



FUNDAÇÃO UNIRG
UNIVERSIDADE DE GURUPI - UNIRG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TÁSSIO SILVA RODRIGUES

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM UMA REGIÃO
URBANA DE GURUPI, TOCANTINS, BRASIL.**

GURUPI - TO
MAIO DE 2024

TÁSSIO SILVA RODRIGUES

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM UMA REGIÃO
URBANA DE GURUPI, TOCANTINS, BRASIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel/ em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade de
Gurupi - UNIRG

Orientadora: Prof(a).Me Camila Ribeiro Rodrigues

**GURUPI - TO
MAIO DE 2024**

TÁSSIO SILVA RODRIGUES

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM UMA REGIÃO URBANA DE GURUPI, TOCANTINS, BRASIL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Unirg – Universidade de Gurupi, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Camila Ribeiro Rodrigues

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Unirg - Universidade de Gurupi
Professor e Mestre Camila Ribeiro Rodrigues
Orientador

Banca Examinadora
Unirg – Universidade de Gurupi

Banca Examinadora
Unirg – Universidade de Gurupi

Eu, Tássio dedico

*Aos meus pais **Ibiapino Rodrigues Neto, Doralice Maria Silva Rodrigues***

*A minha avó **Maria Rodrigues Viana***

*(In memory) Ao meu avô **Verissimo Marciel Viana***

*As minhas irmãs e sobrinhos **Taciana Silva Rodrigues, Tassia Cristina Silva Rodrigues, Thomas***

Kendal Rodrigues Milhomem Viana e José Henrico Silva Rodrigues

*Minha amada **Jayne Sousa Lima Dantas***

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao onipotente Deus, por toda a sua graça derramada em minha vida até agora. À minha família e amigos que sempre me deram forças para não fraquejar.

A todo o corpo docente desta instituição, em especial à minha orientadora Camila Ribeiro e ao coordenador do curso Fabiano Fagundes, por não medirem esforços para fazer deste curso um dos melhores.

Aos meus colegas de estudo, que enfrentaram junto comigo essa batalha.

E à minha amada Jaynne Dantas, por todo apoio e paciência ao longo dos anos.

RESUMO

O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais gases de efeito estufa que influenciam o clima do nosso planeta. Presente naturalmente na atmosfera, suas altas concentrações são grandes contribuintes para as mudanças climáticas e estão associadas a doenças respiratórias que impactam direta e indiretamente a saúde global. Desde a revolução industrial, houve um aumento alarmante nos níveis de gases de efeito estufa (GEE), incluindo o CO₂. A construção civil, por exemplo, é citada como uma das áreas com a maior liberação desses gases de efeito estufa na atmosfera; só na Europa, as emissões de CO₂ da indústria da construção representam cerca de 30% do total, com a indústria do cimento contribuindo com 7% desse montante. O objetivo deste artigo é mensurar e avaliar de forma quantitativa a concentração dos níveis de dióxido de carbono em uma região urbana da cidade de Gurupi, no estado do Tocantins, Brasil. Além disso, foi realizada uma comparação entre o CO₂ presente em dois canteiros de obras com os níveis encontrados na região central e o outro em uma área mais arborizada da cidade. Para a coleta dos dados, foi utilizado o JD-3002 Air Quality Tester, um dispositivo multifuncional capaz de medir os níveis de CO₂ na atmosfera. Com os resultados obtidos, observou-se uma média de 404 ppm na concentração de dióxido de carbono nos quatro locais avaliados. Embora exista uma diferença entre os níveis de CO₂ nos canteiros de obras em relação à área periférica com alta arborização, essa diferença não foi considerada significativa. Contudo, observou-se uma estreita relação entre os níveis de CO₂ presentes no ar e a ventilação do local. Por exemplo, o prédio em construção com circulação de ar limitada apresentou os mais altos níveis desse gás em seu microclima. Além de ficar por mais tempo suspenso no ar, os níveis de CO₂ sempre aumentavam quando se produzia a pasta de cimento ou o concreto.

Palavras Chaves: Dióxido de Carbono, Construção Civil, Canteiro de Obras.

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) is one of the main greenhouse gases that influence the climate of our planet. Naturally present in the atmosphere, its high concentrations are major contributors to climate change and are associated with respiratory diseases that impact global health directly and indirectly. Since the industrial revolution, there has been an alarming increase in the levels of greenhouse gases (GHGs), including CO₂. Civil construction, for example, is cited as one of the areas with the highest release of these greenhouse gases into the atmosphere; in Europe alone, CO₂ emissions from the construction industry represent about 30% of the total, with the cement industry contributing 7% of that amount. The objective of this article is to measure and quantitatively assess the concentration of carbon dioxide levels in an urban region of the city of Gurupi, in the state of Tocantins, Brazil. In addition, a comparison was made between the CO₂ present at two construction sites with the levels found in the central region and another in a more wooded area of the city. For data collection, the JD-3002 Air Quality Tester, a multifunctional device capable of measuring CO₂ levels in the atmosphere, was used. With the results obtained, an average of 404 ppm in carbon dioxide concentration was observed in the four locations evaluated. Although there is a difference between the CO₂ levels at the construction sites compared to the peripheral area with high tree density, this difference was not considered significant. However, a close relationship was observed between the CO₂ levels present in the air and the ventilation of the place. For example, the building under construction with limited air circulation showed the highest levels of this gas in its microclimate. In addition to remaining suspended in the air for longer, CO₂ levels always increased when producing cement paste or concrete.

Keywords: Carbon Dioxide, Civil Construction, Construction Site.

LISTA DE TABELAS

GRÁFICO 01: Concentração de gás carbônico no centro urbano (CU) de Gurupi-TO, por data de análise.

GRÁFICO 02: Concentração de gás carbônico em Área Periférica Arborizada (APA) de Gurupi-TO por data de análise.

GRÁFICO 03: Concentração de gás carbônico em Canteiro de Obras com Galpão Ventilado (COGV) na cidade de Gurupi-TO por data de análise.

GRÁFICO 04: Concentração de gás carbônico em um Edifício em Construção com Ventilação Restrita na cidade de Gurupi-TO por data de análise.

GRÁFICO 05: Concentração de gás carbônico em todos os pontos avaliados.

LISTA DE SIGLAS

APA - ÁREA PERIFÉRICA ARBORIZADA

CO2 - GÁS CARBÔNICO

COGV - CANTEIRO DE OBRAS COM GALPÃO VENTILADO

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

CU - CENTRO URBANO

ECVR - EDIFÍCIO EM CONSTRUÇÃO COM VENTILAÇÃO RESTRITA

GEE - GÁS DE EFEITO ESTUFA

IPCC - INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

PNMC - POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA

PPM - PARTES POR MILHÃO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 JUSTIFICATIVA.....	13
3 OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
5 MATERIAL(IS) E MÉTODOS.....	18
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

O gás carbônico (CO₂) também conhecido como dióxido de carbono, é um composto químico essencial para diversos processos naturais e industriais no planeta Terra, ele está presente naturalmente na atmosfera terrestre, sendo vital para a vida e participando do processo de fotossíntese das plantas. Contudo, na atmosfera ele é um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global quando presente em altas concentrações.

Segundo o IPCC (2021), o CO₂ é classificado como um Gás de Efeito Estufa (GEE) de longa duração, isso significa que ele pode permanecer por séculos na atmosfera e nos oceanos. Entretanto, mesmo que parte desse gás seja proveniente de processos naturais, sua maior parte ainda provém de fatores antropogênicos, através de indústrias e a queima de combustíveis fósseis.

Como citado por Stachera (2008), a indústria da construção civil é um dos setores com a maior emissão de gases causadores do efeito estufa, sendo o setor com um consumo médio de 75% dos recursos naturais disponíveis no planeta, nas cidades europeias por exemplo a emissão de CO₂ pelas indústrias da construção corresponde aproximadamente a 30% do total de emissões, somente a indústria da produção do cimento é responsável por 7% das emissões de CO₂. Já no Brasil, há poucos estudos relevantes sobre as emissões provenientes do setor de produção de materiais de construção, mesmo com várias instituições que analisam e se preocupam com as questões ambientais e sustentáveis no país.

Uma dessas instituições criadas é a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, que oficializou o compromisso nacional para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, onde estabeleceu metas para o Brasil até o ano de 2020. Essa mesma lei orienta as necessidades e objetiva compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com as questões ambientais, como a diminuição das emissões antropogênicas de diferentes fontes desses gases.

O acúmulo excessivo de CO₂ na atmosfera não prejudica somente a fauna e a flora, ele pode comprometer também a saúde humana, causando várias patologias pulmonares e até mesmo cardíacas, podendo levar o ser humano a hospitalizações ou até à morte, como mencionado por Silva et al (2016). No campo da construção

civil também podemos citar prejuízos para as construções, como é o caso da carbonatação, que é o fenômeno onde ocorre a diminuição do pH dos materiais cimentícios do concreto, causada pela reação físico-química entre os compostos hidratados do cimento e o gás carbônico presente na atmosfera, levando à despassivação do concreto e à corrosão do aço.

Visando à constante expansão da construção civil, e o déficit na mensuração dos GEE na atmosfera, é possível perceber a extrema importância da realização de estudos que visem minimizar os danos causados pela área. O presente estudo tem o intuito de mensurar quantitativamente o nível de CO₂ presente na atmosfera, para melhor qualidade dos dados quatro locais foram escolhidos na cidade de Gurupi-TO, Brasil, para que se tenha uma comparação entre os diferentes setores onde o estudo será realizado.

Gurupi é a terceira maior cidade do estado do Tocantins, sendo o polo regional de todo Sul do estado. As principais fontes de renda do município são a pecuária, a agricultura e o comércio. Localiza-se ao sul do Tocantins, a 214 km de Palmas, Capital do Estado do Tocantins, e a 596 km de Brasília. Fica no limite divisório de águas entre o Rio Araguaia e o Rio Tocantins, às margens da BR-153. Em 2022, a área do município era de 1.844,164 km², o que o coloca na posição 48 de 139 entre os municípios do estado e 813 de 5570 entre todos os municípios. Em 2021, o PIB per capita era de R\$ 29.950,02. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 51 de 139 entre os municípios do estado e na 2137 de 5570 entre todos os municípios. Em relação ao meio ambiente ele apresenta 42% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 88,7% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 0,4% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada segundo o site do IBGE (2022).

O presente artigo trata-se de um estudo de campo com uma abordagem quantitativa, pois visa mensurar o nível de CO₂ presente na atmosfera em quatro pontos específicos da cidade de Gurupi-To. Devido ao gás carbônico ser o mais importante dos GEE, e sua estreita relação com a construção civil ele foi escolhido como objeto de estudo. Outro fator preponderante para a escolha desse tema é a falta de análises da concentração desses gases em municípios de pequeno porte, já que a maioria dos artigos tem seu foco em grandes cidades ou em regiões rurais do país.

Contudo, apesar de uma maior preocupação ambiental a nível global e nacional, a indústria brasileira da construção civil está “longe” do que seria um processo que desenvolva produtos ecologicamente corretos para o mercado consumidor. Mesmo com algumas iniciativas como normas legislativas para a separação e reciclagem de entulho (Resolução 307/2002 do CONAMA). A construção civil possui uma parcela significativa na economia e geração de empregos, porém nesse setor existe uma utilização intensa de recursos naturais e geração de poluentes. Já no que se refere às emissões de GEE na produção de materiais de construção, os impactos ambientais causam problemas tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento (STACHERA, 2008).

2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, é reconhecido que o efeito estufa é um fenômeno natural que acontece na atmosfera do planeta devido à existência de certos gases, conhecidos como gases de efeito estufa. Esse fenômeno natural é essencial para manter a temperatura da Terra em níveis adequados para a vida humana. No entanto, desde a revolução industrial, observa-se um incremento desses gases acima dos níveis naturais. Entre eles, destacam-se o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), entre outros. O CO₂, ou gás carbônico, é particularmente preocupante devido à sua estabilidade, podendo permanecer na atmosfera por mais de um século, tornando sua acumulação potencialmente perigosa, especialmente porque não se decompõe como os outros gases (JUNGES et al., 2018).

Conforme Potenza (2023), o setor da energia é identificado como o principal emissor de gases de efeito estufa (GEE), juntamente com a agropecuária e as alterações no uso de terras e florestas. No âmbito energético, a construção civil merece destaque, principalmente no que se refere à produção de aço e cimento, responsáveis por uma significativa emissão de GEE. Contudo, apesar dessas informações, ainda são necessários mais estudos sobre a emissão de poluentes na construção civil. Não está claro em qual etapa da produção esses gases são mais emitidos, desde a extração das matérias-primas até a finalização do edifício, onde diversos processos químicos ocorrem.

Além de ser altamente nocivo ao meio ambiente, o gás carbônico em altas concentrações também é prejudicial à saúde humana, levando ao desenvolvimento de doenças e ao aumento de hospitalizações (SILVA et al., 2016). Ele também afeta negativamente o concreto, como é o caso da carbonatação onde existe uma reação do CO₂ atmosférico com os compostos da pasta de cimento, levando à formação de carbonato de cálcio (CaCO₃) e à redução do pH do concreto. Isso pode levar à corrosão do aço de reforço dentro do concreto armado diminuindo sua resistência a tração (SILVA et al., 2020).

Dessa forma, considerando a intensa liberação de CO₂ pelo setor da construção civil, os danos causados por esse gás e a escassez de dados sobre o tema, surgiu o interesse em investigar a concentração de dióxido de carbono em

áreas específicas da cidade de Gurupi-TO, comparando locais de construção com outras regiões urbanas.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as variações de Concentração de Dióxido de Carbono (CO₂) em Diferentes Áreas Urbanas de Gurupi-TO

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificar a concentração de CO₂ nos quatro pontos escolhidos.
- b) Comparar as variações de concentração entre os locais analisados.
- c) Verificar a existência de altos níveis de concentração de gás carbônico nos canteiros de obra das construções analisadas.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A preocupação com a sustentabilidade e os impactos ambientais já vem sendo discutida há muito tempo, porém ganhou notoriedade na década de 1980, quando a influência antrópica nas mudanças climáticas foi objeto de estudo no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), criado em 1988 pela Organização das Nações Unidas (ONU), o IPCC tornou-se referência para que países elaborem inventários de emissão de gases de efeito estufa. Já em 1997 durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas surgiu o Protocolo de Quioto, quando mais de 30 países se comprometeram a diminuir a emissão de gases causadores do processo de aquecimento global (KOZLOSKI, 2020).

No Brasil, a poluição atmosférica é determinada pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar, conforme a Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 (BRASIL, 2018), que define como poluente qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que possam tornar o ar impróprio à saúde, danoso aos materiais, à fauna, flora ou prejudicial à segurança nas atividades normais da comunidade.

Segundo Stoco (2022), dentre as recomendações publicadas pelo IPCC, podemos citar as subdivisões de fontes emissoras de gases de efeito estufa (GEE), sendo elas: O setor de energia, que compreende todas as emissões de poluentes, onde podemos apontar as emissões oriundas da área da construção civil; Setor de processos industriais, que engloba a indústria mineral, química, metalúrgica, solventes e eletrônicos; Agropecuária, que engloba o manejo de animais, cultivo de arroz entre outros; Uso de terras, mudanças do uso de terras e florestas e o Setor de resíduos, que contempla as emissões geradas pelas disposições de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração e queima.

Apesar do efeito estufa ser um fenômeno natural e necessário para a manutenção da vida na terra, sendo ele responsável por captar e reter parte da energia emitida pelo sol, o aumento crescente da concentração de moléculas dos GEE, em quantidades maiores que as absorvidas pelos sistemas naturais, vem sendo a causa do fenômeno do aquecimento global. Os gases internacionalmente reconhecidos como gases de efeito estufa regulados pelo Protocolo de Quioto, a

saber, são: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hexafluoreto de enxofre (SF₆); hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) (SILVA, 2014).

Segundo Peixoto (2022), o gás carbônico é o mais importante GEE, contribuindo com 66% do aumento dos GEE de longa duração, de acordo com o IPCC as concentrações desse gás vêm aumentando desde a década de 1750, devido às atividades humanas. No ano de 2018 a concentração global de CO₂ foi de 407,8 partes por milhão (ppm), atingindo assim 147% do nível pré-industrial que era de 278 ppm, tendo como principais causas a queima de combustíveis fósseis, desmatamento, mudanças no uso da terra e a produção de cimento.

As principais causas das mudanças climáticas desde a revolução industrial são majoritariamente causadas por fontes energéticas poluentes não renováveis, fomentadas pelos processos industriais. Nesse sentido, o setor da construção civil destaca-se como um dos maiores emissores de GEE entre as fontes antropogênicas, principalmente quando se refere à produção dos materiais utilizados nas construções das edificações, sendo considerado desde a extração da matéria prima, transporte, manufatura do material até o resultado da obra pronta (PEREIRA, 2014).

Seja nas etapas iniciais, desde a extração da matéria prima como na construção ou nas etapas finais do projeto, a construção civil é um setor produtivo com alta demanda de recursos naturais, apresentando um consumo de 30% de energia direta e 50% de energia indireta. Em relação a sua participação na emissão de GEE globais, a construção civil é responsável por aproximadamente 30% do total de CO₂ emitido à atmosfera. Na indústria o Brasil registrou uma emissão de 22,048 milhões de toneladas de CO₂eq, só na produção de cimento, perdendo somente para a produção de ferro-gusa e aço, com aproximadamente 35,437 milhões de toneladas de CO₂eq (SILVA, 2014).

Na saúde a ação desse gás pode causar prejuízos irreversíveis, os produtos provenientes da queima de combustível fóssil ficam dispersos na atmosfera podendo ser inalados comprometendo o bom funcionamento de todo um sistema respiratório. Os efeitos da exposição a esses poluentes atmosféricos sobre o corpo humano podem provocar interações ou até patologias graves levando a morte do indivíduo exposto a esses poluentes (JASINSKI et al, 2011; BUENO et al, 2010).

Já na construção civil o CO² também pode ser danoso para as edificações, como é o caso da carbonatação, que em termos gerais pode ser descrito como o processo que ocorre quando o dióxido de carbono (CO₂) do ar penetra no concreto e reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) presente na pasta de cimento. Isso resulta na formação de carbonato de cálcio (CaCO₃), reduzindo o pH do concreto e comprometendo a camada passiva que protege o aço da corrosão. O processo de carbonatação avança do exterior para o interior do concreto, e quando atinge as armaduras, pode iniciar a corrosão do aço diminuindo assim sua seção (VALENÇA, 2016).

Para mitigar os danos ocasionados pela poluição atmosférica, é crucial que se identifique as principais fontes de contaminação e monitorar os seus níveis de emissão a que a população está exposta. A Organização Mundial da Saúde (OMS) tem estabelecido valores limites de exposição, contudo, foi dada a cada país a autonomia de construir suas próprias referências. Para a elaboração desses critérios, cada nação tem que levar em consideração não somente os danos à saúde populacional, como também os perigos que estes poluentes podem oferecer para a fauna, a flora, corpos d'água e ao patrimônio público e privado, pois alguns desses exemplos, seja ele natural ou feito pelo homem, podem ser mais vulneráveis a certas quantidades de poluentes do que o próprio homem (PEIXOTO, 2022).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizamos as medições de qualidade do ar em quatro locais distintos em Gurupi-TO para capturar uma gama representativa das condições ambientais da cidade. A primeira medição ocorreu no centro urbano, caracterizado por sua densidade e atividade. A segunda, em uma área periférica com alta arborização, reflete uma região menos desenvolvida, mas com benefícios de vegetação. As duas últimas medições foram conduzidas em canteiros de obras: uma ao ar livre em um galpão bem ventilado, e a outra em um prédio em construção, onde a circulação de ar é limitada.

As amostras foram coletadas em três datas distintas: 19 de abril, 25 de abril e 03 de maio de 2024, sempre no intervalo das 15h às 16h. Nos locais particulares foi solicitado a autorização do responsável imediato do local. Para que se tenha uma maior precisão da coleta, o detector de qualidade do ar jd-3002 foi ativado por 10 minutos para garantir a consistência dos dados e uma boa análise estatística.

Para a coleta de dados utilizamos o jd-3002 Air Quality Tester, um dispositivo multifuncional capaz de medir CO₂, HCHO, TVOC, temperatura e umidade. O aparelho também classifica a qualidade do ar em três categorias: excelente, bom e poluído. No entanto, para este estudo, focamos exclusivamente na medição dos níveis de CO₂.

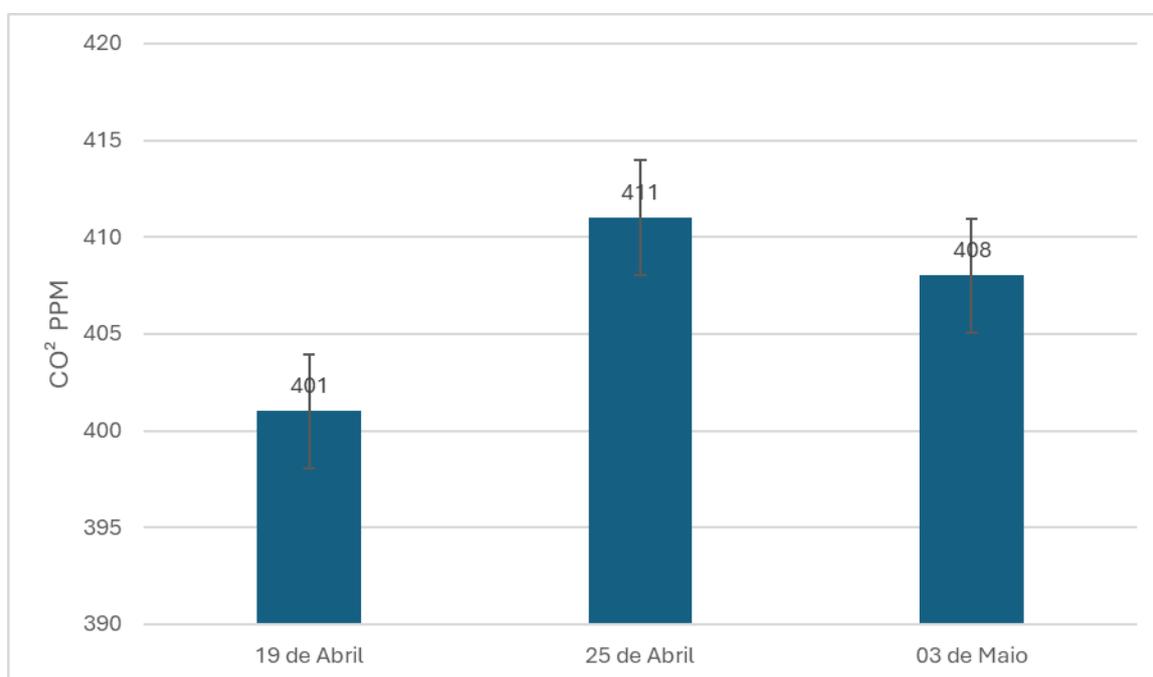
Quanto ao método, trata-se de um estudo de campo com uma abordagem quantitativa. Para a análise estatística foi utilizado o Microsoft Excel para a elaboração de gráficos e tabelas. Uma revisão bibliográfica também foi realizada para contextualizar e discutir os resultados obtidos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As coletas foram realizadas durante os meses de abril e maio, em quatro locais específicos na cidade de Gurupi-TO, Brasil. Para facilitar a análise dos dados, adotaremos abreviações para cada ponto de coleta conforme a terminologia já estabelecida. Assim, temos: Centro Urbano (CU), Área Periférica Arborizada (APA), Canteiro de Obras com Galpão Ventilado (COGV) e Edifício em Construção com Ventilação Restrita (ECVR).

No Centro Urbano (CU), observamos resultados variados nas medições de concentração de CO₂. Em 19 de abril, registramos 401 ppm; em 25 de abril, 411 ppm; e em 03 de maio, 408 ppm. A média dessas medições foi de 406,67 ppm, com um desvio padrão de 4,18 ppm. Para melhor compreender a dinâmica das emissões de CO₂ ao longo do período de coleta no CU, elaboramos um gráfico que ilustra as flutuações observadas e possibilita a identificação de tendências ou padrões nas variações das concentrações.

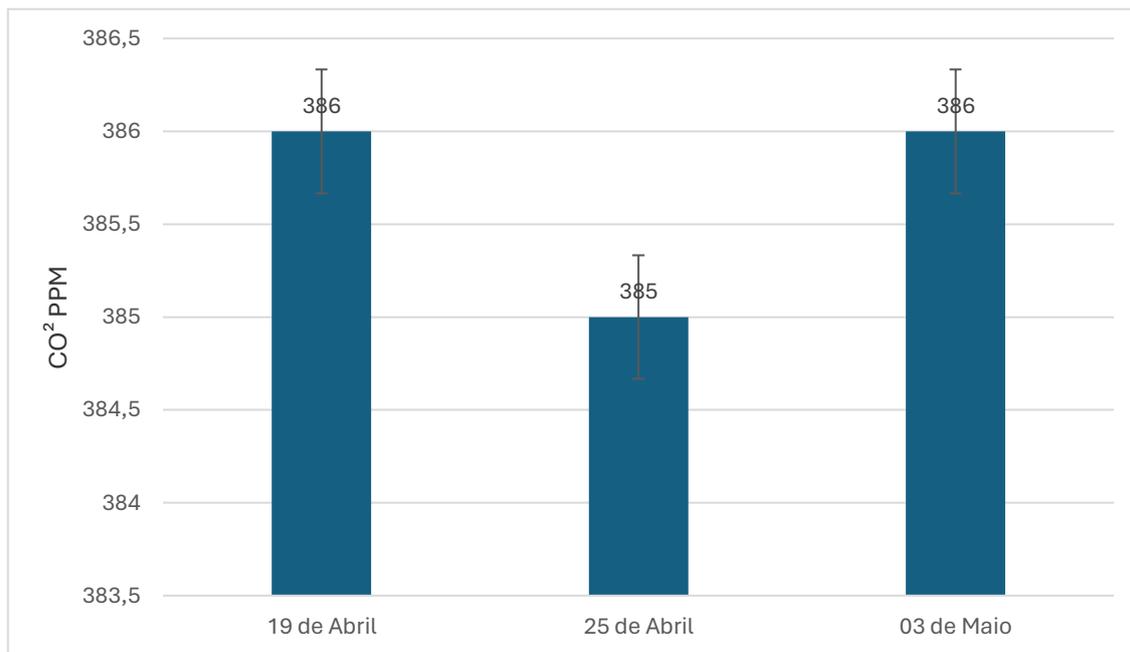
GRÁFICO 01: Concentração de gás carbônico no centro urbano (CU) de Gurupi-TO, por data de análise.



FONTE: Próprio autor

Na Área Periférica Arborizada (APA), as medições de dióxido de carbono apresentaram pouca variação, com 386 ppm registrados em 19 de abril, 385 ppm em 25 de abril, e novamente 386 ppm em 03 de maio. A média calculada desses valores foi de 385,67 ppm, e o desvio padrão, extremamente baixo, ficou em 0,47 ppm. O Gráfico 02 oferece uma visualização detalhada dessas variações, permitindo uma análise mais aprofundada dos dados coletados.

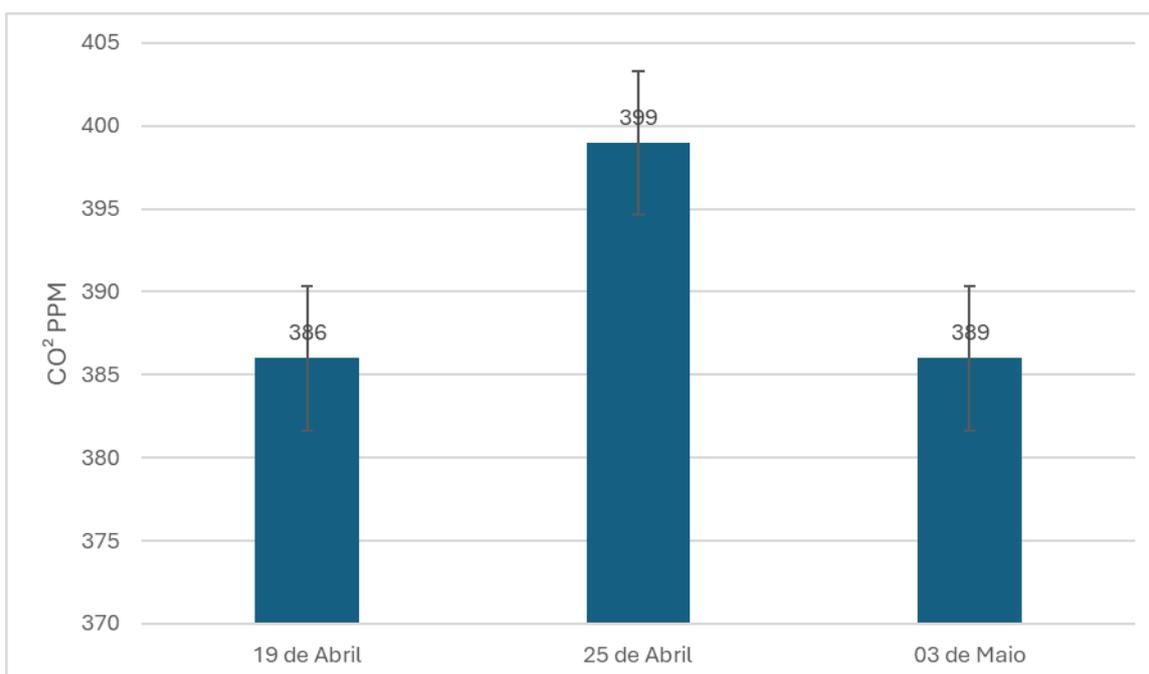
GRÁFICO 02: Concentração de gás carbônico em Área Periférica Arborizada (APA) de Gurupi-TO por data de análise.



FONTE: Próprio autor

No terceiro local de coleta, Canteiro de Obras com Galpão Ventilado (COGV), os valores encontrados para os três dias de observação foram de 386 ppm para o dia 19 de abril, 399 ppm para o dia 25 de abril e 389 ppm para o dia 03 de maio. A média entre os valores foi de 391,33 ppm, e o desvio padrão ficou de 5,56 ppm. Como mostra no gráfico 03.

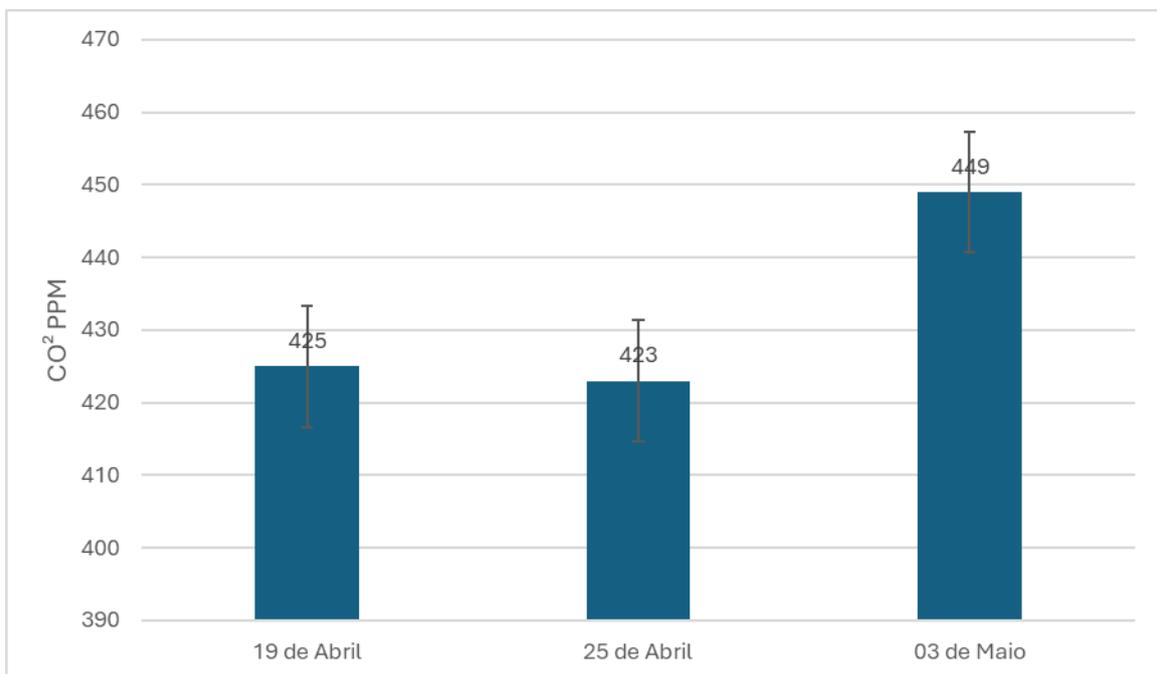
GRÁFICO 03: Concentração de gás carbônico em Canteiro de Obras com Galpão Ventilado (COGV) na cidade de Gurupi-TO por data de análise.



FONTE: Próprio autor

E por fim, o Edifício em Construção com Ventilação Restrita (ECVR), que foi nosso quarto local de coleta de dados, ficou com os seguintes valores, 425 ppm no dia 19 de abril, 423 ppm no dia 25 de abril e 449 ppm no dia 03 de maio. A média entre os valores ficou de 432,33 ppm, e o desvio padrão ficou de 11,81 ppm. Como mostra o gráfico 04.

GRÁFICO 04: Concentração de gás carbônico em um Edifício em Construção com Ventilação Restrita na cidade de Gurupi-TO por data de análise.



FONTE: Próprio autor

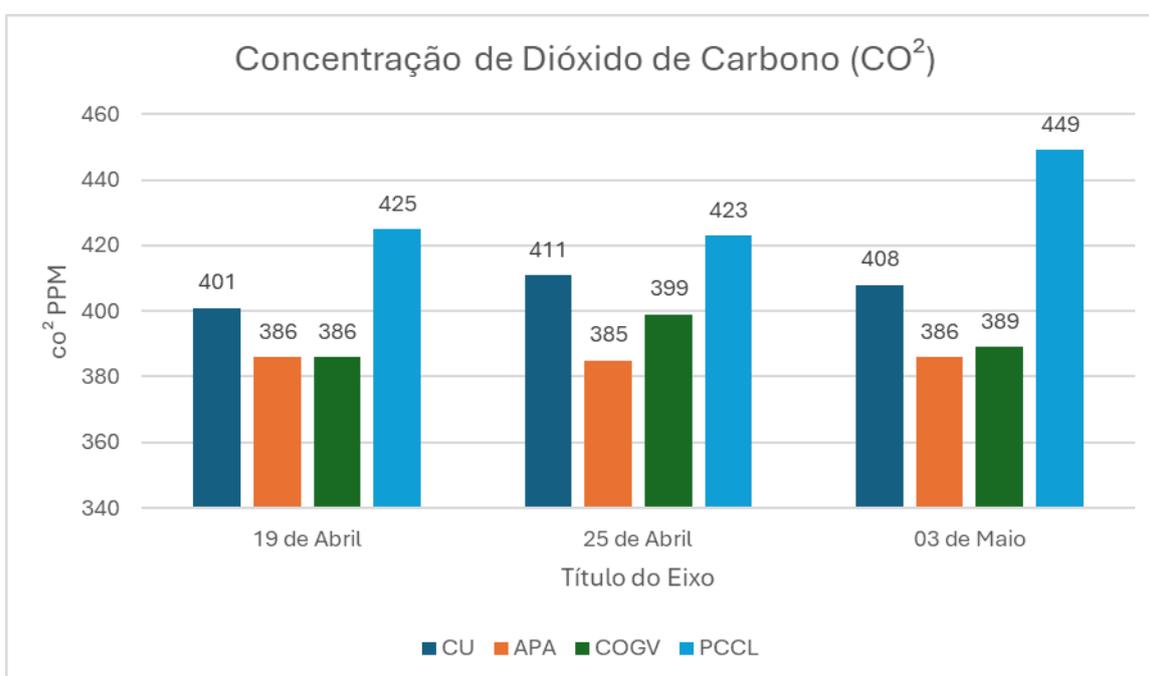
Nos quatro locais estudados, identificamos uma concentração média de CO₂ de 404 ppm, com uma mediana de 400 ppm e uma moda de 386 ppm. O desvio padrão observado foi de 19,33 ppm. O local que apresentou os maiores níveis de CO₂ foi o edifício em construção com ventilação restrita, enquanto a área periférica arborizada registrou os menores valores. Interessante notar que não houve diferença significativa entre o centro urbano e o canteiro de obras com galpão ventilado.

Observamos que a concentração de CO₂ pode flutuar conforme a intensidade do vento, ventos mais fortes tendem a dispersar o gás, reduzindo sua concentração no ambiente. Em ambientes fechados, como o edifício em construção com

ventilação restrita, a concentração de CO₂ se manteve mais alta e estável durante o período de coleta de dados.

Durante a coleta de dados no canteiro de obras com galpão ventilado, observou-se um aumento notável nos níveis de CO₂ quando os funcionários utilizaram uma combinação de thinner e óleo queimado para o desmolde das peças do calçamento. Especificamente, a concentração de CO₂ atingiu um pico de 1311 ppm, um nível significativamente elevado que se manteve estável por um intervalo de tempo antes de retornar aos padrões habituais.

GRÁFICO 05: Concentração de gás carbônico em todos os pontos avaliados.



FONTE: Próprio autor

Ao analisar nossos resultados em comparação com os dados obtidos por Castelo (2022), que avaliou a concentração atmosférica de dióxido de carbono em São Paulo, observou-se que ele registrou uma média de 418 ppm no final de 2021. Isso representa uma discrepância de 14 ppm em relação ao nosso estudo. Em contraste, Stoco (2022) realizou medições similares em dois locais diferentes na mesma cidade durante o ano de 2019, alcançando uma média de 416,7 ppm no primeiro local e 430,9 ppm no segundo. Esses resultados indicam que a concentração de CO₂ em Gurupi permanece inferior à média de São Paulo. No entanto, é importante ressaltar que São Paulo é uma metrópole com uma população superior a 10 milhões de habitantes, o que influencia significativamente os níveis de poluição atmosférica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados encontrados, podemos concluir que em locais com boa circulação de ar, não se observou uma mudança significativa na concentração de dióxido de carbono. Contudo, em ambientes onde a circulação de ar é menos intensa, a concentração desse gás chegou a ser 14% maior que o valor médio encontrado no canteiro de obras com galpão ventilado. O que pode interferir na produtividade dos funcionários, pois, apesar de o dióxido de carbono não ser tão patogênico quanto o monóxido de carbono, conforme citado pela Industrial Scientific em 2018, essa concentração elevada pode causar sinais e sintomas como sonolência, cefaleias, enjoos ou até mesmo vômitos.

Também foi possível observar a necessidade da utilização de EPIs, como máscaras e luvas, durante o manejo de algumas substâncias tóxicas, a exemplo do thinner e do óleo queimado, citados durante a coleta de dados no Canteiro de Obras com Galpão Ventilado. É importante considerar que neste estudo foram avaliados apenas os níveis de CO₂, mas existem outras substâncias patogênicas que são liberadas durante o manuseio desses materiais.

Embora a indústria da construção civil esteja entre as principais fontes de emissão de dióxido de carbono no mundo, é importante destacar que a maior parcela dessas emissões ocorre ainda na manufatura dos materiais, como na produção de aço e cimento. No entanto, a ventilação insuficiente em obras fechadas pode ocasionar astenia nos funcionários exposto ao gás carbônico, o que repercute desfavoravelmente na eficiência produtiva ao longo da jornada laboral.

Uma solução simples, porém, bastante eficaz para essa problemática é a instalação de ventiladores e exaustores nos locais que apresentam pouca ventilação. Isso fará com que o ar circule de maneira mais eficiente, promovendo uma maior qualidade do ambiente e, conseqüentemente, uma maior produtividade dos colaboradores da empresa.

A quantificação precisa da concentração de poluentes atmosféricos, como o dióxido de carbono e outros gases resultantes de atividades antrópicas, é fundamental para antever as transformações futuras do planeta Terra. Atualmente, uma das técnicas mais recorrentes para deduzir a composição atmosférica de eras passadas é a execução de sondagens profundas nas camadas de gelo da Antártica.

Contudo, graças aos avanços tecnológicos, agora dispomos de métodos que permitem mensurar e analisar a qualidade do ar com extrema exatidão, o que reduz a dependência de expedições científicas transcontinentais.

Esta reflexão sugere que, quanto maior for o número de pesquisas relacionadas a concentração de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, mais claros se tornarão os padrões futuros desses gases. Isso é crucial para que o Brasil possa desenvolver políticas públicas eficazes na redução da emissão de poluentes. Embora já existam legislações que abordam essa questão, o país ainda anda em passos lentos no que tange ao controle das emissões de GEE.

REFERÊNCIAS

Brasil, M. do M. A. (2018). RESOLUÇÃO No 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018 – Imprensa Nacional. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso dia 24 de março de 2024.

Brasil. (2009). Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm Acesso dia 24 de março de 2024.

CASTELO, Daniel Prado. **Análise da concentração de dióxido de carbono nos sítios experimentais do projeto metroclima na cidade de São Paulo**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Acesso em: 20 maio 2024.

INDUSTRIAL SCIENTIFIC. MONÓXIDO DE CARBONO X DIÓXIDO DE CARBONO: UMA COMPARAÇÃO. Disponível em: <https://www.indsci.com/pt/blog/mon%C3%B3xido-de-carbono-vs-di%C3%B3xido-de-carbono-uma-compara%C3%A7%C3%A3o#:~:text=O%20excesso%20de%20di%C3%B3xido%20de,o%20CO2%20pode%20ser%20fatal>. Acesso dia 15 de maio de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, IBGE Cidades, Gurupi-TO. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/gurupi/panorama> Acesso dia 24 de março de 2024.

IPCC. 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte. V. P. Zhai. A. Pirani. S.L. Connors. C. Péan. S. Berger. N. Caud. Y. Chen. L. Goldfarb. M.I. Gomis. M. Huang. K. Leitzell. E. Lonnoy. J.B.R. Matthews. T.K. Maycock. T. Waterfield. O. Yelekçi. R. Yu. and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

JASINSKI. R. et al. **Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão**. São Paulo. Brasil. entre 1997 e 2004. Caderno de Saúde Pública. V. 27. n. 11. p. 2242-2252. 2011. BUENO. F. F. et al. Qualidade do ar e internações por doenças respiratórias em crianças no município de Divinópolis. estado de Minas Gerais. Acta Scientiarum Health Sciences. V.32. n.2. p. 185-18. 2010.

JUNGES, L.A., **EFEITO ESTUFA E AQUECIMENTO GLOBAL: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL A PARTIR DA FÍSICA PARA EDUCAÇÃO BÁSICA**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Experiências em Ensino de Ciências V.13, No.5. 2018.

KOZLOSKI, C.L., **Emissão de co2 de materiais de construção civil no brasil: estimativas na etapa projetual de edificações**. Universidade federal de santa maria centro de tecnologia programa de pós-graduação em arquitetura, urbanismo e

paisagismo. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS, 2020.

PEIXOTO, K.P., **Quantificação da concentração de dióxido de carbono (co2) na cidade de Ji-Paraná – Rondônia.** Fundação Universidade Federal de Rondônia Campus de Ji-Paraná Departamento de Engenharia Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná. Ji-Paraná-RO, 2022.

PEREIRA, M. F. B. (2014). **Conteúdo Energético e Emissões de CO2 em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento:** Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, Brasil.

POTENZA, R.F., et al., **ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA AS METAS CLIMÁTICAS DO BRASIL.** Observatório do Clima. SEEG 10 anos. 2023.

SILVA, Diêgo Raffael Fernandes da. TELES, Euzébio Cardoso. BARROS, Enicléia Nunes de Sousa. **Patologias em estruturas de concreto armado em ambiente industrial.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 10, Vol. 06, pp. 14-41. outubro de 2020.

SILVA, E.S., **Inventário de gases de efeito estufa na etapa de construção de edificações residenciais multifamiliares na região da grande Florianópolis-SC.** Universidade federal de Santa Catarina Centro Tecnológico PPGEC – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PPGEC, da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2014.

SILVA, M.M.M., et al. **Efeitos do dióxido de carbono na saúde e no meio ambiente.** 5º Seminário Pesquisar. Faculdade Alfredo Nasser, curso de Biomedicina. Goiânia-GO, 2016.

STACHERA JR., T., **Avaliação de emissões de co2 na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no paraná.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

STOCO, M.A., **Dióxido de carbono na cidade de São Paulo: medidas em superfície e análises sazonais.** Universidade de São Paulo instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas departamento de Ciências Atmosféricas. Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2022.

VALENÇA, D.V.C., **Análise da deterioração do concreto por carbonatação natural com exposição às classes de agressividade ambiental marinha e**

respingos de maré. Universidade tecnológica federal do paraná, departamento acad mico de constru o civil, engenharia civil. Curitiba-PR, 2016.