85.966,2 tCO₂.

4.2.2. Transporte rodoviário e deslocamentos casa-trabalho/estudo

No que se refere às emissões do transporte rodoviário, Park Way é a Região Administrativa com maiores emissões por habitante relativas às viagens por trabalho ou estudo (Gráfico 5) e se caracteriza pela alta renda, ausência de postos de trabalho que implicam o deslocamento pendular, alta posse de veículos (95% dos domicílios) e ocupação de baixa densidade populacional, com lotes acima de 2.000m² alguns dos quais repartidos em 8 unidades condominiais. Já o Jardim Botânico aparece em segundo lugar, confirmando que a forma urbana de condomínios de casas com acesso controlado, com lotes unifamiliares com dimensão entre 500 e 1000m² e população de média-alta renda e mais de 93,6% dos domicílios com posse de veículos (PDAD, 2021) implicam grandes emissões do transporte rodoviário. Lago Norte e Lago Sul, localidades com a maior renda do DF e alta taxa de motorização e posse de veículos (94,3% e 99,4%, respectivamente) aparecem em seguida com altas emissões relacionadas com o deslocamento diário.

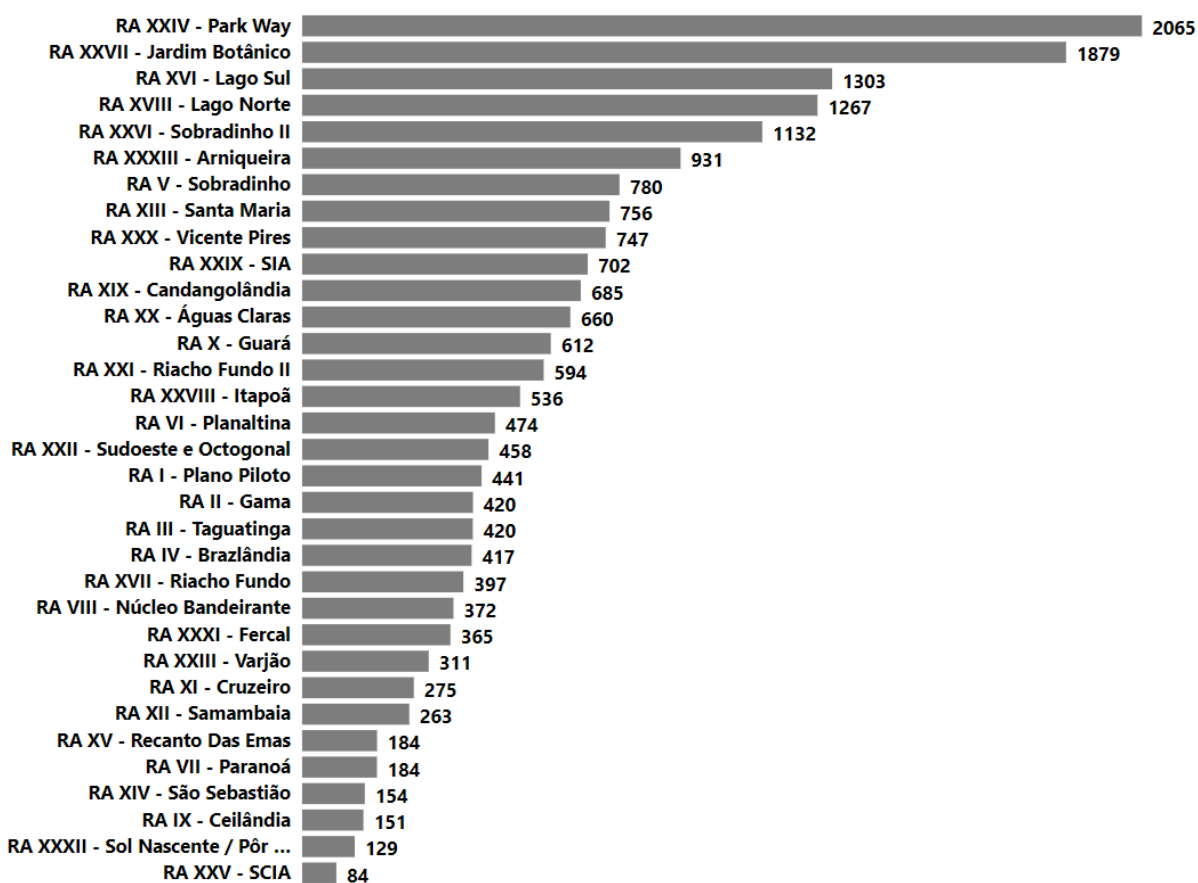
RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF

Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

Embora um pouco mais diversa em termos de renda, Sobradinho II demonstra grandes emissões e também concentra uma grande área de condomínios residenciais com mais de 68,5% dos com posse de veículos (PDAD, 2021).

Já as Regiões Administrativas do SCIA, Sol Nascente/Pôr do Sol, Ceilândia, São Sebastião, Paranoá e Recanto das Emas são as que apresentaram menores emissões relacionadas ao deslocamento por habitante em função do uso preferencial do transporte coletivo pela população. Por outro lado, o Plano Piloto encontra-se em grupo intermediário de emissões em decorrência da grande concentração de empregos, atraindo viagens, em vez de gerar viagens.

Gráfico 5. Emissões do deslocamento/hab relativas às viagens por trabalho ou estudo - RA por habitante (kgCO₂/hab-ano).



Fonte: Elaboração Própria, 2024

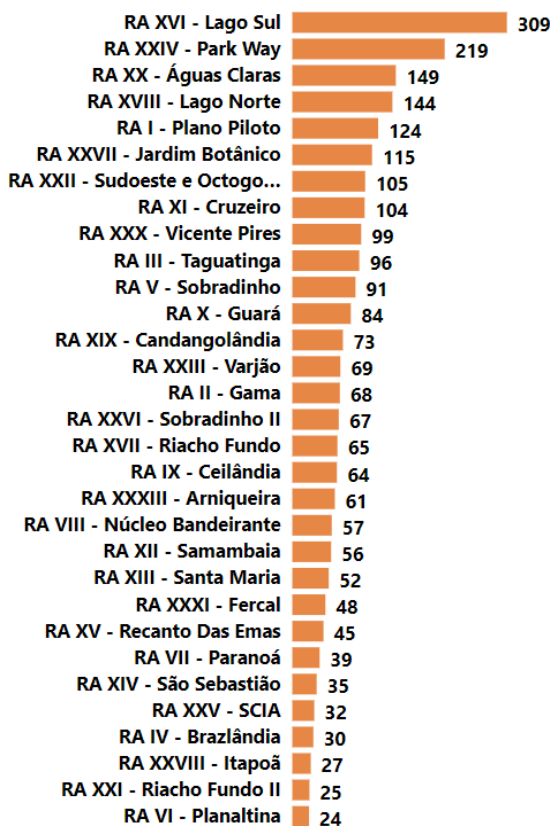
Os dados detalhados sobre essas emissões e dados da forma urbana pode ser obtidos no Apêndice I - NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões do deslocamento por motivo de trabalho ou estudo nas Regiões Administrativas do DF).

4.2.3. Consumo Energético

No que se refere ao consumo energético (Gráfico 6), o Lago Sul, Park Way e Águas Claras são as três principais regiões com maiores emissões. Tanto o Lago Sul como o Park Way apresentam lotes grandes e as maiores rendas per capita (R\$31.322,90 e 18.138,20, respectivamente, segundo dados da PDAD 2021. Com base no Coeficiente de Correlação de Pearson, obteve-se uma correlação positiva de 0,91 entre renda e consumo energético. No inventário de bens duráveis da PDAD 2021, 88,6% dos domicílios do Lago Sul e 79% do Park Way possuem aparelhos de ar condicionado, que podem representar um diferencial no consumo energético por habitante em relação a outras localidades. Por outro lado, o Lago Sul e Park Way são as regiões com maior presença de placas de aquecimento solar por domicílio, 47% e 42,6% respectivamente (PDAD, 2021).

Já Águas Claras é formada por condomínios na forma de torres verticalizadas de apartamentos, recentemente construídos, com espaços comuns e atividades de lazer. Trata-se da terceira Região Administrativa com maior presença de aparelhos de ar condicionado (64,5% dos domicílios), superando localidades com maior renda como Plano Piloto, Sudoeste/Octogonal e Jardim Botânico em que aproximadamente metade das moradias possuem o equipamento. Também são as 3 áreas urbanas com maior percentual de eletrodomésticos com menor frequência nos domicílios do DF, tais como freezer (mais de 60% dos domicílios), máquina de lavar e secar ou secadora de roupas individualizada, máquina de lavar louças (mais de 50% dos domicílios no Lago Sul e Park Way e 30% em Águas Claras).

Gráfico 6. Emissões/hab oriundas do consumo energético kg CO₂ por habitante (kg CO₂/hab-ano)



Fonte: Elaboração Própria, 2024

Arapoanga, SIA e Sol Nascente/Pôr do Sol, por outro lado, são as regiões com as menores emissões. O tamanho médio dos lotes é de 250 metros quadrados e são áreas de baixa renda, com exceção do SIA que é uma Região Administrativa de média renda. É importante destacar que as Regiões Administrativas citadas não são as localidades com as maiores ou menores populações.

Há que se destacar que as estimativas realizadas estão centradas no ano de 2021, cujo fator de emissão foi bastante superior ao da série histórica (ver Apêndice VII - Nota Metodológica do Setor de Consumo Energético: Estimativas do Fator de Emissão de GEE do consumo energético do Distrito Federal).

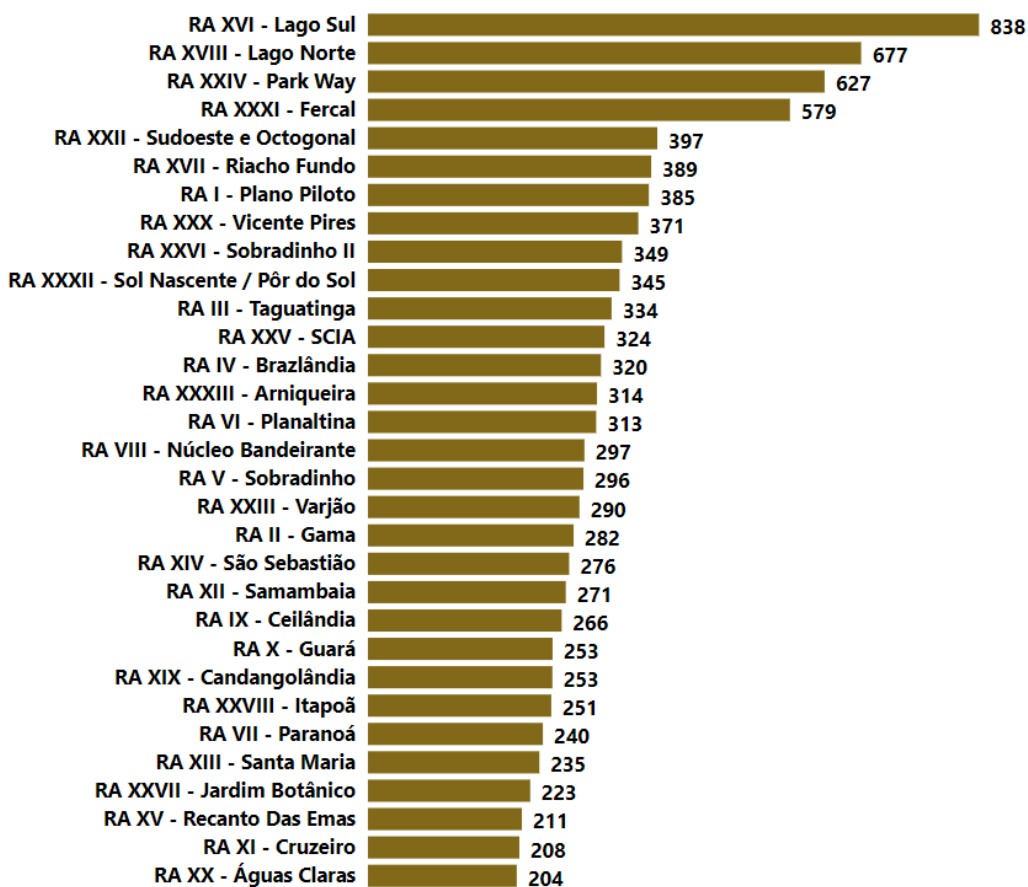
4.2.4. Resíduos

Diferentemente dos dados de consumo energético, nos quais as medições domiciliares e comerciais estão diferenciadas na fonte dos dados, as bases de dados utilizadas para estimar a geração de resíduos domiciliares forneceram informações agrupadas por Região Administrativa e, não, por domicílios. Isso

poderia incluir eventualmente pequenos produtores de resíduos comerciais que não são classificados como grandes geradores e, portanto, têm sua coleta realizada junto com o resíduo proveniente dos domicílios. Outra questão a ser considerada diz respeito à peculiaridade de concentração de restaurantes em determinadas RAs ou de hábitos de alimentação na residência, que podem interferir no volume de resíduos. Um fator importante relacionado aos resíduos sólidos coletados é a ausência de dados precisos sobre sua composição, ou seja, sua gravimetria, em especial na matéria orgânica, tais como resíduos de alimentos e resíduos vegetais. Tanto a contribuição de pequenos produtores, incluindo comerciais, bem como a presença de resíduos vegetais em localidades com maior cobertura vegetal, podem resultar em pequenas distorções relacionadas à geração de resíduos per capita.

Outro fator importante a ser destacado, que relaciona a forma urbana e a geração de resíduos, é o transporte desses resíduos. Áreas mais compactas, por concentrarem uma maior população e uma maior geração de resíduos, tendem a exigir um processo de coleta com um maior número de veículos capazes de abarcar a quantidade de resíduos produzidos, resultando em mais viagens. Localidades com tecido urbano mais extensivo e menor densidade demográfica dificultam a coleta de resíduos seletivos, como no caso de áreas como o Park Way e Lago Norte.

Gráfico 7. Emissões/hab da geração de resíduos sólidos kg CO₂ por habitante (kg CO₂/hab-ano)



Fonte: Elaboração Própria, 2024

No que se refere à geração de resíduos, Lago Sul, Lago Norte e Park Way são as Regiões Administrativas que demonstram as maiores emissões por habitante. Águas Claras, Cruzeiro, Recanto das Emas e Jardim Botânico estão entre as regiões com as menores emissões/hab resultantes da geração de resíduos sólidos.

4.2.5. Avaliação entre emissões e remoções

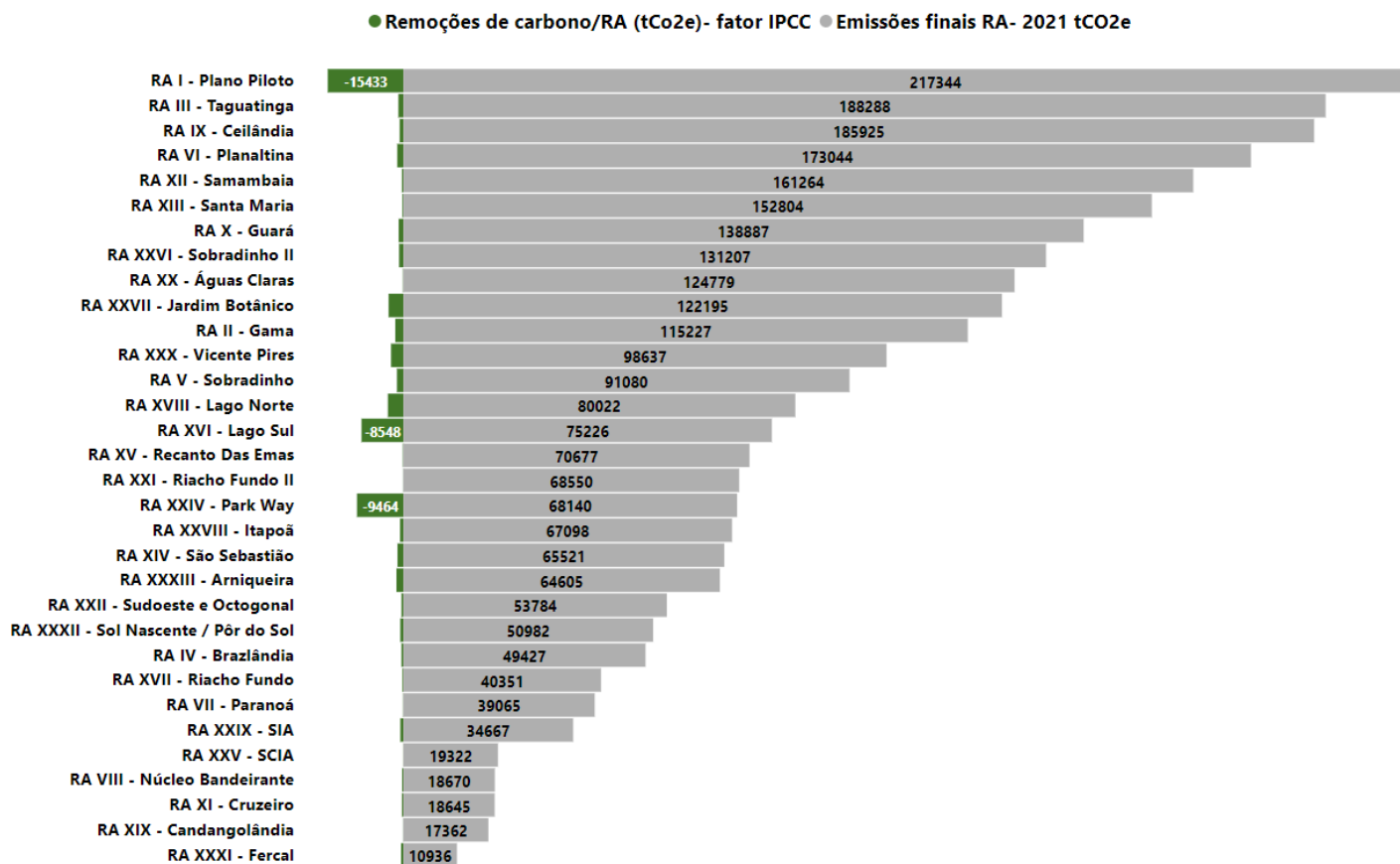
Buscando identificar a relação entre emissões finais (deslocamentos + consumo energético + resíduos sólidos) de cada Região Administrativa e as remoções de carbono, observa-se que as emissões são muito superiores às remoções.

Em termos absolutos, as áreas mais populosas são aquelas que aportaram as maiores emissões, enquanto as RAs com menor população apresentam as menores emissões finais líquidas. Por esse motivo, Plano Piloto, Taguatinga e

RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF
Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

Ceilândia (que comportam a maior população do DF) são as RAs com maior número de emissões finais líquidas, enquanto Varjão, Fercal e Candangolândia apresentam as menores emissões absolutas.

Gráfico 9. Emissões e remoções/RA (tCO₂e)



Fonte: Elaboração Própria, 2024

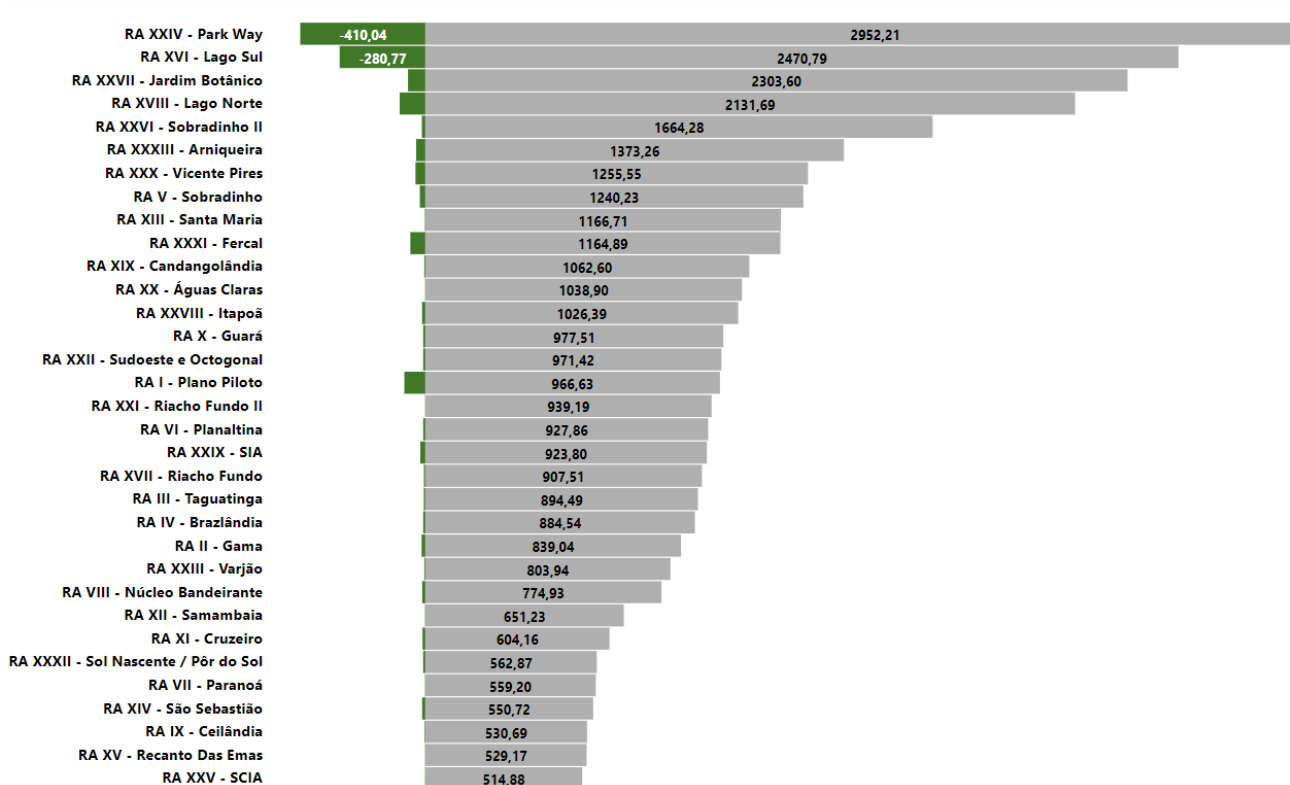
Já a análise das emissões por habitante reflete as relações de renda, consumo, deslocamento e forma urbana.

As maiores emissões finais líquidas analisadas por habitante em cada RA, concentram-se no Park Way, Lago Sul e Lago Norte que são RAs com altas rendas no DF (Gráfico 10). Embora Lago Sul e Lago Norte possuam uma forma urbana semelhante, o Lago Sul tem mais que o dobro de florestas urbanas, gramados e jardins no seu território em comparação com o Lago Norte (Gráfico 4). SCIA, Recanto das Emas e Ceilândia são as Regiões Administrativas com menores emissões finais líquidas por habitantes.

RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF
Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

Gráfico 10. Emissões e remoções RA/hab (kg CO₂e)

● Emissões finais RA/hab- 2021 kgCO₂e ● Remoções finais RA/hab- 2021 kgCO₂e



Fonte: Elaboração Própria, 2024

O Plano Piloto se destaca como a Região Administrativa com mais remoções de carbono em termos absolutos, por ser a região com a maior quantidade de florestas urbanas, em meio aos domicílios verticais e horizontais, comércio, escolas, hospitais, ou seja, diversos equipamentos públicos de uma cidade. E o Park Way apresenta as maiores remoções por habitantes em termos relativos, refletindo sua forma urbana.

Quando são observadas as relações entre remoções e emissões, os ganhos decorrentes da forma urbana que permite o maior percentual de espaços verdes não compensam as emissões decorrentes dos veículos e dos padrões de consumo que se refletem no consumo energético e na produção de resíduos.

Assim, as Regiões Administrativas do DF demonstram que as maiores emissões por habitante nem sempre estão relacionadas àquelas áreas urbanas mais distantes do Plano Piloto e, sim, àquelas que possuem um padrão espacial mais extensivo, baixas densidades demográficas e alta renda.

5. CADEIAS CAUSAIS DAS EMISSÕES DOS DIFERENTES SETORES NO DF

A compreensão dos fatores que influenciam as emissões de GEE nos diversos setores permite definir as variáveis a serem analisadas na construção de uma Ferramenta de Cálculo de Emissões de GEE.

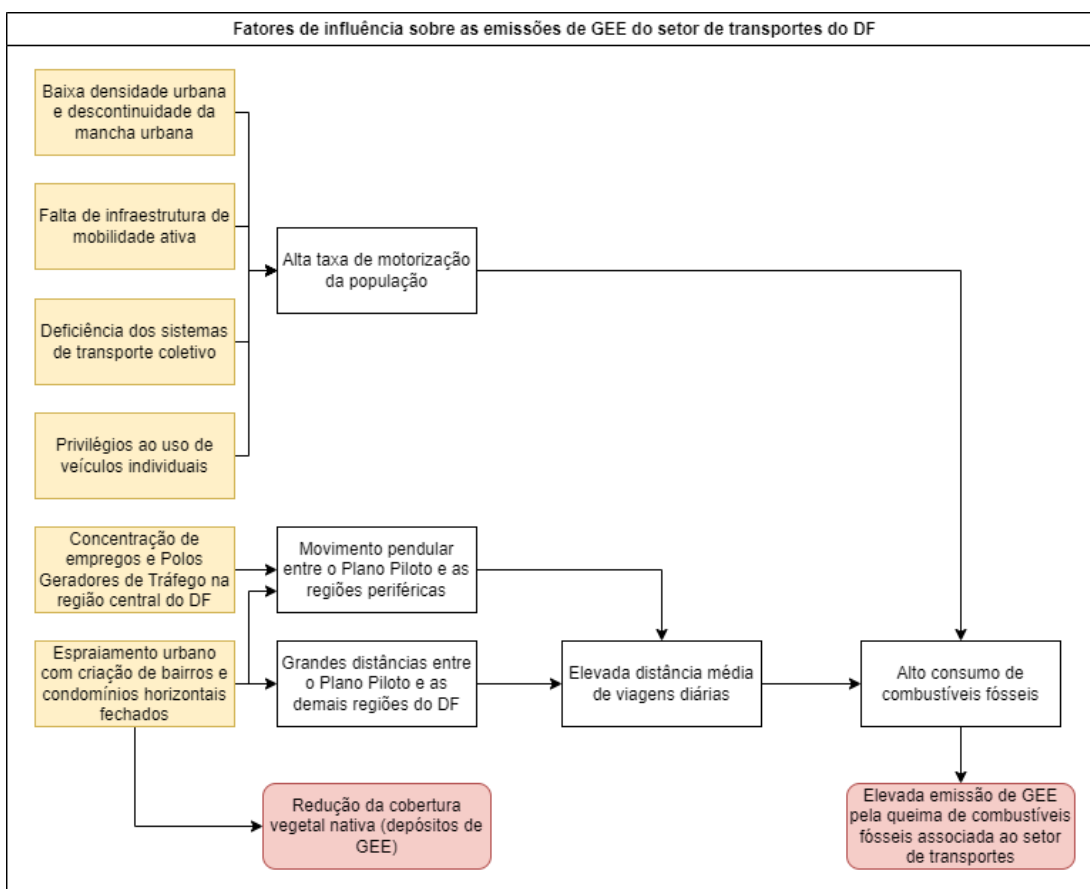
5.1. Mobilidade e transporte

No caso do setor de transporte, as baixas densidades urbanas, assim como a falta de infraestrutura para mobilidade ativa e deficiências nos sistemas de transporte coletivo, como altas tarifas, baixa pontualidade e baixa qualidade dos serviços prestados, além de intervenções que privilegiam o uso de veículos individuais, são as principais razões para a alta taxa de motorização da população no DF.

Além disso, a concentração de empregos e pólos geradores de tráfego na região central do DF, resulta em um movimento pendular entre o Plano Piloto e as regiões periféricas. Além disso, o processo intensificado a partir dos anos 2000, com a dispersão das residências pelo território e a criação de bairros e condomínios horizontais fechados a grandes distâncias da zona de emprego, ou seja, do Plano Piloto, tem estimulado esse movimento pendular e contribuindo para a redução da cobertura vegetal nativa em regiões que não faziam parte do planejamento regional e territorial do DF nos sucessivos planos elaborados.

A elevada distância média das viagens diárias e a alta taxa de motorização da população resultam em um alto consumo de combustíveis fósseis, o que consequentemente leva à elevada emissão de GEE pela queima desses combustíveis. A criação de novos condomínios, além do setor de transporte, também leva à redução da cobertura vegetal, sendo uma importante razão para as emissões de GEE no DF (Figura 1). Essa situação não é diferente em várias capitais e centros urbanos, seja no Brasil ou no mundo, onde o setor de transporte é o principal responsável pelas emissões, juntamente com a atividade industrial.

Figura 1. Mapa de cadeia causal identificando os principais elementos que contribuem nas emissões que são oriundas das ações governamentais e as ações que poderão ajudar a neutralizar essas emissões para o Setor Mobilidade.



Fonte: Elaboração Própria, 2024

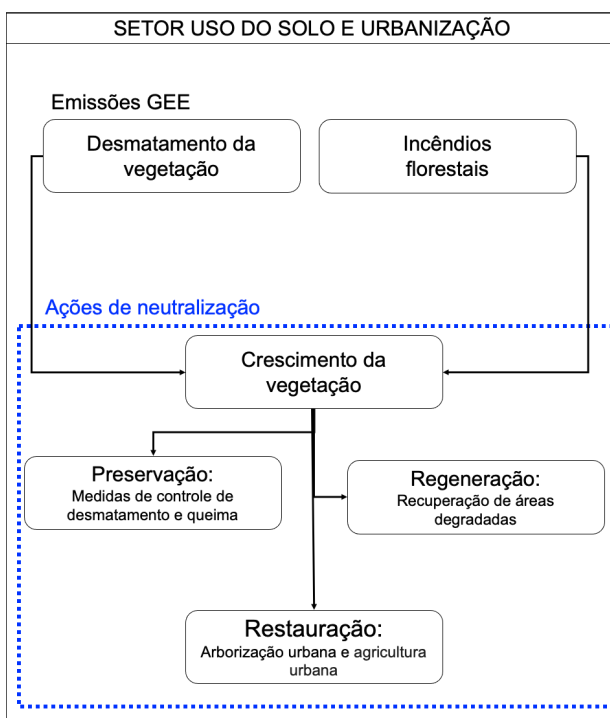
5.2. Mudança de uso do Solo e Urbanização

A vegetação nativa possui a capacidade de absorver o carbono, principalmente em sua fase de crescimento. Porém, muito além dessa função, ela é um estoque natural de CO₂. Durante seu ciclo de vida, a vegetação absorve constantemente o CO₂ da atmosfera em um ciclo de saldo negativo, ou seja, absorve mais do que devolve para o meio ambiente e dessa forma se desenvolve ao mesmo tempo que acumula CO₂ em sua biomassa. Porém, no processo de mortalidade da vegetação ou de supressão da vegetação, perde-se não apenas seu potencial de absorção de CO₂, como também ocorrem emissões do CO₂ estocado ao longo de décadas e séculos, seja por meio da queima direta de sua matéria, seja por meio da decomposição de sua matéria orgânica.

No que diz respeito ao uso do solo e à urbanização, é crucial compreender a importância do desmatamento da vegetação nativa e dos incêndios florestais,

frequentes tanto nas unidades de conservação quanto no perímetro urbano, que prejudicam as ações de neutralização decorrentes do crescimento anual da biomassa da vegetação. As emissões resultantes do processo de desmatamento, portanto, da mudança de uso do solo, assim como as provenientes das queimadas, são superiores às remoções decorrentes do processo de regeneração e do plantio de novas espécies vegetais (Figura 2). Daí a importância da preservação ambiental e das medidas de controle de desmatamento e queimadas, além dos processos de restauração e incremento da arborização urbana como um mecanismo de manutenção dos estoques de carbono presentes nos sumidouros.

Figura 2. Mapa de cadeia causal identificando os principais elementos que contribuem nas emissões que são oriundos das ações governamentais e as ações que poderão ajudar a neutralizar essas emissões para o Setor Mudança de Uso do Solo e Urbanização.



Fonte: Elaboração Própria, 2023

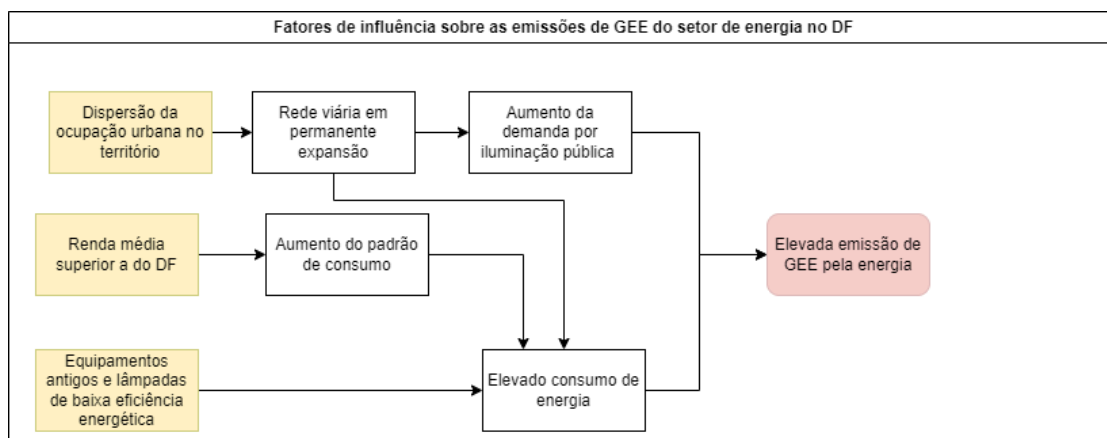
5.3. Consumo energético

No que se refere ao consumo energético, a renda média superior do DF em relação à média nacional repercute no maior número de aparelhos eletrodomésticos, refrigeração residencial, maior tempo de utilização de chuveiros, resultando em um elevado consumo de energia e, conseqüentemente, em uma maior emissão de GEE. Por outro lado, na população de mais baixa renda, a presença de equipamentos

antigos e lâmpadas de baixa eficiência energética podem contribuir para esse mesmo resultado de elevado consumo de energia.

Além disso, a forma urbana, refletida na dispersão da ocupação urbana pelo território, implica um aumento na demanda por iluminação pública e na constante necessidade de ampliação da rede, acompanhando a rede viária e rodoviária em permanente expansão, o que também resulta em uma elevada emissão de GEE (Figura 3).

Figura 3. Mapa de cadeia causal identificando os principais elementos que contribuem nas emissões que são oriundos das ações governamentais e as ações que poderão ajudar a neutralizar essas emissões para o Consumo Energético.



Fonte: Elaboração Própria, 2024

5.4. Resíduos

As emissões do setor de resíduos também estão relacionadas à forma urbana: a dispersão da ocupação urbana no território dificulta a coleta seletiva pelas cooperativas. Esse problema é observado no DF nas Regiões Administrativas com ocupação extensiva do solo e menores densidades demográficas. A urbanização menos compacta e o espraiamento urbano também implicam em maiores distâncias percorridas no processo de coleta do lixo em direção à reciclagem ou ao aterro. Isso leva a um alto consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a uma elevada emissão de GEE pela queima desses combustíveis.

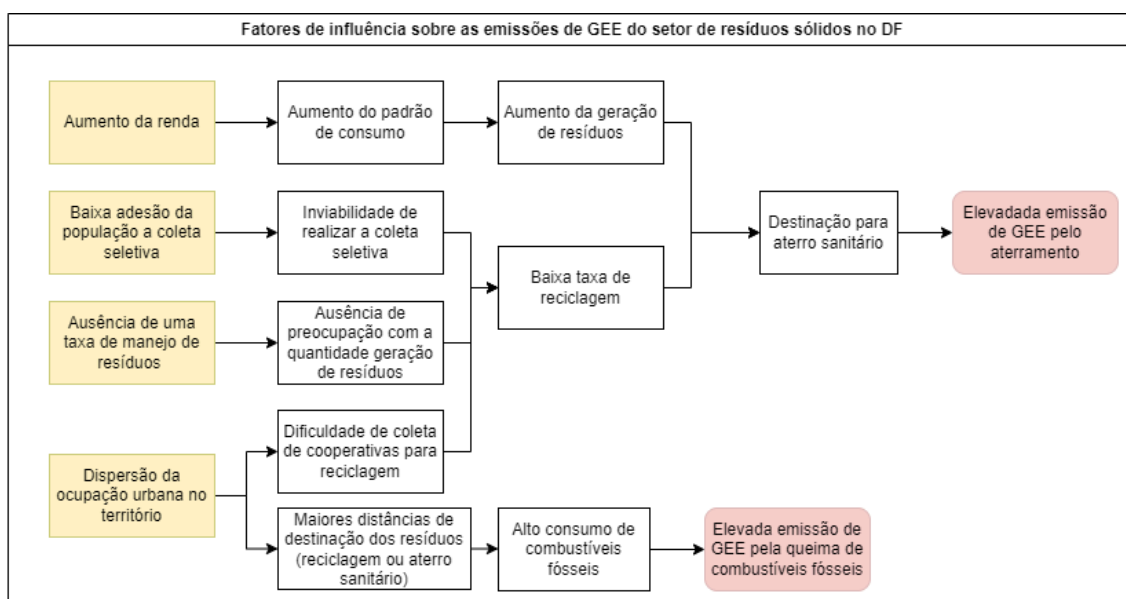
Além disso, existe uma baixa consciência da população em relação à produção de resíduos, uma vez que não é aplicada taxa de manejo de resíduos sólidos conforme definido no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o que reduz a preocupação da população com a quantidade de resíduos sólidos gerados, em

RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF

Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

especial quando o aumento da renda implica o aumento do padrão de consumo e a geração de resíduos. Tais aspectos contribuem para a baixa adesão da população à coleta seletiva, resultando em uma baixa taxa de reciclagem. Isso significa que a maior parte dos resíduos sólidos produzidos no DF é destinada ao aterro sanitário, o que também contribui para a elevada emissão de GEE (Figura 4).

Figura 4. Mapa de cadeia causal identificando os principais elementos que contribuem nas emissões que são oriundos das ações governamentais e as ações que poderão ajudar a neutralizar essas emissões para o Setor Resíduos.



Fonte: Elaboração Própria, 2023

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa constatou que as remoções anuais das diferentes formações florestais urbanas não são suficientes para neutralizar as emissões dos seus habitantes, decorrentes dos deslocamentos casa-trabalho, consumo energético e produção de resíduos, tanto por habitante como em toda a Região Administrativa.

Conclui-se também que as áreas com a maior renda média familiar do DF e maior padrão de consumo são as áreas com maior emissão de GEE por habitante. Isso significa reconhecer que certos grupos de menor renda frequentemente contribuem menos para as emissões de gases de efeito estufa, mas são os mais afetados pelos impactos das mudanças climáticas.

Existem ações que constituem uma forma de atender a uma camada da população de alta renda e com bastante influência na tomada de decisões, fundamentalmente com alto padrão de consumo, vivendo em áreas valorizadas e muitas vezes distantes do local de trabalho, fazendo uso do transporte individual e, portanto, de acordo com medidas rodoviaristas, mas que eventualmente não se dão conta dos seus impactos na geração de GEE.

Por outro lado, há um conjunto de propostas subvalorizadas, relacionadas à mobilidade ativa, à melhoria do transporte coletivo, que afetam a parcela de mais baixa renda, à preservação e recuperação das áreas ambientalmente sensíveis, bem como medidas de adaptação aos impactos climáticos como o incremento das florestas urbanas nas cidades do DF. Todas, muitas vezes desvalorizadas pela população e, portanto, objeto de baixos investimentos.

Assim, a justiça climática será alcançada pelo enfrentamento das desigualdades sociais e econômicas e os os principais mecanismos destinados ao cumprimento das metas de redução passam pela reproposta de padrões de consumo e de deslocamento no DF.

7. REFERÊNCIAS

AMARAL, R.; BAPTISTA, G. M. M.; BEZERRA, M. C. L. Identifying carbon sinks with the use of hyperspectral images: a potential tool for landscape planning. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-3/W12, p. 465–469, 6 nov. 2020.

AMARAL, R.; COSTA, S. D. A. P.; MUZZI, M. R. S. O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte: por um sistema de espaços livres mais eficiente no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos. **Paisagem e Ambiente**, n. 39, p. 163, 2017.

AMARAL, R.; DE LIMA BEZERRA, M. DO C.; DE MELLO BAPTISTA, G. M. Landscape planning and design by identifying areas for ecological restoration based on carbon fluxes. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, 16 maio 2022.

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. **Geografia**, v. 2, n. 29, 2004.

BRASIL. Ferramenta GRS GEE do **Projeto ProteGEEr**. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer>>. Acesso em: 2 fev. 2024.

CAICHE, D. T.; PERES, R. B.; SCHENK, L. B. M. Floresta urbana, soluções baseadas na natureza e paisagem: Planejamento e projeto na cidade de São Carlos (SP). **Labverde**, v. 11, n. 1, p. 121–149, 2021.

CALDEIRA, T. P. DO R. **Cidade de Muros: Crime, Segregação e Cidadania em São Paulo**. São Paulo: Editora 34/Edusp, 2000.

COSTA, S. DE A. P.; NETTO, M. M. G. **Fundamentos de morfologia urbana**. [s.l.] C/Arte, 2015.

GIEGRICH, J. **MANUAL DA CALCULADORA DE EMISSÕES DE GEE PARA RESÍDUOS Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU para o Brasil – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/copy_of_ManualdaFerramentadeGEE_02.08.2021.pdf. Acesso em: 12/12/2023.

HOPKINS, M. I. W. Vegetation as a component of urban form. **Urban Morphology: Journal of the International Seminar on Urban Form**, v. 17, p. 59, 2013.

IPEDF CODEPLAN. **Termo de Referência - Índice de avaliação de emissões de GEE de ações governamentais**. Brasília. Disponível em: <https://www.ipe.df.gov.br/wp-content/uploads/2023/09/Termo-de-Referencia_Indice-

RELATÓRIO 2: PADRÃO DE EMISSÕES DAS DIFERENTES ÁREAS DO DF
Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

de-avaliacao-de-emissoes-de-GEE-de-aco-es-governamentais.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

MCHARG, I. L. **Design with Nature**. New York: American Museum of Natural History, 1969.

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/4782>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

IPEDF Codeplan. **PDAD 2021. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios**. Disponível em: <<https://www.codeplan.df.gov.br/pdad-2021-3/>>. Acesso em: 27 fev. 2024.

PELLEGRINO, P. Paisagem como infraestrutura ecológica: a floresta urbana. In: PELLEGRINO, P.; N. B. MOURA (Eds.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri: Manole, 2017. p. 63–78.

PESCATORI, C. Cidade compacta e cidade dispersa: ponderações sobre o projeto do Alphaville Brasília. **ANPUR**, v. 17, p. 62, 2015.

SCHEUER, S.; DAVIES, C.; ROITSCH, D. Governance, institutional and economic frameworks for Urban Forests as a Nature-Based Solution in Europe. **Journal of Environmental Management**, v. 354, 2024.

SEDUH. **Cobertura arbórea-arbustiva urbana**. Brasília: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação, 2018. Disponível em: <<http://www.observatorioterritorial.seduh.df.gov.br/cobertura-arborea-arbustiva-urbana/>>. Acesso em: 2 fev. 2024.

SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SEMA. **Inventário do Distrito Federal de Emissões GEE antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa**. Brasília: Secretaria do estado do meio ambiente do Distrito Federal e Governo do Distrito Federal, 2021.

WANG, C. et al. Strategies for spatial analysis of carbon emissions from human-social systems: A framework based on energy consumption and land use. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, 6 set. 2022.

ZHANG, B.; XIE, Z.; JIXI, G. Assessment on the carbon fixation of urban forests and their efficacy on offsetting energy carbon emissions in Shanghai. **Acta Ecologica Sinica**, n. 41(22), 2021.