



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL
NA REGIÃO METROPOLITANA DE CIUDAD DEL ESTE – PARAGUAY**

MARCIELLY BURG ACOSTA

Foz do Iguaçu

2022

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL NA
REGIÃO METROPOLITANA DE CIUDAD DEL ESTE – PARAGUAY**

MARCIELLY BURG ACOSTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Katia Regina Garcia Punhagui
Co-Orientador: Prof. Dr. Edna Possan

Foz do Iguaçu

2022

MARCIELLY BURG ACOSTA

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL NA
REGIÃO METROPOLITANA DE CIUDAD DEL ESTE – PARAGUAY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Katia Regina Garcia Punhagui
UNILA

Prof. Dr. César Winter de Mello
UNILA

Prof. Me. Dayana Ruth Bola Oliveira
UDC

Foz do Iguaçu, 19 de dezembro de 2022.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Marcielly Burg Acosta

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura

Tipo de Documento	
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação
	<input type="checkbox"/> tese
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais
	<input type="checkbox"/> _____

Título do trabalho acadêmico: ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE CIUDAD DEL ESTE – PARAGUAY

Nome do orientador(a): Prof. Dr. Katia Regina Garcia Punhagui

Data da Defesa: 19 / 12 / 2022

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar e cuidar em todo o caminho e por me dar oportunidades únicas e incríveis.

Aos meus pais, Alcides e Rose, que me apoiaram em todos os momentos da minha vida e que possibilitaram a conclusão desta etapa. À minha irmã, Lorryne, que sempre esteve disponível para o que eu precisasse.

Ao meu parceiro de vida, Vinicius, por estar sempre ao meu lado e sonhando comigo.

Aos meus amigos que estiveram comigo em todas as etapas do curso, Rodrigo e Bruna, sem vocês o caminho seria muito mais difícil.

À professora Katia Punhagui por todos os ensinamentos e incentivos neste trabalho, e por me inspirar como profissional e como pessoa desde o primeiro semestre da faculdade.

À professora Edna Possan pela assistência no trabalho e pelas aulas ministradas durante o curso que sempre foram de excelência.

À empresa que me deu oportunidade de fazer estágio e pela flexibilização de horários para poder desenvolver a pesquisa.

Às empresas que me abriram as portas para a coleta de dados, o que possibilitou a pesquisa. Também, às pessoas que me atenderam e forneceram os dados com entusiasmo.

RESUMO

As elevadas taxas de emissões de CO₂ dos produtos cimentícios interferem diretamente nas mudanças climáticas. No concreto, artigo manufaturado mais consumido no mundo, a maior parte das emissões são provenientes do cimento. Na região metropolitana de Ciudad del Este – Paraguay (RMCDE) ainda não foram encontradas pesquisas no tema. Assim, o objetivo deste estudo é estimar as emissões de CO₂ do concreto dosado em central na RMCDE. Para isso, foi utilizado o método da Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (ACV-s). A fronteira do sistema considerada foi do “portão ao portão” da central dosadora, com período de 12 meses e unidade funcional foi kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹. Foram identificadas cinco centrais dosadoras na RMCDE das quais três empresas participaram desta pesquisa. Coletou-se, por meio de questionário, informações primárias sobre o consumo de insumos materiais, energéticos e água para a produção de concreto. Na falta de informações primárias empregou-se dados secundários do Sistema de Informação de Desempenho ambiental da Construção (Sidac). Os resultados mostraram que os concretos produzidos na região variam de 9 a 60 MPa, sendo ~76% na faixa de 15 a 29 MPa. São utilizados cimentos CPV ARI e CP II F40, areia natural, britas 0 até 2, adições, aditivos plastificantes e retardadores de pega. A maior diferença de consumo de cimento encontrada foi de 72kg/m³ para um concreto com resistência de 30MPa, sendo o menor consumo de 280kg/m³ e o maior 352 kg/m³ de cimento. O Índice de Ligantes (IL) variou de 7 a 25 kg.m⁻³.MPa⁻¹, e a intensidade de CO₂ (IC) variou de 6,8 a 23,8 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹, para a maior e menor resistência, respectivamente. As diferenças encontradas se devem principalmente ao tipo de aglomerante, onde utiliza-se um cimento com menor teor de clínquer e, conseqüentemente, menor fator de emissão. Também, devido ao teor de agregados (M), pois, quanto maior a quantidade de agregados, obtém-se o volume requerido de concreto sem necessidade de aumentar o uso de cimento. Adicionalmente, encontrou-se um baixo consumo de cimento associado a um maior consumo de aditivos e também, o uso de mais de um tipo de aditivos nas dosagens. Todas as empresas utilizam agregados graúdos com, no mínimo, três granulometrias diferentes, favorecendo o empacotamento de partículas. Com isso, tem-se uma primeira aproximação e informações para o desenvolvimento de estratégias para melhoria do desempenho ambiental do concreto da região.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); Emissões de CO₂; central dosadora; concreto; desempenho ambiental.

RESUMEN

Las altas tasas de emisiones de CO₂ de los productos de cemento interfieren directamente con el cambio climático. En el hormigón, el artículo manufacturado más consumido en el mundo, la mayor parte de las emisiones provienen del cemento. En la región metropolitana de Ciudad del Este - Paraguay (RMCDE) aún no se han encontrado investigaciones sobre el tema. Así, el objetivo de este estudio es estimar las emisiones de CO₂ del hormigón dosificado en central en la RMCDE. Para ello se utilizó el método de Evaluación del Ciclo de Vida Simplificado (LCA-s). La frontera del sistema considerada fue de “portón a portón” de la central de dosificación, con un período de 12 meses y unidad funcional kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹. Se identificaron cinco centrales de dosificación en la RMCDE, de las cuales tres empresas participaron en esta investigación. A través de un cuestionario, se recolectó información primaria sobre el consumo de insumos de materiales, energía y agua para la producción de hormigón. En ausencia de información primaria, se utilizaron datos secundarios del Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (Sidac). Los resultados mostraron que los hormigones producidos en la región varían de 9 a 60 MPa, con ~76% en el rango de 15 a 29 MPa. Se utilizan cementos CPV ARI y CP II F40, arena natural, piedra 0 a 2, adiciones, aditivos plastificantes y retardadores de fraguado. La mayor diferencia en el consumo de cemento encontrada fue de 72 kg/m³ para un hormigón con una resistencia de 30 MPa, siendo el menor consumo 280 kg/m³ y el mayor 352 kg/m³ de cemento. El Índice de Aglutinante (IL) varió de 7 a 25 kg.m⁻³.MPa⁻¹, y la Intensidad de CO₂ (IC) varió de 6,8 a 23,8 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹, para la mayor y menor resistencia, respectivamente. Las diferencias encontradas se deben principalmente al tipo de aglomerante, donde se utiliza un cemento con menor contenido de clínquer y, consecuentemente, menor factor de emisión. También, se debe por el contenido de áridos (M), ya que a mayor cantidad de áridos se obtiene el volumen de hormigón requerido sin necesidad de aumentar el uso de cemento. Adicionalmente se encontró un bajo consumo de cemento, asociado a un mayor consumo de aditivos y también al uso de más de un tipo de aditivo en las dosificaciones. Todas las empresas utilizan áridos gruesos con al menos tres granulometrías diferentes, favoreciendo el empaquetamiento de partículas. Con esto, se tiene una primera aproximación e información para el desarrollo de estrategias para mejoría del desempeño ambiental del hormigón en la región.

Palabras clave: Evaluación del Ciclo de Vida (LCA); Emisiones de CO₂; central de dosificación; hormigón; rendimiento ambiental.

ABSTRACT

The high rates of CO₂ emissions from cement products directly interfere with climate change. In concrete, the most consumed manufactured article in the world, most of the emissions come from cement. In the metropolitan region of Ciudad del Este - Paraguay (RMCDE) research on the subject has not yet been found. Thus, the objective of this study is to estimate the CO₂ emissions of concrete dosed in a plant in the RMCDE. For this, the Life Cycle Assessment Simplified (LCA-s) method was used. The system border considered was from the "gate to gate" of the dosing plant, with a period of 12 months and functional unit was kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹. Five dosing plants were identified in the RMCDE, of which, three companies participated in this research. Through a questionnaire, primary information was collected on the consumption of material, energy and water inputs for the production of concrete. In the absence of primary information, secondary data from the Sistema de Informação de Desempenho ambiental da Construção (Sidac) was used. The results showed that the concretes produced in the region vary from 9 to 60 MPa, with ~76% in the range of 15 to 29 MPa. Are used cements CPV ARI and CP II F40 cements, natural sand, gravel 0 to 2, additions and plasticizers and setting retardants. The greatest difference in cement consumption found was 72 kg/m³ for concrete with a strength of 30 MPa, with the lowest consumption being 280 kg/m³ and the highest 352 kg/m³ of cement. The Binder Index (IL) ranged from 7 to 25 kg.m⁻³.MPa⁻¹, and the CO₂ intensity (IC) ranged from 6,8 to 23,8 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹, for the highest and lowest resistance, respectively. The differences found are mainly due to the type of binders, where a cement with a lower clinker content and, consequently, a lower emission factor is used. Also, due to the aggregates content (M), because the greater the amount of aggregates, the required volume of concrete is obtained without the need to increase the use of cement. Additionally, a low consumption of cement was found, associated with a higher consumption of additives and also the use of more than one type of additive in the dosages. All companies use coarse aggregates with at least three different granulometries, favoring particle packing. With this, we have a first approximation and information for the development of strategies to improve the environmental performance of concrete in the region.

Key words: Life Cycle Assessment (LCA); CO₂ emissions; dosing station; concrete; environmental performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de fabricação de cimento	18
Figura 2: Esquema de fabricação do concreto em central dosadora	20
Figura 3: Variação da intensidade de ligantes do Brasil e mais 28 países	22
Figura 4: Variação da intensidade de CO ₂ do Brasil e mais 28 países.....	22
Figura 5: Ciclo de vida do cimento e do concreto.....	36
Figura 6: Limite de fronteira.....	37
Figura 7: Etapas da pesquisa.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Produção no período por resistência à compressão da empresa A.....	46
Gráfico 2: Produção no período por resistência à compressão da empresa B	46
Gráfico 3: Produção no período por resistência à compressão da empresa C	47
Gráfico 4: Produção total de concreto por classes de resistência na RMCDE das empresas estudadas	48
Gráfico 5: Consumo de insumos por resistência à compressão da empresa A.....	50
Gráfico 6: Consumo de insumos por resistência à compressão da empresa B	51
Gráfico 7: Consumo de insumos por resistência à compressão da empresa C	51
Gráfico 8: Balanço de massa da empresa A.	54
Gráfico 9: Balanço de massa da empresa B.	54
Gráfico 10: Consumo de cimento por resistência à compressão das empresas	56
Gráfico 11: Índice de ligantes (IL) das empresas	59
Gráfico 12: Intensidade de CO ₂ (IC) das empresas.	60
Gráfico 13: Produção por resistência à compressão da empresa D	91
Gráfico 14: Consumo dos insumos da empresa D	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de emissão de CO ₂ dos insumos (Femissão)	42
Tabela 2: Concretos por resistência à compressão por empresa.....	45
Tabela 3: Diferença entre os valores fornecidos e os calculados de consumo de energia elétrica e combustíveis fósseis.....	61
Tabela 4: Consumo total dos insumos secos, energia elétrica e combustíveis, no período considerado, das empresas	63
Tabela 5: Emissões de CO ₂ total dos insumos, no período considerado, das empresas (em kgCO ₂)	63
Tabela 6: Percentual das emissões de CO ₂ dos insumos das empresas.....	63
Tabela 7: Emissões de CO ₂ das empresas para resistências de 20, 25, 30, 35 e 40MPa	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo das principais características das centrais dosadoras	45
Quadro 2: Consumo de insumos (em relação ao cimento) das empresas para as resistências à compressão de 20, 30 e 40MPa.....	58
Quadro 3: Referências de emissões de CO ₂ e IC.....	65
Quadro 4: Quadro resumo dos resultados	67

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	OBJETIVO GERAL	15
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	16
2.2.	CIMENTO E EMISSÕES DE CO ₂	17
2.3.	CONCRETOS	19
2.3.1.	Emissões de CO ₂ do concreto	20
2.4.	ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE CO ₂ DO CONCRETO	23
2.5.	PARAGUAY E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	30
2.6.	REGIÃO METROPOLITANA DE CDE (RMCDE) E CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO ..	31
3.	MÉTODO	33
3.1.	DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO	35
3.1.1.	Objetivo	35
3.1.2.	Escopo	35
3.1.2.1.	Sistema do produto	35
3.1.2.2.	Limite de fronteira	36
3.1.2.3.	Unidade funcional	38
3.1.2.4.	Procedimentos de alocação	38
3.1.2.5.	Levantamento de dados e requisitos de qualidade	38
3.1.2.6.	Pressupostos de cálculo	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS	44
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS	48
4.3.	BALANÇO DE MASSA	53
4.4.	CONSUMO DE CIMENTO	55
4.5.	ÍNDICE DE LIGANTES (IL)	58
4.6.	EMISSÕES DE CO ₂	59
4.7.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	68

5.	CONCLUSÃO.....	69
6.	AGRADECIMENTOS	70
7.	REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática é um fenômeno preocupante à sociedade uma vez que altera os biomas e afeta a vida de forma geral. Nos últimos anos, os eventos climáticos têm se intensificado devido ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), causando o aquecimento global. (IPCC, 2021; WBCSD, 2021; ONU, [s.d]).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) associa o aquecimento global às atividades antropogênicas e prevê o aumento da temperatura de 1,5°C a 2°C, em relação aos níveis pré-industriais, ainda no século XXI caso não forem tomadas medidas de redução dos GEEs nas próximas décadas.

As atividades humanas que mais emitem GEEs são: a queima de combustíveis fósseis, atividades industriais, mudanças do uso da terra, desmatamento florestal, agricultura (WWF, [s.d.]; ONU, 2022). E, suas consequências são observadas pela intensificação de eventos climáticos extremos como tempestades, enchentes, ondas de calor, secas, etc., assim como, riscos para a saúde humana, alterações dos ecossistemas, perda de biodiversidade e outros (IPCC, 2021; ONU, 2022).

O setor de edifícios e sua indústria de construção são significativos emissores de CO₂, dado que, foram responsáveis por 38% das emissões globais em 2019 (IEA, 2021). A produção do cimento, o principal insumo material consumido pela indústria da construção (SNIC, 2019; PCA, 2019a) é responsável por 6-8% das emissões globais (IEA; WBCSD; CSI, 2018; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; MILLER et al, 2017).

No processo de produção, cerca de 30% a 40% das emissões de CO₂ devem-se à queima de combustíveis fósseis, de 60% a 70% são devido às reações químicas da descarbonatação do calcário e outros 5% restantes devido ao consumo elétrico (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; IEA; WBCSD; CSI, 2018; SNIC, 2019).

A indústria cimenteira vem desenvolvendo ações mitigadoras das emissões de CO₂ na fase de produção de cimento, sendo algumas delas: adições ou substituições de clínquer, uso de combustíveis alternativos, eficiência térmica e elétrica, captura e armazenamento de carbono, entre outras (SNIC, 2019; IEA; WBCSD; CSI, 2018; MILLER et al, 2021). No entanto, tais ações ainda são insuficientes para atingir níveis satisfatórios de redução das emissões de CO₂ (DAMINELI, 2021). As reduções de GEEs devem ser, globalmente, de 50% até o ano de 2030 (em relação a 2005) para manter o limite do aquecimento global de 1,5°C (UNEP, 2021).

O setor do cimento é um dos mais difíceis de descarbonizar (UNEP, 2020). Uma vez que, a maior parte das emissões do cimento são provenientes da reação química de descarbonatação na produção do clínquer (60% a 70%) (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; IEA; WBCSD; CSI, 2018; HABERT et al, 2020), as quais não são manejáveis. Assim, deve-se tomar medidas mitigadoras na fase de uso dos produtos cimentícios.

Para reduzir a pegada de carbono na fase de uso dos produtos cimentícios tem-se considerado: a industrialização do uso do cimento, o concreto dosado em central, a argamassa industrializada, melhoria da distribuição granulométrica dos agregados, racionalização na construção, recarbonatação e outros (SNIC, 2019).

O Cement Sustainability Initiative (CSI) é uma iniciativa de grandes produtores de cimento que buscam minimizar os impactos ambientais negativos da produção e uso do cimento. Juntos, correspondem a 30% da produção mundial de cimento (WBCSD, 2022). Assim também, pequenos países com poucas indústrias podem buscar melhorias ambientais em seus processos, como por exemplo, o Paraguay.

No Paraguay existem apenas duas indústrias cimenteiras: a INC (Indústria Nacional del Cemento) e a Yguazu Cementos (Ministério de Indústria y Comércio (MIC), 2022). A primeira, trata-se de uma indústria estatal, possui duas plantas industriais, Vallemí e Villeta (INC, 2020) e no ano de 2021, a totalidade de cimento produzido foi cerca de 463.000 toneladas (INC, 2021). A produção nacional não é suficiente para suprir a demanda do mercado, estimado em cerca de 115.000 toneladas ao mês (ABC, 2022) ou aproximadamente 1,38Mt anuais. Por isso, parte do cimento advém de outros países, cuja importação em 2021, alcançou aproximadamente 703.000 toneladas, das quais, cerca de 78% são originadas no Brasil (Banco Central del Paraguay (BCP), 2022a).

O Brasil é o principal sócio comercial do Paraguay (Ministério de Hacienda (MH), 2020), isto devido às relações históricas de comércio entre os países, as regiões fronteiriças, assim também os incentivos fiscais (CÉSAR, 2016; Cámara de Comércio Paraguay Brasil (CCPB), 2016). Como grande parte do cimento consumido no Paraguay tem origem no Brasil, as possibilidades de mitigar as emissões de CO₂ dos produtos cimentícios na região ficam limitadas a estratégias na fase de uso, sobretudo na produção de concretos e argamassas.

A região metropolitana de Ciudad del Este - Paraguay (RMCDE)¹, a

¹ É constituída pelos municípios: Ciudad del Este, Presidente Franco, Hernandarias e Minga Guazú (ALTOPARANÁ, [s.d.]).

segunda maior concentração populacional do país (~ 589.266 habitantes em 2021 (INE, 2021)) tem apresentado forte desenvolvimento nos últimos anos com obras de infraestrutura (duplicação da ruta PY02 (Asunción-Ciudad del Este), viadutos do km 4 e km 5.5, multiviaduto do km 7, Avenida Perú, Avenida Costanera de Hernandarias, Hospitais de Presidente Franco e Minga Guazú, Palácio de Justicia, etc.) e crescimento urbano (World Trade Center, edifícios comerciais e residenciais, shoppings centers e outros) (IP, 2021; ABC, 2022). Este crescimento urbano e de infraestrutura demanda de novas construções, e conseqüentemente, o aumento do consumo de materiais da construção civil a curto e médio prazos, principalmente o concreto.

O concreto pode ser produzido em obra ou em centrais dosadoras. O concreto dosado em central possui melhores condições de controle tecnológico (NEVILLE; 2016, p. 226), assim, apresentam maior potencial de estratégias para a mitigação das emissões de carbono.

Atualmente na região metropolitana de Ciudad del Este (PY) existem seis centrais dosadoras de concreto, conforme levantamento de campo². Não foram encontradas informações do processo de produção e pesquisas científicas da região com respeito à redução da pegada de carbono ou aumento do desempenho ambiental na produção de concreto em centrais dosadoras.

Desta forma, considerando o crescente consumo de concreto, os impactos ambientais decorrentes, e as limitações locais para obtenção de insumo, este trabalho objetiva colaborar com a produção de informações sobre as centrais dosadoras da RMCDE e seus produtos (que ainda são poucos ou nulos) e principalmente, estimar as emissões de CO₂ decorrentes da produção de concreto dosado em centrais.

² O levantamento de campo foi realizado a partir de pesquisas via Internet, onde localizaram-se todas as empresas dosadoras de concreto na região.

1.1. OBJETIVO GERAL

Estimar as emissões de CO₂ do concreto dosado em central na região metropolitana de Ciudad del Este – Paraguay.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as empresas fornecedoras de concreto usinado estabelecidas na região metropolitana da Ciudad del Este (PY);
- Caracterizar os processos de produção das empresas, tipos de concreto produzido e insumos empregados;
- Determinar as emissões de CO₂ dos concretos produzidos nas centrais dosadoras da Ciudad del Este;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Um ecossistema é uma área geográfica onde várias espécies coexistem, e o planeta Terra, por sua vez, é uma série destes interconectados (UNEP, [s.d]). A mudança climática é a alteração a longo prazo da temperatura e os padrões naturais dos ecossistemas e conseqüentemente, na qualidade das condições de vida. (ONU, 2022; WWF, [s.d]).

As conseqüências das mudanças climáticas podem ser: extinção de espécies, perda de vidas humanas em catástrofes naturais, derretimento de geleiras, aquecimento dos oceanos, crises de alimentos e água, condições meteorológicas extremas -inundações, tempestades e incêndios florestais-, tensões geopolíticas, entre outros vários impactos negativos (WEF, 2020; IPCC, 2021; ONU, 2022). A mudança climática é resultante do aquecimento global gerado pelo aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Os principais gases são CO₂, N₂O e CH₄, além de hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbono (PFCs) e hexafluorsulfúrico (SF₆), onde o dióxido de carbono participa na maior parte (IEA, 2021; UNEP, 2021)

Desde o período do início da industrialização (~1850-1900) houve um aumento da concentração de CO₂ de aproximadamente 280 ppm para 410 ppm em 2019 (NOAA, 2022; IPCC 2021). Assim também, a temperatura média da superfície global no período 2011-2020 foi de 1,09 °C mais alta em comparação ao período pré-industrial (IPCC, 2021).

É de consenso da comunidade científica que o aumento dos GEEs é decorrente de ações antropogênicas (IPCC, 2021), tais quais: queima de combustíveis fósseis para geração de energia (eletricidade e calor), desmatamento florestal, agricultura, mudanças do uso da terra, uso de transportes movidos a combustíveis fósseis, indústrias de produtos e alimentos, cultura do excesso de consumo (ONU, 2022; WWF, [s.d], GREENPEACE, [s.d]).

O crescimento populacional e econômico são impulsionadores do aumento das emissões de GEE (UN DESA, 2022a; IPCC, 2015). É esperado um crescimento populacional nos próximos anos de 8.5 bilhões de pessoas até 2030 (UN DESA, 2022b)-, assim também, um crescimento na procura de edifícios (GLOBALABC; IEA; UNEP, 2020) e infraestrutura urbana (HABERT et al, 2020; FAVIER et al, 2018).

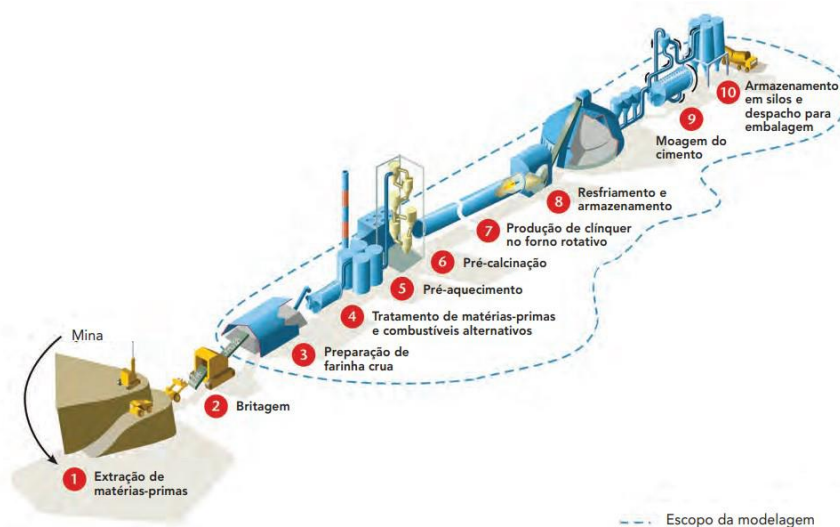
A demanda por concreto, por conseguinte, de cimento, tem uma expectativa de crescimento de 12-23% até 2050, em relação à 2014 (IEA; WBCSD; CSI, 2018). No entanto, somente o setor de edifícios e sua indústria de construção colaboraram com 38% das emissões globais de CO₂ em 2019, sendo, 28% correspondentes ao uso do edifício e 10% devido à construção (IEA, 2021). Esses cenários denotam a importância do setor da construção para o alcance das metas de redução de emissões, com atenção especial ao cimento, que sozinho é responsável por aproximadamente 7% das emissões globais de CO₂ (IEA; WBCSD; CSI, 2018).

2.2. CIMENTO E EMISSÕES DE CO₂

O cimento Portland é um material fino com propriedades adesivas e coesivas, constituído basicamente por calcários (carbonato de cálcio) e argila ou aluminas, sílicas e óxido de ferro. Além disso, é um cimento hidráulico, isto é, endurece com a adição de água (NEVILLE, 2016; GCCA, 2022a; PCA, 2019b). É um produto composto por ligantes: clínquer, gesso e materiais cimentícios suplementares (SCM) (REIS et al, 2021). Os SCM são adições do cimento, e podem ser: pozolanas, argilas calcinadas, escórias de alto forno, cinzas volantes ou fillers (SNIC, 2019; HABERT et al, 2020).

Os ligantes são: “materiais que sofreram processo térmico na produção, com emissão de CO₂, e auxiliam na formação de resistência mecânica por processos de hidratação ou reações pozolânicas, como clínquer, escória de alto-forno, cinzas volantes e outros” (DAMINELLI, 2013, p. 1). O filler não é um ligante, pois é um material inerte (JOHN et al, 2018) ou não reativo (REIS et al, 2021).

A produção do cimento consiste nas seguintes etapas: a) extração da rocha calcária rica em carbonato de cálcio (CaCO₃); b) moagem e mistura dos materiais (resultando na farinha crua); c) pré-calcinação (parte da calcinação ocorre nesta etapa); d) queima nos fornos para produção de clínquer; e) moagem do clínquer e adição de sulfato de cálcio -gesso- (CaSO₄) (IEA; WBCSD; CSI, 2018; PCA, 2019c).

Figura 1: Esquema de fabricação de cimento

Fonte: IEA/WBCSD, 2009 (Tradução de SNIC, 2019).

O cimento é responsável 6-8% das emissões globais (IEA; WBCSD; CSI, 2018; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; MILLER et al, 2017). Na produção do cimento, as emissões são originadas devido à descarbonatação da rocha calcária (60% a 70%) e a queima de combustíveis fósseis para aquecimento dos fornos e eletricidade (30% a 40%) (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; IEA; WBCSD; CSI, 2018; HABERT et al, 2020).

A reação de descarbonatação ou calcinação é a decomposição do calcário (CaCO_3) para formação de cal (CaO) e dióxido de carbono (CO_2): ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Ocorre inicialmente na etapa de pré-calcinação e logo, na etapa de produção de clínquer, nesta a temperatura dos fornos eleva-se até os 1450°C para assim produzir o clínquer (POSSAN, 2019; IEA; WBCSD; CSI, 2018; SNIC, 2019).

O clínquer é constituinte de 65-85% da massa do cimento, porém, é responsável por 90-98% das emissões (MILLER; HOVARATH; MONTEIRO, 2016). Em 2019, as emissões mundiais do clínquer e do cimento foram, respectivamente, $1000 \text{ kgCO}_2/\text{t}$ de clínquer e $834 \text{ kgCO}_2/\text{t}$ de cimento (GCCA, 2022d).

As emissões de CO_2 provenientes da reação de descarbonatação são denominadas “ CO_2 químico” (FAVIER et al, 2018; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018) e não são factíveis de implantação de estratégias para mitigação, a não ser a captura de carbono que é um processo ainda muito caro (SNIC, 2019). Devido a isso, considera-se o setor da indústria de cimento um dos mais difíceis de descarbonizar (GLOBAL ABC; IEA; UNEP, 2020).

As estratégias de mitigação das emissões na fase de produção do cimento

elencadas são: melhorar a eficiência elétrica (inserção de pré-calcinadores), combustíveis alternativos (com menor pegada de CO₂); reduzir da relação clínquer/cimento (adições ou substitutos do clínquer); melhoramento da eficiência energética nos fornos; captura e armazenamento de carbono (IEA; WBCSD; CSI, 2018).

Para essas estratégias, existem limitações tecnológicas ou financeiros na esfera industrial ou de política setorial (JOHN et al, 2018; MILLER et al, 2021). Porém, há possibilidades de mitigação das emissões de CO₂ dos materiais cimentícios, como argamassas e concretos na fase de uso.

2.3. CONCRETOS

O concreto é o material manufaturado mais consumido no mundo e na indústria da construção (HABERT et al, 2020; IEA; WBCSD; CSI, 2018; MILLER; HORVATH; MONTEIRO, 2016). No ano de 2020, a produção de concreto a nível mundial foi de 14 bilhões de m³ e prevê-se, para o ano de 2050, a produção de cerca de 20 bilhões de m³ de concreto (GCCA, 2021b).

É amplamente utilizado devido às suas propriedades, tais como: resistência à água e ao fogo, flexibilidade em adquirir formatos determinados, baixo custo, disponibilidade para atender a demanda, durabilidade, etc. (GCCA, 2021b; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O volume total é constituído por agregados graúdos e miúdos (de 60% a 75%), água (14% a 21%), ar (até 8%) e cimento (7% a 15%) (PCA, 2019a). Onde, na reação de hidratação do cimento em contato com a água, forma-se uma pasta que liga os agregados, criando um bloco monolítico (REIS; JOHN, 2022; PCA, 2019a)

A dosagem dos materiais é a proporção dos materiais constituintes do concreto, determinada pelo custo, resistência à compressão, e propriedades como durabilidade, consistência e trabalhabilidade (NEVILLE, 2016; NRMCA, [s.d]). O concreto pode ser dosado em obra ou em centrais.

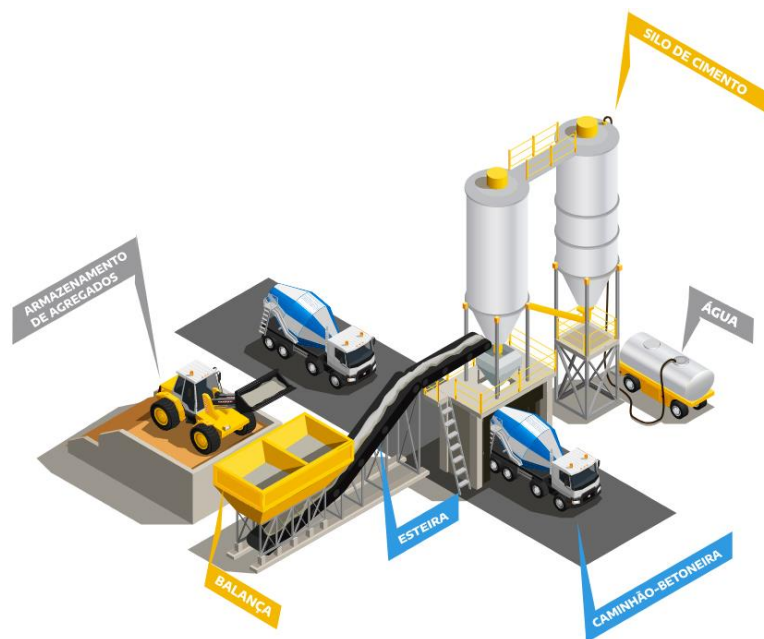
O concreto dosado em central é a pré-mistura dos componentes (cimento, agregados, água e, se houver, aditivos e adições) em uma fábrica e entregue no local da obra em seu estado fresco (HABERT et al, 2020; PCA, 2019d). As fases de produção são: a) recebimento e estocagem dos insumos; b) pesagem e dosagem dos materiais; c) mistura e, d) transporte (REIS; JOHN, 2022).

Há duas formas de preparação do concreto, na primeira, todos os ingredientes dosados são carregados no caminhão-betoneira e este realiza a mistura e o transporte do concreto (a mistura pode ser feita em trânsito ou no local da obra). Já no segundo caso, a central possui um misturador estacionário, o qual realiza a preparação do concreto e o caminhão-betoneira apenas o transporta (NRMCA, [s.d]).

Os caminhões-betoneira são dotados de um tambor giratório, o qual, possui em seu interior, um par de lâminas em formato helicoidal que misturam e descarregam o concreto no local de obra (NRMCA, [s.d])

Essa modalidade possui um elevado controle tecnológico devido ao seu funcionamento em padrão industrial (NEVILLE; 2016, p. 226), o que favorece a implementação de tecnologias de uso eficiente do cimento (SCRIVENER; JOHN; GARTNER; 2018).

Figura 2: Esquema de fabricação do concreto em central dosadora



Fonte: Macrovector (Tradução de autoria própria, 2022).

2.3.1. EMISSÕES DE CO₂ DO CONCRETO

O concreto representa uma parcela considerável para as emissões de CO₂ devido, principalmente, ao seu consumo em larga escala (HABERT et al, 2020; MILLER; HORVARTH; MONTEIRO, 2016). Atualmente, o setor da produção de concreto produz diretamente 2,5Gt de CO₂ e, caso não forem tomadas medidas de mitigação, este valor passará a ser de 3,8Gt de CO₂ em 2050 (GCCA, 2021a).

Do cimento total consumido, menos da metade é utilizado no concreto, sendo o restante utilizado para fabricação de argamassas e produtos com base cimentícia (por exemplo, blocos, pavers e telhas) (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). A maior parcela de emissões do concreto é vinculada ao cimento (o qual, representa apenas cerca de 10% da massa total [PCA, 2019a; HABERT et al, 2020]) sendo de 80 a 90% da pegada de carbono do produto (NRMCA, [s.d]; LIMA, 2010; MILLER; HORVATH; MONTEIRO, 2016).

A parcela restante das emissões deve-se às emissões dos demais componentes (agregados, aditivos, adições, etc.), ao uso de eletricidade e a queima de combustíveis fósseis na produção do concreto (SCHNEIDER, 2019; CEMBUREAU, 2020).

Atualmente, as emissões do concreto estão entre 240 a 320 kgCO₂-eq/m³, sendo variável conforme a região (MILLER; HORVATH; MONTEIRO, 2016; SCHNEIDER, 2019; FAVIER et al, 2018).

Não há uma base de dados histórica das emissões do concreto (REIS et al, 2020). Pois, a pegada de carbono do concreto é relacionada com vários fatores: as emissões diretas do cimento e a quantidade de cimento utilizada na dosagem (REIS et al, 2020; DAMINELI, 2021); resistência do concreto, uso de SCMs (MILLER; HORVATH; MONTEIRO, 2016); tipo do concreto, condições locais, normas técnicas locais (SCHNEIDER, 2019) e outros.

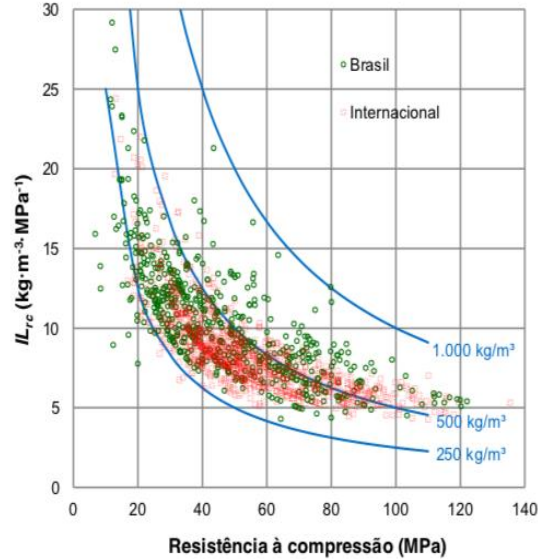
Existem dois indicadores de eficiência do uso do cimento propostos por Daminieli et al, 2010 para comparar diferentes dosagens de concreto em relação às suas emissões de CO₂: a “Intensidade de ligantes (IL)” e a “Intensidade de CO₂ (IC)”. A Intensidade de ligantes (IL) é a quantidade de ligantes necessária para a produção de uma unidade de indicador de desempenho do concreto. Similarmente, a Intensidade de CO₂ (IC) é a quantidade de CO₂ emitido para a produção de uma unidade de desempenho. Essa unidade de desempenho, para o concreto, é a resistência à compressão aos 28 dias (DAMINELI et al, 2010).

Os dados obtidos na pesquisa de literatura de Daminieli et al, 2010 são apresentados nas Figuras 3 e 4, onde encontram-se os dados do Brasil e Internacionais (28 países) de intensidade de ligantes (IL) e intensidade de CO₂.

Para concretos com mais de 60MPa de resistência, o IL mínimo é de 5 kg.m⁻³.MPa⁻¹ e para concretos de 20MPa, o IL mínimo é de 13 kg.m⁻³.MPa⁻¹. Com a diminuição da resistência, o IL aumenta progressivamente até o máximo de 250 kg.m⁻³.MPa⁻¹. Já para a intensidade de CO₂ (IC) o mínimo é de cerca de

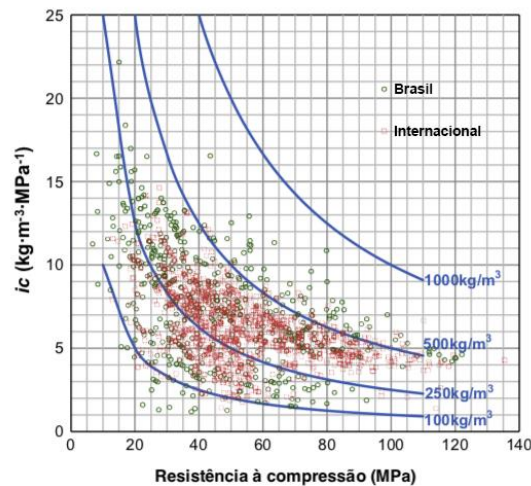
$2 \text{ kgCO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$ para concretos de 40-50MPa. (DAMINELI et al, 2010; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

Figura 3: Variação da intensidade de ligantes do Brasil e mais 28 países



Fonte: DAMINELI et al, 2010 (Tradução de OLIVEIRA V., 2015).

Figura 4: Variação da intensidade de CO₂ do Brasil e mais 28 países.



Fonte: DAMINELI et al, 2010 (Tradução de Autoria Própria, 2022).

A quantidade de cimento utilizada para produzir concretos com a mesma resistência à compressão varia grandemente, por isso, existe um potencial de mitigação da pegada de carbono promovendo o uso eficiente do cimento (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; JOHN et al, 2019).

As propriedades do concreto, como o baixo custo, durabilidade e resistência, o permitem se destacar como um material importante para combater os efeitos

das mudanças climáticas (GCCA, 2021a; PCA, 2021). Para isso, é necessário promover o uso eficiente do cimento no concreto, assim como, o uso eficiente do concreto em suas aplicações (IEA; WBCSD; CSI, 2018).

2.4. ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE CO₂ DO CONCRETO

Como as estratégias de mitigação na fase de produção do cimento são insuficientes (DAMINELI, 2021; JOHN et al, 2018), é possível reduzir as emissões promovendo maior eficiência dos ligantes na fase de uso, a produção de concreto (HABERT et al, 2020; DAMINELI, 2013; FAVIER et al, 2018). Foram levantadas algumas estratégias para mitigar as emissões de CO₂ na produção de concreto:

a) Industrialização da produção de concreto e controle tecnológico

A produção de concreto em centrais dosadoras permite um maior controle tecnológico, promovendo uma adequada dosagem para atender as propriedades do concreto requeridas (HABERT et al, 2020; GCCA, 2021b; NEVILLE, 2016). A redução do uso de cimento através de tecnologias como por exemplo, empacotamento de partículas e uso de aditivos, só é possível com uma produção de concreto industrializada (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; IEA, 2019).

A produção de concreto em obra utilizando cimento ensacado é considerado ineficiente em relação à produção em centrais dosadoras (HABERT et al, 2020). Isso pois, há um consumo maior de cimento devido a perdas por falta de planejamento e por estoque e transporte inadequados (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; SNIC, 2019). Também, em muitos casos, sobretudo pequenas construções, não há controle no proporcionamento e na quantidade de água adicionada, gerando concretos com elevadas relações água/cimento para a obtenção da trabalhabilidade requerida, uma vez que geralmente nestas situações não são empregados aditivos redutores de água (superplastificantes).

Produtores independentes de concreto podem chegar a utilizar mais cimento do que o necessário -cerca de 20%- devido à variabilidade do processo de produção, para ter a garantia de que o concreto atingirá a resistência de projeto (FAVIER et al, 2018; OLIVEIRA V., 2015).

A otimização da produção de concreto e a aplicação de tecnologias que promovam o uso eficiente de cimento, pode reduzir o consumo de cimento em 5% em 2030 e 14% em 2050 (GCCA, 2021b; CEMBUREAU, 2020; IEA, 2019). A aplicação das estratégias de empacotamento de partículas, uso de fílers e aditivos pode reduzir as emissões de CO₂ por MPa em um fator de 4 vezes (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

A otimização da dosagem de concreto com proporções adequadas, resistência requerida e atendendo o consumo regional tem potencial para reduzir as emissões de GEEs em 119 Mt em relação ao ano de 2012 (MILLER; HORVARTH; MONTEIRO, 2016).

b) Empacotamento de partículas e aditivos

O empacotamento consiste na utilização de partículas com diferentes tamanhos, promovendo uma adequada distribuição granulométrica, com a finalidade de reduzir o volume de vazios (DAMINELI; PILEGGI; JOHN, 2017; CAMPOS; KLEIN; FILHO, 2020; IEA, 2019; REIS et al, 2021).

Ao reduzir o volume de vazios, também há uma redução do volume de pasta -cimento e água- (CAMPOS; KLEIN; FILHO, 2020; SNIC, 2019), pois o teor de fluido deve ser suficiente para preencher os vazios e promover a mobilidade das partículas para garantir a trabalhabilidade do concreto (DAMINELI; PILEGGI; JOHN, 2017; MULLER; HAIST; VOGEL, 2014; LOPES, 2019; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

Assim, a eficiência do uso do cimento pode ser obtida através da redução do cimento para obter a mesma resistência de concreto, ou, aumento da resistência do concreto com um menor teor de cimento (DAMINELI; PILEGGI; JOHN, 2017; LOPES, 2019).

No entanto, para promover uma adequada reologia do concreto, utilizam-se aditivos (REIS et al, 2021). Isso pois, partículas finas têm tendência a aglomerar, dificultando a suspensão delas e que promovem a mobilidade e trabalhabilidade (DAMINELI, 2013).

Os aditivos são produtos químicos utilizados para adquirir as propriedades do concreto. Geralmente, são adicionados ao concreto no estado fresco durante a produção entre 0,2% a 0,5% da parcela de cimento (CHEUNG; ROBERTS; LIU, 2017; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; NRMCA, [s.d]).

Alguns dos aditivos são: a) redutores de água a base de dispersantes

(plastificantes ou superplastificantes); b) incorporadores de ar; c) modificadores de pega (aceleradores ou retardadores); d) aditivos para a durabilidade do concreto (proteção contra congelamento, inibidor de corrosão, redutores de retração, etc.) (CHEUNG; ROBERTS; LIU, 2017; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; PCA, 2019e).

Os aditivos promovem o uso eficiente do cimento, como por exemplo, os aditivos superplastificantes reduzem o consumo de água, assim, tem-se um aumento na resistência e também aumentam a trabalhabilidade com uma redução de energia de mistura. Assim também, promovem a utilização de materiais substitutos do cimento (como o fíler) e agregados locais que podem não ser de boa qualidade (reduzindo assim as emissões devido ao transporte) (EFCA, 2019)

A distribuição granulométrica otimizada aliada ao uso de aditivos pode reduzir o uso de cimento em 10% na dosagem do concreto (FAVIER et al, 2018). Aplicando as estratégias, o estudo de CECEL et al, 2019 estima uma redução de 37% no consumo de cimento e o de CHEUNG; ROBERTS; LIU, 2017 estima uma redução das emissões de CO₂ em 67%, aliado também ao uso de SCMs.

c) Substituição do cimento por SCMs

Os materiais cimentícios suplementares (SCMs – *supplementary cementitious materials*, em inglês) são adições minerais utilizados para substituir o clínquer na produção de cimento ou para substituir o cimento na produção de concreto (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). Podem ser reativos como pozolanas, argilas calcinadas, cinzas volantes e escórias de alto-forno, ou não reativos como fílers inertes (REIS et al, 2021).

Os SMCs são vantajosos devido à disponibilidade, impacto ambiental avaliado e contribuição para as propriedades do concreto (MILLER, 2018). A maioria dos SMCs utilizados são fíler de calcário, escória de alto-forno e cinzas volantes (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; MILLER, 2018) que já ganharam aceitação na indústria do concreto (MILLER; HORVATH; MONTEIRO, 2016).

Em 2019, foram utilizados como substitutos do cimento, cerca de 13,3 Mt de escória de alto-forno, cinzas volantes e pozolanas, representando 1,5% do volume de cimento global (GCCA, 2022d). Devido as suas características similares ao hidrato de silicato de cálcio e propriedades hidráulicas, podem ser usados no concreto em parcelas de 70% ou mais de substituição do cimento (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

A escória de alto-forno é um subproduto da indústria siderúrgica. É um material hidráulico cimentício formado pelo rápido resfriamento com água da escória do ferro-gusa (GCCA, 2022b; NEVILLE, 2016). São gerados cerca de 400 kg de subprodutos na produção de uma tonelada de ferro-gusa pelo alto-forno, onde, 90% deles são escória (WORLDSTEEL, 2020).

Já as cinzas volantes são um subproduto das indústrias movidas a queima de carvão. São partículas leves que podem estar em suspensão ou depositadas no fundo dos fornos e geralmente possuem formato esférico (GCCA, 2022c; NEVILLE, 2016). A composição química e propriedades são muito variáveis devido ao processo de produção, assim, apenas 1/3 é utilizado no cimento e no concreto (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

A adição de escória de alto-forno e cinzas volantes ao concreto pode trazer benefícios como: redução do custo, trabalhabilidade, reduz a demanda de água, propriedades reológicas, resistência a longo prazo, reduz a permeabilidade à água, resistência a sulfatos, menor velocidade da reação de hidratação e retardo de pega (NEVILLE, 2016; OZBAY; EDERMIR; DURMUS, 2016).

Atualmente, cerca de quase todo o volume de escória de alto-forno e cinzas volantes já são adicionados ora no cimento, ora diretamente no concreto em sua produção (HABERT et al, 2020). No estudo de MILLER, 2018 é notada uma redução de CO₂ por MPa de 9-45% com substituição de 14-70% do cimento por cinzas volantes e para escória de alto-forno, 14-37% de reduções, sendo as maiores obtidas com substituições de 30 a 42%.

O fíler é um material particulado fino quimicamente inerte quando misturado com o cimento (JOHN et al, 2018; NEVILLE, 2016) do qual, pelo menos 65% passam pela peneira de 75µm (HABERT et al, 2020). Comumente são provenientes de calcário, dolomita, basalto e quartzo (IEA, 2019).

Assim, também promove o empacotamento de partículas, reduzindo os vazios (CAMPOS; KLEIN; FILHO, 2020). No entanto, demandam maior consumo de água para a fluidez do concreto, podendo reduzir a resistência, sendo assim, é necessário um dispersante (JOHN et al, 2018; REIS et al, 2021; DAMINELI, 2013). A tecnologia é conhecida como “*High Filler Low Water (HFLW)*” (Muito fíler pouca água, em português) (REIS et al, 2021).

A substituição do cimento no concreto por fíler, combinado a um aditivo dispersante, pode chegar a parcelas de 60-70% e a intensidade de ligantes (IL) pode ser reduzida em mais de 50% em relação a concretos típicos (SCRIVENER; JOHN; GARTNER,

2018; HABERT et al, 2020; JOHN et al, 2018).

A tecnologia é atrativa pois o fíler pode ser obtido de uma grande variedade de materiais, não precisa de calcinação e é mais barato que o cimento Portland (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; SNIC, 2019). Apesar de que o aditivo dispersante é custoso, ainda é viável para utilização em concretos dosados em centrais (REIS et al, 2021).

O uso de escória de alto-forno, cinzas volantes e fíler calcário podem reduzir as emissões em 4% (111 Mt de CO₂-eq) e 12% (326 Mt de CO₂-eq), considerando uma substituição de 20% e 35% de fíler calcário, respectivamente, em relação ao ano de 2012 (MILLER; HORVARTH; MONTEIRO, 2016).

Ainda, há outros SCMs com potencial de substituição do cimento, como por exemplo, pozolanas naturais, argilas calcinadas, cinzas de vegetais -as mais estudadas são as cinzas de casca de arroz-, sílica ativa, resíduos de vidro. No entanto, ainda são necessários esforços para avaliar as limitações técnicas químicas e físicas no concreto, logísticas, custos, disponibilidade regional dos SCMs e outros (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; SNELLINGS, 2019).

d) Uso de agregados reciclados

Resíduos podem ser utilizados como agregados no concreto, podendo ser agregados secundários (subprodutos de outras indústrias), agregados reciclados (resíduos de construção e demolição) ou agregados reciclados de concreto (MPA THE CONCRETE CENTER, 2018; HERTWICH et al, 2020). Os resíduos da construção e demolição estimam-se em 500kg/hab.ano (JOHN, 2017).

Apesar de que os agregados correspondem à maior porcentagem na massa do concreto, de 60-75% (PCA, 2019a), as suas emissões representam uma porção menor que a do cimento -cerca de 10% do total-, devido a isso, esta estratégia não reduz diretamente as emissões de CO₂ (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). No entanto, apesar de possuírem pequeno impacto ambiental, ao levar em consideração a escala global, resulta em uma proporção maior (JOHN, 2017).

Sob o ponto de vista do ciclo de vida e da economia circular, a utilização de agregados reciclados no concreto é vantajosa devido a: redução do uso de recursos naturais, redução das distâncias de transporte (e conseqüentemente, emissões de CO₂), redução dos aterros de resíduos de construção e demolição (LARRARD; COLINA, 2019;

FAVIER et al, 2018; PAZ, 2020).

As desvantagens da estratégia são a falta de controle da qualidade do agregado reciclado, as distâncias de transporte devem ser pequenas para que seja uma solução viável, possuem maior absorção de água, reduzem a resistência e podem reduzir a eficiência dos superplastificantes (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; DIAZ, 2019).

No estudo de PAZ, 2020 foi obtido uma redução de aproximadamente 26-98 kgCO₂/m³ do transporte de agregado miúdo natural para 0,53-15 kgCO₂/m³ (considerando o transporte não otimizado com a carga máxima do caminhão). Os resultados de QUATTRONE; ANGULO; JOHN (2014) foram de 1,5-4,5 kgCO₂/t agregado reciclado produzido.

Assim, as características dos agregados reciclados e o seu comportamento no concreto não são iguais àqueles concretos com agregados naturais (PILLARD; SEDRAN; ROUGEAU, 2019). Faz-se necessário dosagens otimizadas com o uso de agregados reciclados e uma mudança de pensamento na construção na qual o resíduo seja considerado na cadeia do produto (FAVIER et al, 2018).

e) Captura de CO₂

Uma tecnologia emergente e com potencial para reduzir grandes parcelas das emissões de CO₂ é a captura de carbono e armazenamento/uso (IEA; WBCSD; CSI, 2018; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). Nenhum cimento ou concreto pode ter zero emissões sem o uso dessa tecnologia (HABERT et al, 2020; GCCA, 2021b).

A carbonatação é o processo contrário à decarbonatação na produção de cimento e é dada pela reação do CO₂ com hidróxido de cálcio presente nos produtos com base cimentícia ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$) (POSSAN, 2019; STEFANONI; ANGST; ELSENER, 2017). A reação é inerente aos produtos de base cimentícia ao longo dos anos (SNIC, 2019; HABERT et al, 2020).

Há duas possibilidades de captura de carbono, a direta, onde o carbono é capturado antes que seja emitido para a atmosfera (geralmente é aplicado em indústrias); e o indireto, onde o carbono é sequestrado da atmosfera (como a carbonatação natural de materiais cimentícios) (POSSAN, 2019).

A carbonatação é um processo que contribui para a degradação de estruturas de concreto armado, uma vez que, durante a reação ocorre um processo de neutralização do pH da água dos poros do concreto, colocando assim a armadura

susceptível à corrosão (STEFANONI; ANGST; ELSENER, 2017; FELIX; POSSAN, 2018).

No entanto, de todo o cimento produzido globalmente, apenas 25% é destinado às estruturas de concreto armado (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). Para concretos não armados, como por exemplo, barragens, pavers, paredes de concreto e argamassas, a carbonatação não oferece risco e proporciona o balanço das emissões (FELIX, POSSAN, 2018).

A carbonatação do concreto é muito lenta, podendo levar décadas para a completa carbonatação (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018), assim, uma estratégia é acelerar o processo de captura de carbono do concreto (HABERT et al, 2020).

No estudo de simulação Felix e Possan (2018) concretos com consumo de cimento cerca de 400 kg/m³ apresentaram 90% de captura de carbono, também, os concretos produzidos com CP IV apresentaram os melhores resultados de captura (81%) e aqueles produzidos com CP V, os piores resultados (50%).

O carbono pode ser capturado e armazenado (CCS – *Carbon Capture and Storage*) ou utilizado em processos e indústrias (CCU – *Carbon Capture and Utilization*), onde, sua finalidade será determinada pelo volume e o grau de pureza do carbono capturado (SNIC, 2019).

O CCU é a solução mais favorável pois pode ter um custo menor (SNIC, 2019; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). O carbono pode ser utilizado para a fabricação de agregados artificiais, cura de concreto e carbonatação do concreto reciclado, assim como, em outros setores, como na indústria química e de alimentos (GCCA, 2021b).

A tecnologia apresenta limitações e desvantagens em relação aos custos de investimentos para sua implementação e da sua operação, podendo afetar o preço dos produtos com base cimentícia (FAVIER et al, 2018; SNIC, 2019; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; GCCA, 2021b).

Espera-se que 25% das emissões do cimento sejam reduzidas até 2050 com a aplicação dessa tecnologia (IEA; WBCSD; CSI, 2018). Sendo assim, são estimados 1370 milhões de toneladas de CO₂ capturados e, para alcançar o objetivo de zero emissões do setor do cimento e do concreto, a parcela de contribuição do CCS/CCU seja de 36% (GCCA, 2021b).

Ainda há poucos trabalhos sobre a quantidade estimada de carbono capturado e ainda são necessárias mais investigações técnicas e de viabilidade econômica da tecnologia (MILLER et al, 2021; SNIC, 2019; GCCA, 2021b). Incentivando novas estratégias como acelerar a captura de carbono ou aços resistentes à corrosão (REIS et al,

2021).

2.5. PARAGUAY E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Paraguay é um país comprometido com a redução das emissões dos gases de efeito estufa e as mudanças climáticas. Através da Lei 5681/2016, o país aprova o Acordo de Paris de 2015 realizado durante a COP21 (21° Conferência das Partes) o qual tem por objetivo limitar o aquecimento global abaixo de 2°C (UNFCCC, 2022; PARAGUAY, 2016).

Assim como, desde 1992 o país tem compromisso com as mudanças climáticas através da “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático” (CMNUCC) por meio da Lei 251/93. Na qual, o objetivo principal era estabilizar os GEEs a níveis onde os ecossistemas se adaptem às mudanças climáticas (UNFCCC, 2022; PARAGUAY, 1993; MADES; PNUD, 2022).

O índice ND-GAIN classifica os países conforme a vulnerabilidade que é a “exposição, sensibilidade e habilidade de se adaptar aos impactos negativos das mudanças climáticas” e a prontidão para investir em ações de adaptação. O Paraguay, está na posição 93° de 187 países no ano de 2020 (ND-GAIN, 2022).

Assim, há uma elevada vulnerabilidade aos eventos climáticos como ondas de calor, inundações, secas e incêndios florestais (MADES; PNUD, 2022). No estudo de Grassi, 2020 é demonstrado que o ano de 2019 foi o mais quente em toda a história do Paraguay, a precipitação média anual incrementou-se 200mm nos últimos 70 anos, as ondas de calor triplicaram nos últimos 40 anos, sequias e incêndios florestais foram mais frequentes neste século, assim como, eventos extremos durante o ano de 2019 como tormentas severas e sequias agrícolas (GRASSI, 2020).

As consequências e riscos devido às mudanças climáticas são críticas para o país devido a dependência dos recursos naturais (BM, 2022; STP, 2021). O setor primário (agricultura, pecuária, exploração florestal, pesca e mineração) junto aos setores de sua cadeia produtiva (como transporte, indústria, provedores) corresponderam a mais de 20% do PIB (Produto Interno Bruto) (BCP, 2022b; MADES; PNUD, 2022). Também, a oferta de energia do país é proveniente de hidroelétricas (35%) e biomassa (39%), referentes ao ano de 2021 (VMME; MOPC, 2021).

2.6. REGIÃO METROPOLITANA DE CDE (RMCDE) E CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO

A região metropolitana de Ciudad del Este (RMCDE) está localizada em uma região de tríplice fronteira com Foz do Iguaçu-Brasil (BR) e Puerto Iguazú-Argentina (AR) e é formada pelos municípios de: Hernandarias, Presidente Franco e Minga Guazú (MCDE, 2022; ALTOPARANÁ, [s.d.]).

Nacionalmente, a RMCDE é a segunda maior concentração populacional do país (~589.266 habitantes em 2021 (INE, 2021)). Se forem somadas as populações de Foz do Iguaçu-BR e Puerto Iguazú-AR, tem-se um aglomerado de quase 1 milhão de habitantes (~948.650 habitantes em 2021) (IBGE, 2022; INDEC, 2022).

Atualmente, a integração das cidades e países fronteiriços é apoiada e incentivada pela Lei 6709/2021 (entre Brasil e Paraguay) e pela N° 13/2019 do MERCOSUL (entre Brasil, Paraguay e Argentina) (PARAGUAY, 2021; MERCOSUL, 2019).

Historicamente, o crescimento da população da RMCDE foi intensificado devido à construção da Ponte da Amizade (1965) e a Usina Hidrelétrica de Itaipu (1984) (VAZQUEZ, 2013). No período 1982-2002, a taxa de crescimento populacional da RMCDE foi de 238% (DGEEC, 2004).

A partir do Censo Nacional de 1992, verifica-se que a população de Ciudad del Este é exclusivamente urbana (DGEEC, 2004), sendo assim, a área rural concentra-se nas cidades vizinhas conurbadas (MCDE, 2022). Nos últimos 20 anos a população da região cresceu cerca de 48% (DGEEC, 2015).

Suas atividades econômicas são a agroindústria e o comércio da fronteira pois é uma zona de livre-comércio, acrescido a isso, a movimentação devido à aduana local com a exportação e a instalação de empresas “maquiladoras”³ são outros propulsores da economia da região (SERVIN; MASI, 2018; RABOSSO, 2015; LIMA, 2011).

É considerada a região com mais variações culturais do país, devido às distintas origens de imigrantes atraídos pela atividade comercial (MH, 2011 p. 219). A tríplice fronteira destaca-se pela atividade turística e um grande exemplo de atrativo é as Cataratas do Iguaçu no Parque Nacional do Iguaçu (RABOSSO, 2015). No ano de 2019, estima-se que a região tenha sido visitada por cerca de 2,7 milhões de turistas (MCDE, 2022).

³ O regime de Maquila é um sistema de incentivos fiscais à instalação de indústrias vinculadas a um país estrangeiro, na qual, os produtos finais são exportados. É regulamentado pela Lei N° 1064/1997 e o Decreto N° 9585/2000 (CNIME, 2011).

Nos últimos anos, foram construídos importantes obras para a região, como por exemplo, obras públicas de duplicação da ruta PY02 (Asunción-Ciudad del Este), viadutos do km 4 e km 5.5, multiviaduto do km 7, Avenida Peru e obras particulares como grandes shoppings na região do microcentro (IP, 2021).

Atualmente, a construção da Ponte Internacional da Integração também trará grande desenvolvimento para a região, principalmente na cidade de Presidente Franco (MCDE, 2022). Além disso, as obras de acesso à ponte incentivarão o surgimento de novas construções no entorno delas, expandindo a área urbana da região metropolitana (IP, 2021; MOPC, 2022).

É possível visualizar o iminente crescimento do país e na região de Ciudad del Este. A cidade principal, com uma área totalmente urbana e uma densidade demográfica de 2058 hab/km² (DGEEC, 2015), impulsiona a verticalização das edificações e a expansão para os municípios conurbados.

Na região atualmente existem seis centrais dosadoras de concreto segundo levantamento de campo. Porém, não existem informações disponíveis do processo de produção de concreto, os insumos utilizados, o tipo de central dosadora e nem pesquisas científicas que tem por objetivo reduzir a pegada de carbono do concreto dentro das centrais dosadoras.

Devido a que inexistem informações do processo produtivo de concreto na região e que o cimento em grande parte é proveniente do Brasil (país onde já são implantadas estratégias durante a produção do cimento), as estratégias de mitigação de CO₂ limitam-se a fase de uso do cimento, no concreto.

3. MÉTODO

O ciclo de vida de um produto é o conceito de sistemas produtivos como um conjunto de subsistemas, processos e fluxos inter-relacionados (IBICT, [s.d.]). Engloba os processos desde a aquisição da matéria-prima, consumos energéticos, manufatura, transporte, uso, reciclagem até a disposição final, denominado também como “berço ao túmulo” (REDEACV, 2022; ABNT, 2009b). E tem a finalidade de incluir nas análises os impactos ambientais, sociais e econômicos de cada etapa (LCI, 2022).

Para a análise dos impactos ambientais de um produto durante o ciclo de vida é empregado o método denominado Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normatizado pelas NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009 (versões corrigidas 2014). A ferramenta possibilita que os impactos ambientais sejam mensurados, assim como, a identificação de pontos críticos no sistema produtivo, com a finalidade de mitigação consequências ambientais negativas (IBICT, [s.d.]; JOHN et al, 2020).

O estudo de ACV é dividida em quatro etapas:

1) Definição de objetivo e escopo: onde devem ser definidos os objetivos para tal estudo, qual a aplicação pretendida dos resultados, as razões para o estudo e o público-alvo. Também, devem ser especificado o escopo do estudo, apresentado o sistema do produto, as funções e fronteiras do sistema, a unidade funcional (unidade de referência), tipos de impactos estudados e a metodologia de cálculo (ABNT 2009b; OLIVEIRA L., 2015);

2) Análise de inventário (ICV): consiste na realização de um Inventário do ciclo de vida (ICV), onde, são coletados os dados e quantificados os fluxos de massa e energia do sistema de produto (ABNT 2009b). Devido à ausência de dados ou a qualidade dos dados disponíveis, pode ser a fase mais trabalhosa e demorada da ACV (PAZ, 2020);

3) Avaliação de impactos (AICV): onde identifica-se os impactos potenciais ao meio ambiente associados aos dados coletados (ABNT 2009b);

4) Interpretação: na última etapa, são apresentadas as interpretações dos resultados obtidos, identificando questões significativas, verificações de completeza, sensibilidade e consistência, assim como, conclusões, limitações e recomendações do estudo (ABNT 2009b).

Apesar de a ACV ser uma ferramenta robusta, sua realização é complexa, especializada e exige alto investimento de tempo e recursos. Uma vez que, na etapa do inventário são necessárias muitas informações de diversas fases do sistema do produto (JOHN et al, 2020). O uso de dados secundários com baixa representatividade ou com

outras condições podem gerar resultados incorretos (SILVA et al, 2020; PAZ, 2020).

Para que seja possível e viável a realização de uma ACV em determinadas situações, é possível executar a ACV simplificada (OLIVEIRA, L., 2015; JOHN et al, 2020). Esta, baseia-se nos seguintes princípios: a) priorizar impactos ambientais mais urgentes; b) manter a perspectiva do ciclo de vida; c) ser universal e adaptável; d) permitir diferenciar empresas; e) viabilizar benchmarks setoriais; f) privilegiar dados primários; g) explicitar a incerteza de dados genéricos; h) facilitar compreensão; i) integrar sistemas de gestão e j) promover a melhoria contínua (JOHN et al, 2020).

A ACV simplificada permite uma compreensão geral dos impactos, além de facilitar a visualização ao fabricante do potencial de mitigação de impactos ambientais do seu produto (PAZ, 2020), também, pode ser uma etapa inicial para a realização de uma ACV completa (OLIVEIRA, L., 2015).

A Avaliação do Desempenho Ambiental da Construção (ADAC) é uma simplificação da ACV, que visa apresentar os principais indicadores ambientais dos materiais de construção produzidos no Brasil, por meio de um sistema público, gratuito e de fácil gestão, denominado Sidac (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção). Através dele é possível calcular indicadores de desempenho ambiental para avaliação de soluções com menor impacto ambiental (SILVA et al, 2022).

Os indicadores de desempenho ambiental calculados pelo Sidac são a demanda de energia primária e a emissão de CO₂ (SILVA et al, 2022). No entanto, para JOHN et al, 2020, também são indicadores de desempenho importantes ambientalmente e facilmente mensuráveis da cadeia da construção: consumo de água, consumo de recursos e geração de resíduos.

Este estudo, tomará como base a ACV simplificada para a determinação da demanda de energia primária e emissões de CO₂ do concreto dosado em central na região metropolitana de Ciudad del Este - Paraguay. Para isso, foram executadas as etapas 1 (Definição de objetivo e escopo), 2 (Análise de inventário (ICV)) e 3 (Interpretação) descritas nas normas NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009 (versões corrigidas 2014).

3.1. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

3.1.1. OBJETIVO

Estimar as emissões de CO₂ do concreto dosado em central na região metropolitana de Ciudad del Este – Paraguay (RMCDE).

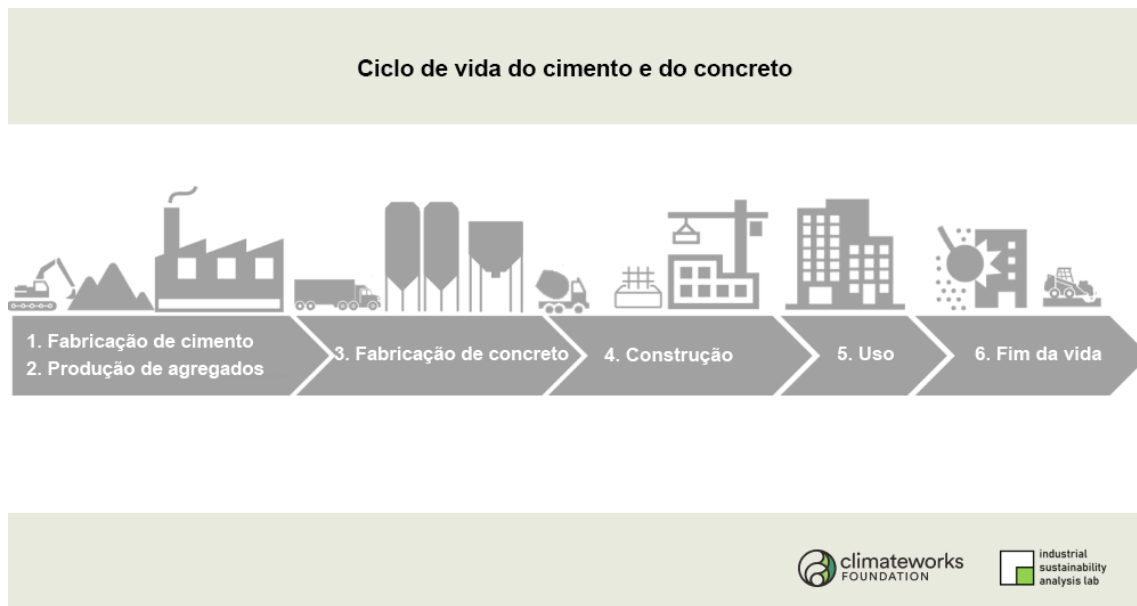
A razão para o desenvolvimento da pesquisa são as elevadas emissões de CO₂ dos produtos à base de cimento que interferem diretamente no aquecimento global. O diagnóstico sobre as emissões do concreto pode subsidiar a criação de estratégias de mitigação na fase de processamento. Ademais, na região estudada não existem pesquisas científicas relacionados a este tema, segundo levantamento feito até a presente data. Os resultados do estudo poderão ser utilizados para a geração de benchmark local, melhoramento de processos, desenvolvimento de soluções locais para a redução das emissões. O público-alvo são pesquisadores, empresas e setor público.

3.1.2. ESCOPO

3.1.2.1. SISTEMA DO PRODUTO

O ciclo de vida do concreto inicia-se na obtenção dos insumos materiais. Assim, tem-se a extração de matérias-primas para a produção de cimento e para a produção de aditivos (ambos insumos fazem parte de outra cadeia produtiva, onde, o produto final é um componente do concreto), extração de areia e de água e também, a extração e trituração de brita.

Esses insumos são transportados à central dosadora de concreto, a qual, os armazena em locais adequados. Para a produção de concreto, os insumos são misturados em proporções pré-estabelecidas e assim, obtém-se o concreto em seu estado fresco. Logo, transporta-se o concreto até o local de aplicação, onde este permanecerá em uso até a demolição. O ciclo de vida do concreto é representado na Figura 5 abaixo.

Figura 5: Ciclo de vida do cimento e do concreto

Fonte: Climateworks Foundation (Tradução de Autoria Própria, 2022).

3.1.2.2. LIMITE DE FRONTEIRA

A fronteira do sistema foi definida do “portão ao portão” da central dosadora de concreto, ou seja, da entrada dos insumos na usina até a saída do concreto fresco da mesma. As etapas da produção de concreto são:

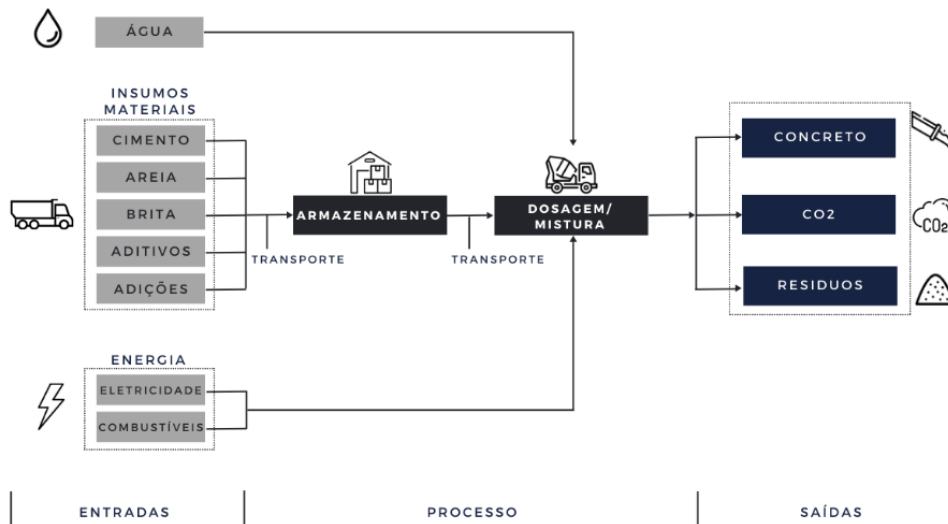
Recepção e armazenamento de insumos: Os insumos (cimento, areia, brita, aditivos e adições) chegam à central de concreto e inicialmente, os agregados chegam a granel em caminhões e são armazenados em baias em locais próximos; a água é bombeada em tanques reservatórios; o cimento é disposto em silos (no caso de transporte a granel) ou depósitos (no caso de transporte ensacado); os aditivos e as adições são armazenados em locais adequados, geralmente depósitos.

- a) Transporte: Os insumos armazenados são transportados até os equipamentos da central de concreto através de uma pá carregadeira;
- b) Dosagem: São pesados e mensurados todos os insumos do concreto, através de balanças, hidrômetros e outros equipamentos. Logo, são transportados para o interior do caminhão-betoneira através de esteiras;
- c) Mistura: Após a disposição de todos os insumos no caminhão-betoneira, estes são misturados até a homogeneização;
- d) Aferição de resistência: São retirados corpos de prova para comprovação da resistência à compressão do concreto aos 28 dias;
- e) Saída para entrega: após as etapas anteriores, o concreto está finalizado em seu

estado fresco para entrega na obra.

Os transportes dos insumos desde a sua origem até a central dosadora, assim como, o transporte do concreto fresco até o local da obra não está no limite de fronteira.

Figura 6: Limite de Fronteira



Fonte: Autoria Própria, 2022.

O processo elementar principal do sistema é a dosagem e mistura dos insumos materiais, (o armazenamento é apenas um processo auxiliar). As entradas do sistema são os insumos materiais (cimento, areia, brita, aditivos e adições), a água e a energia (energia elétrica e combustíveis).

Os fluxos elementares de entrada são retirados do meio ambiente e entram no sistema sem sofrer transformação prévia por interferência humana (ABNT, 2009a), são a água e os áridos finos. Os demais componentes do concreto (cimento, brita, aditivos, adições) são fluxos de produto de entrada, provenientes de outros sistemas de produto. Assim, as entradas são:

- Água, que foi considerada a água extraída de rios ou de poços artesianos das próprias centrais;
- Áridos finos, a areia extraída do leito dos rios;
- Cimentos do tipo CP V ARI, provenientes de fábricas brasileiras e também, cimentos do tipo CP II F-40 e CP IV 32, originados no próprio mercado nacional paraguaio. A forma de transporte do cimento (a granel ou ensacado) não foi analisado neste estudo;
- Britas consideradas são: Brita 0 ou pó de pedra (<4,8mm), Brita 1 (4,8mm a 9,5mm),

Brita 2 (12,5mm a 25mm), Brita 3 (31,5mm a 37,5) conforme a NBR 7211 n-Agregados para concreto - Especificação (ANBT, 2005);

- e) Os aditivos químicos são considerados os plastificantes, superplastificantes e retardadores de pega, de origem brasileira e nacional paraguaia;
- f) As adições consideradas foram aquelas especificadas de cada empresa (metacaulim e fibra de nylon);
- g) Energia elétrica proveniente da rede elétrica pública para o funcionamento dos equipamentos das centrais, como balanças, transportadores de correia, bombas de água, abertura de comportas, entre outros;
- h) Combustíveis fósseis (exclusivamente o diesel) queimados para a mistura do concreto no caminhão-betoneira, transporte dos insumos do local de armazenamento e outros transportes no interior da central de concreto.

A partir das entradas e processos elementares, obtém-se as saídas, que são:

- a) Concreto: produto final do sistema estudado;
- b) CO₂: emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis do processo, uso de energia elétrica e as emissões incorporadas ao processo de fabricação dos insumos materiais;
- c) Resíduos: podem ser insumos descartados ou com outra destinação, sobras de concreto que não foram utilizados, entre outros.

3.1.2.3. UNIDADE FUNCIONAL

A unidade funcional definida é a intensidade de CO₂, medida em CO₂. m⁻³. MPa⁻¹

3.1.2.4. PROCEDIMENTOS DE ALOCAÇÃO

Não foi feita a alocação, o que significa que todos os indicadores são somatizados no produto principal. Os resíduos do produto são considerados nulo em cargas ambientais.

3.1.2.5. LEVANTAMENTO DE DADOS E REQUISITOS DE QUALIDADE

A coleta de dados iniciou com a identificação das empresas dosadoras de concreto na RMCDE passíveis de estudo. Por meio de uma busca através da internet, obteve-se conhecimento de quais são as empresas ativas e atuantes no mercado, sua

localização e os meios de contato.

Logo, através de uma visita à central dosadora de cada empresa, foi feito o primeiro contato com os respectivos representantes e foi questionada a participação da pesquisa. Com resposta afirmativa da empresa, passou-se a segunda parte do levantamento de dados. Estas duas primeiras etapas foram realizadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2022.

A segunda parte corresponde às características do concreto dosado em central. A coleta dos dados primários foi feita através de um questionário em formato Excel desenvolvido pela autora (Apêndice A), tomando como referência o estudo de OLIVEIRA L., 2015, e foi aplicado às empresas entre os meses de setembro e outubro de 2022.

Para esta etapa, os dados coletados foram divididos em quatro partes:

- a) Cadastro: Dados da empresa, como endereço, email e telefone de contato; dados do responsável pelo preenchimento do formulário e o período considerado dos dados;
- b) Diagrama de fluxo da produção: foi questionado se a produção da central dosadora corresponde ao fluxo representado na Figura 6, e em caso negativo, quais procedimentos são diferentes;
- c) Dados anuais: foram levantados a produção total anual do concreto (separados por resistência à compressão) e de resíduos e os consumos totais anuais de cimento, areia, brita, aditivos, adições, água, energia (de cada tipo de insumo);
- d) Consumo de materiais: foi levantado o consumo dos insumos (cimento, areia, brita, aditivo e adições) e água para a produção de 1m^3 de concreto para cada resistência à compressão;
- e) Transporte: local de origem de fornecimento dos insumos do concreto.

Os dados levantados na parte “Transporte” têm a finalidade, exclusivamente, de ter conhecimento dos fornecedores e a região de origem dos insumos. Não foram calculadas as emissões relativas ao transporte, pois não foram questionadas informações sobre o fornecimento, quantidades de viagens e capacidade dos caminhões, etc. Assim como, não foi solicitado os dados do concreto até o local de aplicação, como distâncias de transporte, quantidade de volume transportado, entre outros.

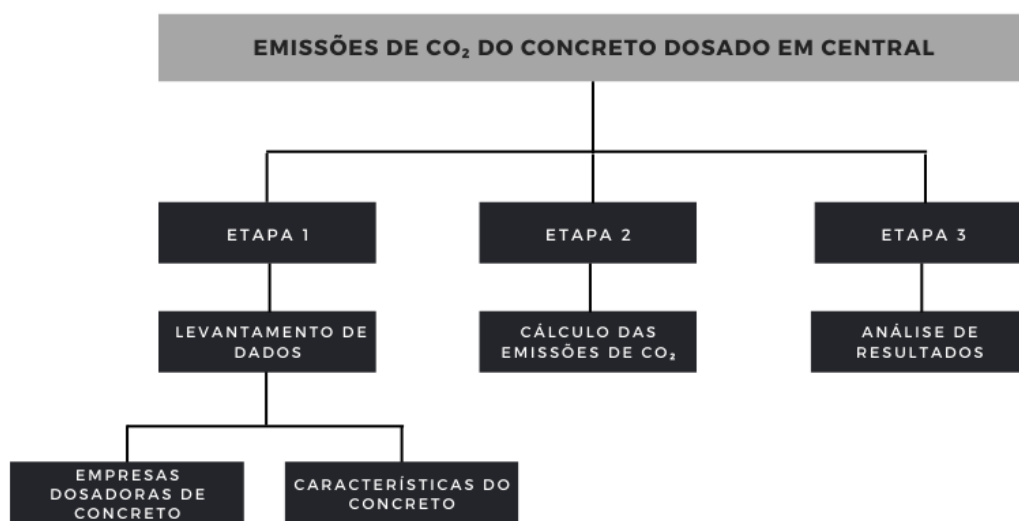
A cobertura temporal foi definida sendo de 12 meses sequenciais (para compensar períodos de baixa e alta produção) e o período foi escolhido pelo responsável pelo preenchimento do formulário. A cobertura geográfica do estudo foi a região metropolitana de Ciudad del Este, que abrange empresas de Ciudad del Este, Presidente

Franco, Hernandarias e Minga Guazú.

Após as respostas aos questionários, verificou-se se foram fornecidas todas as informações solicitadas. Os dados que faltaram foram complementados por e-mail e telefonemas, e em alguns casos foi realizada novamente visitas às centrais dosadoras. Esta etapa foi realizada no mês de novembro de 2022

Os dados das empresas foram autodeclarados ou tomados de documentos disponibilizados pelas mesmas. Não houve auditoria externa das informações. A identidade e informações específicas de cada empresa são mantidas em sigilo conforme acordo entre a pesquisadora e as empresas.

Figura 7: Etapas da pesquisa



Fonte: Autoria Própria, 2022.

3.1.2.6. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO

a) UNIDADES DE MEDIDA

Como as unidades de medida das informações respondidas no formulário foram escolhidas pelos responsáveis, estes foram transformados em dados com unidades pré-estabelecidas e iguais entre os participantes, para a análise, sendo,

- Unidades de medida padronizadas:
 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias: MPa;
 - Volume de concreto: m³;

- Insumos (cimento, areia, brita): kg ou t;
 - Água: kg ou L;
 - Aditivos: kg;
 - Energia elétrica: kWh;
 - Combustíveis: L;
 - Índice de ligantes (IL): $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$;
 - Fator de emissão de CO₂: kgCO_2/kg ;
 - Intensidade de CO₂ (IC): $\text{kgCO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$.
- Fatores de conversão:
 - Resistência à compressão do concreto: $1 \text{ kg/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$;
 - Cimento ensacado: sacos de 50 kg;
 - Água: densidade da água é $1,0 \text{ kg/m}^3$;
 - Aditivos: segundo as fichas técnicas dos aditivos, em média, a densidade do produto é de $1,1 \text{ kg/L}$;
 - Óleo diesel: densidade de $0,84 \text{ kg/L}$.

b) BALANÇO DE MASSA

No fluxo de massa foram comparados os dados declarados de consumo anual total de cada empresa (considerados como consumo real utilizado) com os dados calculados a partir do consumo de materiais e a produção anual de concreto (valores teóricos). Assim, a equação para obter o consumo teórico (C_{teorico}) em kg é dada por:

$$C_{\text{teorico}} = C_{\text{insumo}} * P_{\text{concreto}} \quad \text{Eq. (I)}$$

Assim, o C_{insumo} é o consumo de cada insumo (em kg/m^3) e P_{concreto} é a produção total de concreto no período (em m^3).

c) INDICE DE LIGANTES (IL)

O índice de ligantes foi calculado conforme equação proposta por DAMINELI et al, 2010:

$$IL = \frac{l}{rc} \quad \text{Eq. (II)}$$

Onde,

IL : índice de ligantes, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$;

l : quantidade de ligantes, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

rc : resistência à compressão do concreto em 28 dias, em MPa.

d) EMISSÕES DE CO₂

Devido a que não foram encontradas referências bibliográficas de emissões de CO₂ dos insumos comprados no Paraguay e utilizados no concreto na RMCDE, foram adotados os fatores de emissão calculados pelo SIDAC e vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Fatores de emissão de CO₂ dos insumos ($F_{\text{emissão}}$)

PRODUTO	EMIÇÃO DE CO ₂ (kg CO ₂ /kg) - MÉDIA	FONTE
Água da rede pública	0,000	SIDAC, 2022a
Areia processada	0,006	SIDAC, 2022b
Brita	0,002	SIDAC, 2022c
Cimento - CP II-F	0,763	SIDAC, 2022d
Cimento - CP V	0,885	SIDAC, 2022e
Energia Elétrica	0,070	SIDAC, 2022k
Combustão de óleo diesel	2,290	SIDAC, 2022l

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com o fator de emissão ($F_{\text{emissão}}$) e o consumo (C_{insumo}) dos insumos materiais e da energia (eletricidade e combustíveis fósseis), é possível calcular as emissões das entradas na produção do concreto, pela seguinte equação:

$$E_{\text{insumo}} = F_{\text{emissão}} * C_{\text{insumo}} \quad \text{Eq. (III)}$$

Onde,

E_{insumo} : Emissões de CO₂ do insumo, em $\text{kgCO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$;

$F_{\text{emissão}}$: Fator de emissões de CO₂ do insumo, em $\text{kgCO}_2/\text{kg insumo}$;

C_{insumo} : Consumo em massa do insumo, em kg/m^3 .

Para obter as emissões de CO₂ totais do concreto (c), são somadas todas as emissões de cada insumo (E_{insumo}) calculadas previamente, temos então:

$$c = \sum_{x=1,2,..} E_{\text{insumos}_x} \quad \text{Eq. (IV)}$$

Onde, x é o identificador dos insumos.

A água proveniente da rede pública não possui emissões associadas à sua distribuição (SIDAC, 2022a). Já os aditivos não são considerados na somatória das emissões pois geralmente representam apenas de 0,2% a 0,5% da massa do concreto (SIDAC, 2022f; CHEUNG; ROBERTS; LIU, 2017; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018; NRMCA, [s.d]).

O consumo de energia elétrica e de combustíveis foi obtido através do SIDAC. Fez-se uma média do consumo estimado (mais o desvio padrão) para as resistências de 20, 25, 30, 35 e 40 MPa (SIDAC, 2022f; SIDAC, 2022g; SIDAC, 2022h; SIDAC, 2022i; SIDAC, 2022j). Obteve-se os valores de 4kWh/m³ de eletricidade e 5,08L/m³ de óleo diesel.

e) INTENSIDADE DE CO₂ (IC)

Analogamente ao IL, a intensidade de CO₂ foi baseada na equação de DAMINELLI et al, 2010:

$$IC = \frac{c}{rc} \quad \text{Eq. (V)}$$

Onde,

IC: intensidade de CO₂, em kgCO₂. m⁻³.MPa⁻¹;

c: total de emissões de todos os materiais, em kg. m⁻³;

rc: resistência à compressão do concreto em 28 dias, em MPa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS

O formulário do levantamento de dados foi preenchido por quatro empresas participantes da pesquisa durante os meses de setembro e outubro de 2022. As empresas foram nomeadas de 'A' a 'D' sem nenhum critério de classificação de nomenclatura, para manter a confidencialidade dos dados.

Os resultados analisados abaixo são referentes às informações autodeclaradas pelas empresas no questionário e de documentos facilitados à pesquisadora. Os dados não foram auditados após a coleta. Com isso, podem não ser correspondentes efetivamente à realidade.

A Empresa D apresentou informações consideradas inconsistentes nas respostas ao formulário e por isso foi retirada da amostragem. No entanto, foram realizadas as mesmas análises e encontram-se disponíveis no Apêndice B apenas a título de documentação. Assim, as seguintes informações e resultados são apenas referentes as empresas A, B e C.

A produção anual das de todas empresas somam mais de 44.600 m³ de concreto, produzindo concretos com resistências à compressão desde 9 a 60 MPa. Todas as empresas possuem o sistema comum de dosagem de concreto, onde a mistura dos insumos ocorre no interior dos caminhões-betoneira, a exceção da Empresa C, que possui um misturador horizontal no qual ocorre há mistura dos insumos e após isso o concreto é transferido ao caminhão-betoneira para o transporte.

As Empresas A e C possuem centrais de britagem acopladas às centrais dosadoras de concreto, sendo na prática, duas centrais atuantes na mesma área e que dividem os equipamentos, como por exemplo, caminhões, pá carregadeira, tanque de água, central administrativa, e outros.

Apesar das três empresas apresentarem produções anuais similares, a Empresa C destaca-se com 36,9% de todo o volume de concreto estudado. O período dos dados preenchidos no formulário é dos meses de junho/2021 a junho/2022 para a Empresa A e de setembro/2021 a setembro/2022 para as Empresas B e C, respeitando o período considerado de 12 meses.

Na Quadro 1 abaixo é apresentado um resumo com as principais características das empresas estudadas.

Quadro 1: Resumo das principais características das centrais dosadoras

EMPRESA	PRODUÇÃO ANUAL (m ³)	% DO TOTAL	MISTURA EM CAMINHÃO-BETONEIRA?	POSSUI CENTRAL DE BRITAGEM?	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		PERÍODO DOS DADOS
					Mín.	Máx.	
A	13.849,40	31,0%	SIM	SIM	9	50	jun/21 a jun/22
B	14.304,50	32,0%	SIM	NÃO	10	60	set/21 a set/22
C	16.477,00	36,9%	NÃO*	SIM	15	40	set/21 a set/22

* Possui misturador horizontal.

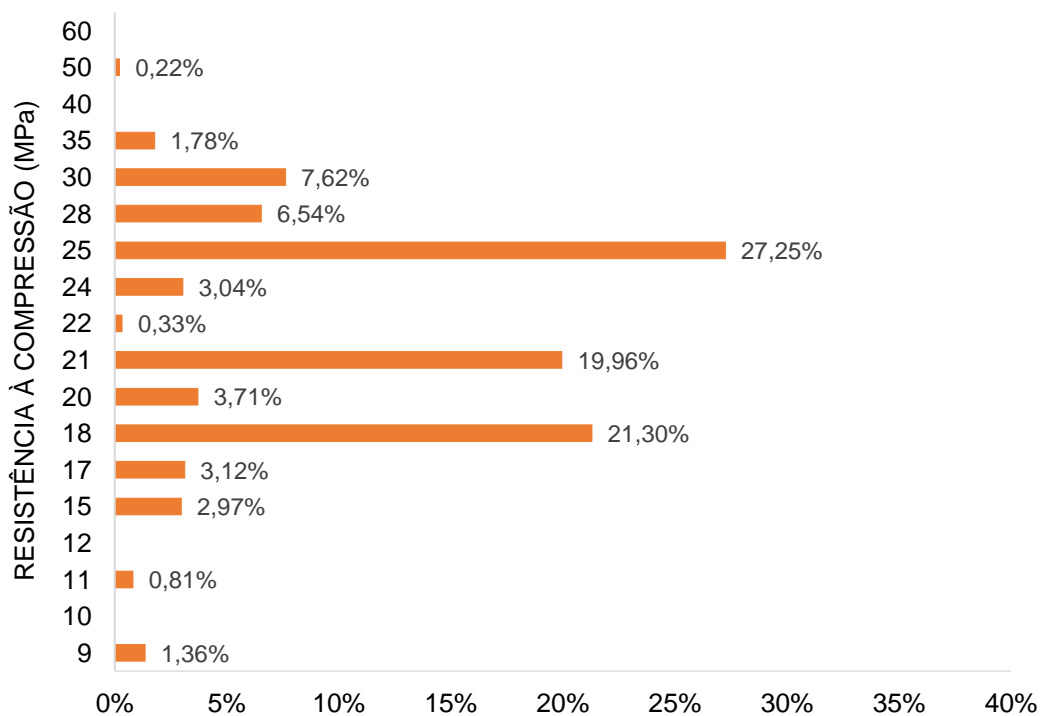
Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Tabela 2, são detalhados os concretos por resistência que cada empresa produz. Para os concretos convencionais, o abatimento (*Slump test*) varia de 10mm ± 2mm até 20mm ± 2mm. A Empresa B declarou que produz concreto auto-adensável de resistência 60 MPa e *Slump Flow Test* de 65mm ± 5mm. As porcentagens de produção de cada empresa por tipo de concreto encontram-se representados nos gráficos 1,2 e 3 abaixo.

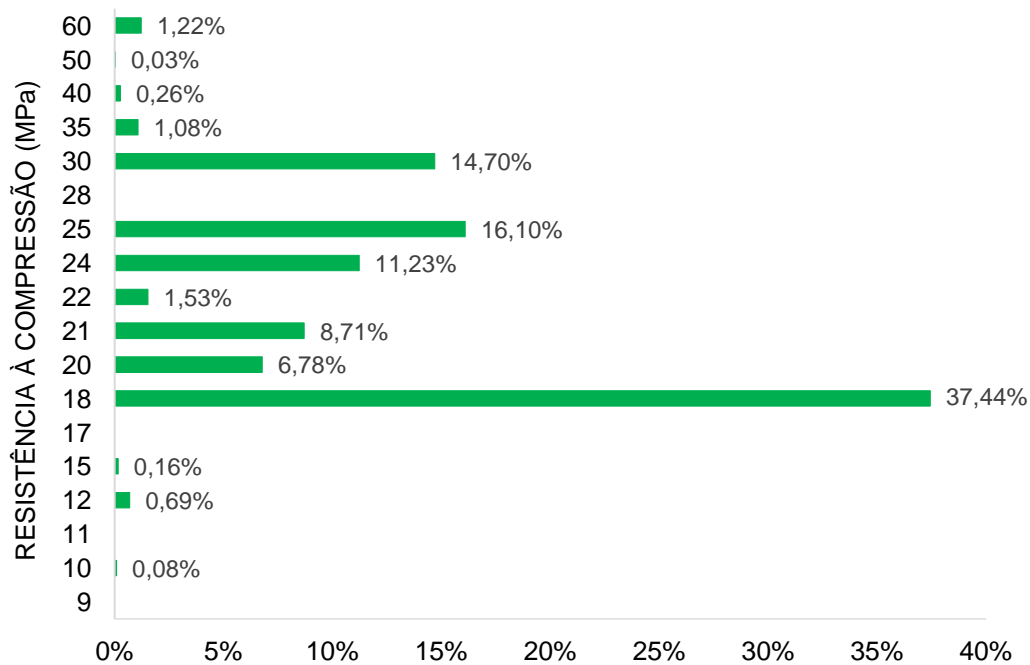
Tabela 2: Concretos por resistência à compressão por empresa

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C
9	●		
10		■	
11	●		
12		■	
15		■	▲
17			
18	●	■	▲
20	●	■	▲
21	●	■	
22		■	
24		■	
25	●	■	▲
28			
30		■	▲
35	●	■	▲
40	●	■	▲
50	●	■	
60		■	

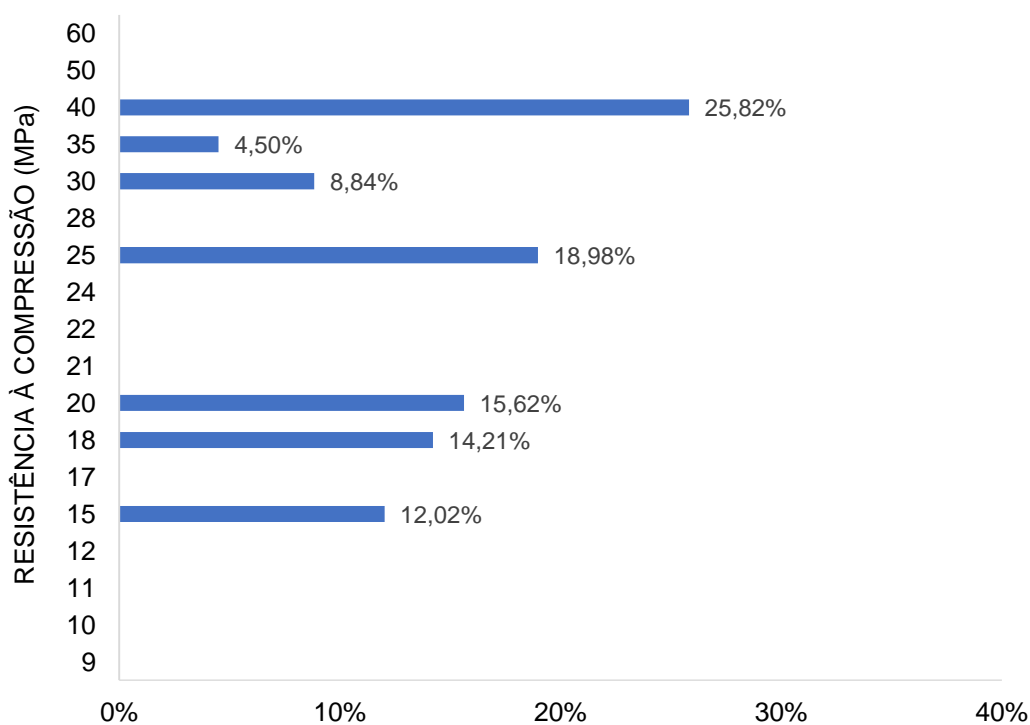
Fonte: Autoria própria, 2022.

Gráfico 1: Produção no período por resistência à compressão da Empresa A

Fonte: Autoria própria, 2022.

Gráfico 2: Produção no período por resistência à compressão da Empresa B

Fonte: Autoria própria, 2022.

Gráfico 3: Produção no período por resistência à compressão da Empresa C

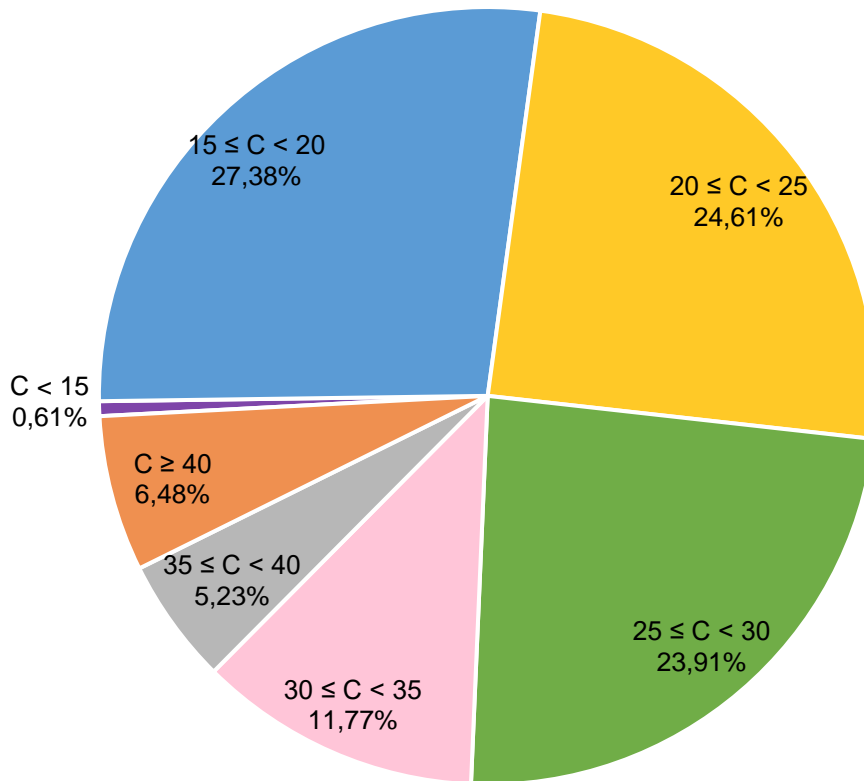
Fonte: Autoria própria, 2022.

Nota-se que concretos de alta resistência (40, 50 e 60MPa) são produzidos em pouca quantidade nas Empresas A e B, sendo <1% da produção total. Já a Empresa C produziu 25,8% apenas do concreto de 40MPa, possivelmente devido à construção de obras de arte especiais (como viadutos, pontes, rodovias, etc.) ou a edificações com sistemas produtivos não tradicionais (como por exemplo, paredes de concreto).

Assim também, concretos de baixa resistência (<10MPa) são poucos produzidos pois não possuem função estrutural, podendo ser para regularização do solo, impedir o contato da estrutura com o solo, entre outros.

As resistências que a Empresa A mais produz são 18, 21 e 25 MPa, geralmente mais utilizadas em edificações de zona urbana. Assim também, as resistências mais produzidas pela empresa B são 18, 25 e 30 MPa. A Empresa C, a exceção do concreto de resistência de 40 MPa mais produzido, os concretos mais produzidos são de 18, 20 e 25 MPa, seguindo a tendência do mercado urbano da região.

As resistências à compressão do concreto de todas as empresas foram separadas em classes de resistência com intervalos de 5 MPa, tem-se assim o Gráfico 4 abaixo. De todos os concretos produzidos, cerca de ~76% são de resistências desde 15 MPa até 29 MPa.

Gráfico 4: Produção total de concreto por classes de resistência na RMCDE das empresas estudadas

Fonte: Autoria própria, 2022.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS

Além da classificação por resistências à compressão, o concreto também é caracterizado pelas propriedades dos seus insumos componentes, sendo eles, o cimento, areia, brita, água, aditivos e adições.

O cimento utilizado nas empresas B e C é o CP VARI de origem brasileira e a Empresa A utiliza o cimento CP II-F 40 de origem nacional (Paraguay) em seus traços. No entanto, em alguns meses do período considerado na pesquisa, houve uma escassez no mercado deste tipo de cimento, sendo utilizado o CP IV 32 em substituição (apenas ~4,3% do consumo de cimento total anual). No total dos dados fornecidos para esta pesquisa, foram utilizados 18,3 Mt de cimento, dos quais, cerca de 14,3 Mt (78%) corresponde ao CP VARI.

A areia utilizada na produção, em todas as empresas, é de origem natural extraída dos rios da região ou de cidades próximas (a maior distância de transporte é de cerca de ~300km) e seu armazenamento é em baias ao ar livre, próximos às centrais dosadoras.

Não foi informado se as empresas A e C realizam algum tipo de caracterização da areia, já na empresa B, verifica-se a granulometria e o teor de umidade do material. Sabe-se que a empresa A não avalia a umidade da areia, e a água acumulada devido às chuvas é empiricamente reduzido no traço do concreto durante a fabricação. Também, esta empresa possui uma grande quantidade e variabilidade de fornecedores, dificultando assim a padronização das características da areia.

O agregado graúdo é extraído na própria RMCDE e são utilizadas as granulometrias de brita 0 ou pó de brita, brita 1 e brita 2. As empresas A e B utilizam uma mistura de brita 1 e brita 0 e tem nomenclatura de “brita 1 fina”, no entanto, não foi informado as proporções de cada brita da mistura. Também, a empresa A utiliza uma brita 0 lavada, que segundo o responsável, tem função de melhorar a aderência do agregado com a pasta de cimento.

Não foi informado pelas empresas o tipo de rocha utilizado, porém, sabe-se que a origem do agregado das empresas A e C são na própria central e a empresa B possui uma central de britagem em uma localidade próxima. Assim, pelo cadastro de centrais de britagem do VMME (2022), o agregado de todas as empresas é do tipo basalto, principal rocha da região (VMME, 2014).

A empresa B forneceu os resultados dos ensaios granulométricos realizados em setembro de 2022, sendo: Brita 0 – intervalo de 1,2mm a 9,5mm; brita 1 – intervalo de 9,5mm a 19,1mm; brita 2 – de 12,7mm a 19,1mm.

Todas as centrais utilizam aditivos⁴ plastificantes ou superplastificantes em suas dosagens. As empresas A e C, utilizam aditivos polifuncionais, que além de serem plastificantes são retardadores de pega, devido ao elevado tempo de transporte associado as altas temperaturas durante as estações quentes, podendo comprometer a trabalhabilidade do concreto. A empresa B possui uma particularidade exigida por um cliente, o uso de um aditivo complementar⁵ para altas resistências.

Os aditivos tem origem, em sua maioria, brasileira e apenas a empresa A utiliza aditivos de origem paraguaia. Nos concretos de resistência a partir de 25MPa, a empresa A utiliza dois aditivos simultâneos (superplastificante e retardador de pega) e a empresa C é a que mais utiliza o insumo (em relação a quantidade de cimento do traço).

A água utilizada para o concreto é proveniente de poços artesianos da

⁴ Os aditivos utilizados são: CQ PLAST PN 7016 (Plastificante polifuncional de pega normal); PLASTIMENT R (Plastificante retardador de pega); VISCOCRETE-ARTIGAS (Superplastificante); SIKAMENT 90 (Plastificante e/ou superplastificante); POLIFUNCIONAL – MATCHEM (Plastificante e retardador de pega).

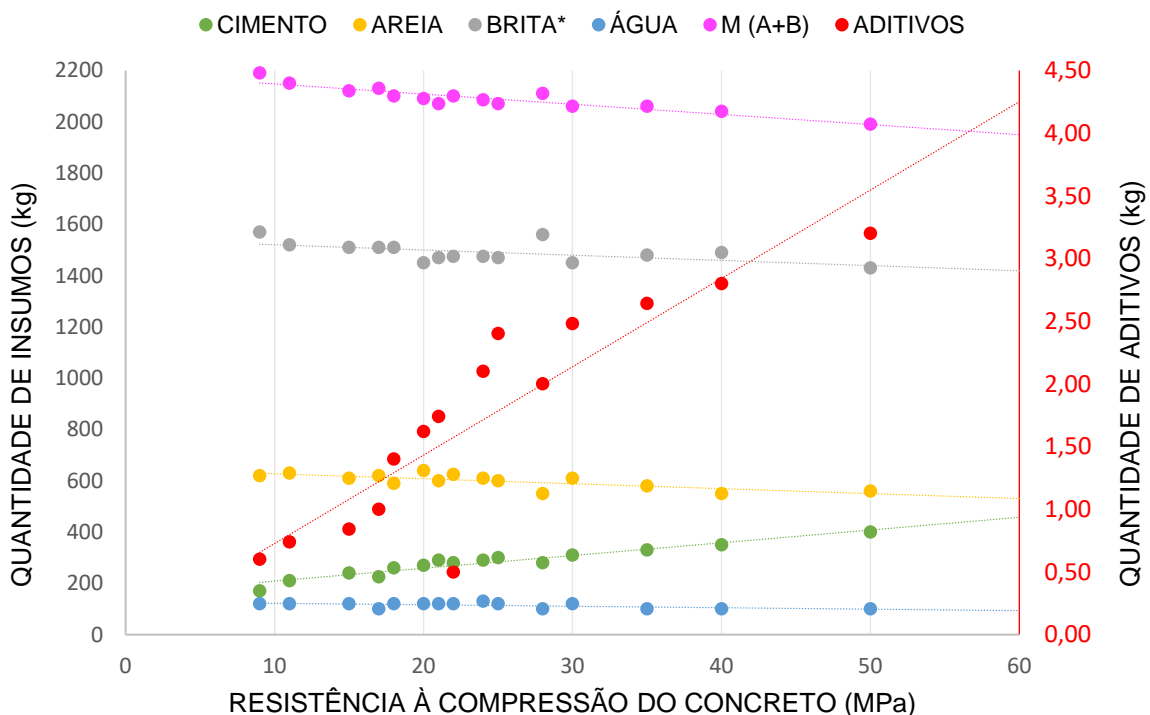
⁵ PENETRON ADMIX (impermeabilizante por cristalização).

própria central de dosagem ou de rios da região, como o Rio Acaray ou o Rio Monday. Em nenhuma foi informada se há algum tipo de tratamento da água ou controle tecnológico para verificar o seu grau de pureza.

De todas as centrais, apenas a Empresa B utiliza adições em seus produtos, que são o metacaulim e a fibra de nylon. O metacaulim é utilizado apenas nos concretos de resistência de 40, 50 e 60MPa, o qual permite reduzir os efeitos das reações álcali-silica e também pode ser um substituto do cimento, podendo aumentar a resistência à compressão (THECONCRETESOCIETY, [s.d]). Já a fibra de nylon é utilizada apenas no concreto de 60MPa auto-adensável, e, pela ficha técnica do fornecedor, a função é reduzir as fissuras.

Abaixo, são apresentados os traços por resistência à compressão dos concretos produzidos pelas empresas. Todas as britas, com diferentes granulometrias, foram unificadas em apenas um elemento gráfico, assim também com os aditivos da Empresa A, que utiliza dois aditivos para as resistências a partir de 25MPa.

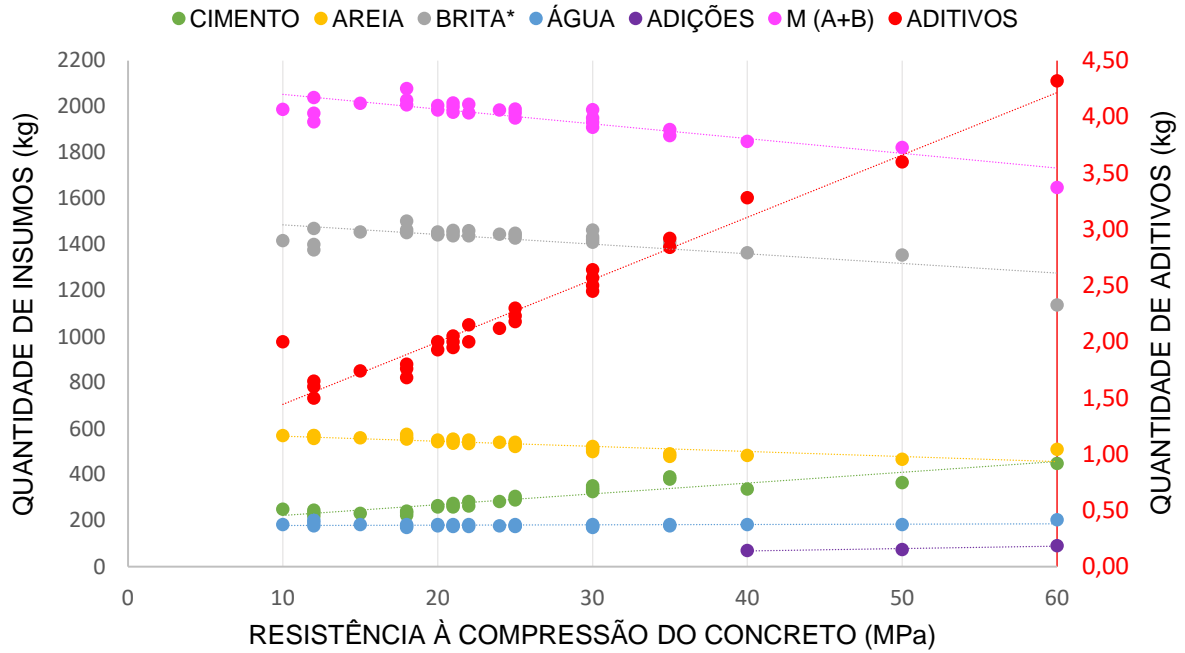
Gráfico 5: Consumo de insumos por resistência à compressão da Empresa A



* Brita 0 pó, brita 0 lavada, brita 1, brita 1 fina

Fonte: Autoria própria, 2022.

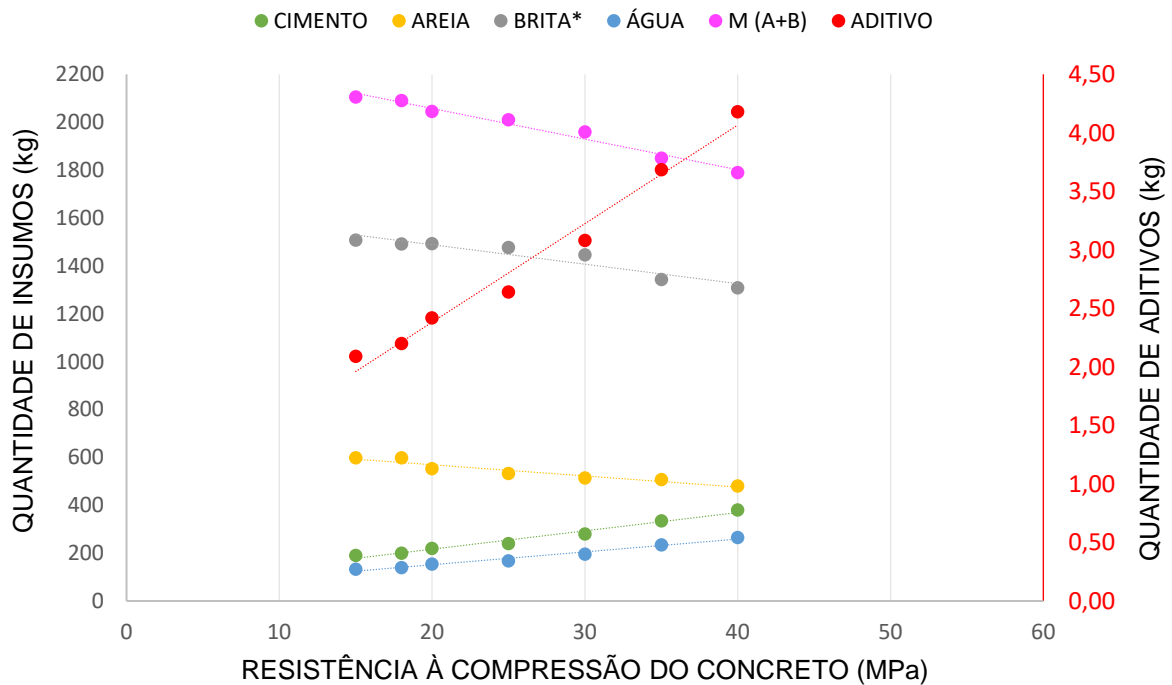
Gráfico 6: Consumo de insumos por resistência à compressão da Empresa B



*Brita 0, brita 1 e brita 1 fina

Fonte: Autoria própria, 2022.

Gráfico 7: Consumo de insumos por resistência à compressão da Empresa C



*Brita 0, brita 1 e brita 2

Fonte: Autoria própria, 2022.

Nos gráficos das três empresas, é visível que para o aumento da resistência do concreto, é necessário o aumento do consumo de cimento e aditivos. E

também, para baixas resistências nota-se um alto teor de agregados 'M' (soma de areia e brita), pois, ao reduzir o cimento, o volume é mantido constante com o acréscimo de outro material, os agregados.

Para as empresas A e B, é vista uma constância da água, isso é justificado pelo fato de que todas as resistências de concreto são dosadas com uma quantidade de água similar e, posteriormente à mistura, é acrescentada a água restante até obter o nível desejável de *slump*. A empresa A adiciona água ao concreto empiricamente, já a empresa B possui quantidades pré-estabelecidas, no entanto, não foram informados esses dados.

As retas de consumo de água e de cimento da Empresa C são paralelas devido a que, a relação água/cimento é mantida constante para todas as resistências ($a/c=0,7$).

A empresa A apresenta alguns pontos afastados da linha de tendência para todos os insumos. Isso pois, em um primeiro momento do levantamento de dados, a empresa forneceu o consumo dos materiais de todas as resistências produzidas no período considerado, a exceção dos traços 17, 22, 24 e 28 MPa. Posteriormente, estes dados foram coletados, porém notou-se que apenas essas resistências não seguem a linha de tendência do gráfico.

Entende-se que todos os dados não tiveram a mesma origem de banco de dados ou que possuem valores mais atualizados àqueles fornecidos previamente. A diferença encontrada pode ser uma interferência na variação metodológica da coleta de dados, porém, não foram retirados das análises pois representam a realidade da empresa, ainda que com uma incerteza.

A empresa B utiliza adições em seus concretos de altas resistências, no entanto, no gráfico apenas foi representado o metacaulim. No concreto de 60MPa, também foram adicionados 0,5 m³ de fibra de nylon e 4,86kg do aditivo complementar (mencionado acima). Estes dois itens não figuram no gráfico pois possuem valores desproporcionais aos demais dados, sendo necessário alterar as escalas o que compromete a visualização e leitura das informações.

Em relação ao uso de britas de diferentes granulometrias, a empresa C utiliza as britas 0, 1 e 2 em todos os traços, sendo a única das empresas a utilizar a brita 2. Isso, provavelmente deve-se a uma questão de custos, uma vez que a brita 2 possui agregados com maiores dimensões é necessário menos processos de trituração. Também, pode se tratar de uma estratégia de empacotamento de partículas, assim obtém-se a

otimização da distribuição da curva granulométrica.

Na maioria dos traços da Empresa A são utilizadas as britas 0 (pó), brita 0 (lavada), brita 1 e brita 1 fina, porém, os concretos de 9, 11, 15, 22, 24 e 28MPa não contém a brita 0 (lavada). Como essa brita possui um processo a mais, a lavagem, possivelmente exista um critério de utilização apenas em alguns concretos, no entanto, a explicação não foi informada.

A empresa B, que utiliza a brita 0 (pó), brita 1 e brita 1 fina, delimita o uso da brita 1 fina apenas nos concretos de baixa resistência (10 e 12MPa) e de alta resistência (40, 50 e 60MPa). Assim, os concretos de 15 a 35MPa utilizam somente dois tipos de brita. Sabe-se que ao longo do período foram desenvolvidos traços adaptando-se às demandas do mercado, assim, existe a hipótese de que os traços foram modificados conforme a disponibilidade dos agregados na central. Porém, também não foi informado o motivo da escolha dos agregados.

Os aditivos são utilizados em quantidades distintas pelas empresas, contudo, não podem ser comparados pois não possuem as mesmas composições e funções. Para efeito informativo, seguem os consumos de aditivos em relação ao consumo de cimento para as resistências mínimas e máximas: empresa A de 0,35% até 0,8%; empresa B de 0,75% a 0,99% e a empresa C mantém constante em 1,1%.

4.3. BALANÇO DE MASSA

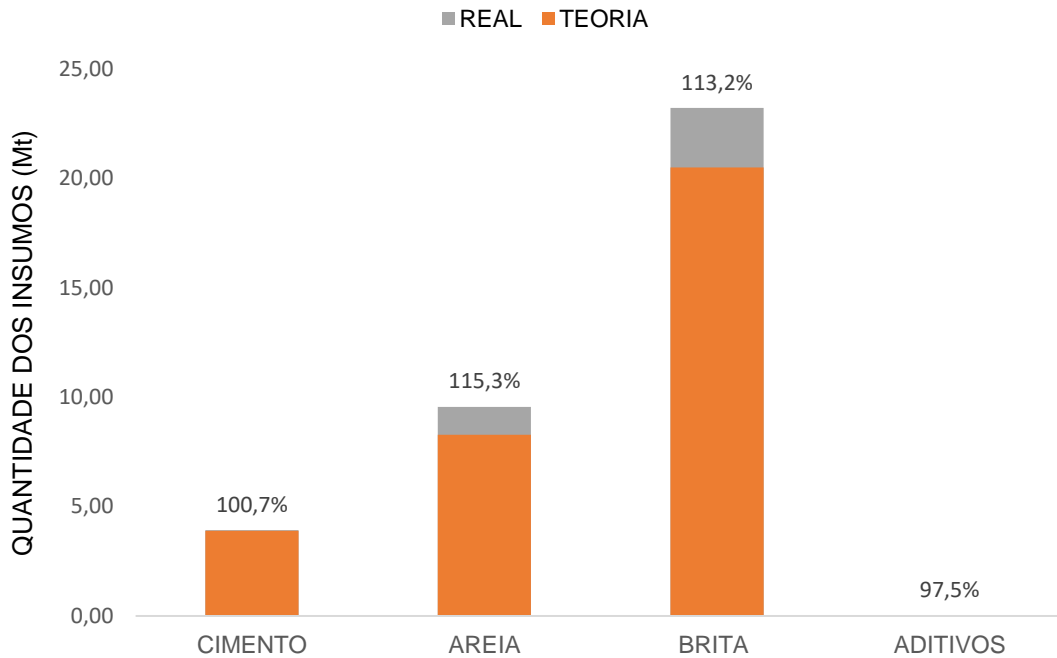
Para verificar a precisão das informações, foram comparados dados reais e teóricos. As informações reais são referentes ao controle próprio das empresas das saídas dos insumos, ou seja, o consumo real dos materiais. A empresa A disponibilizou planilhas de gestão interna contendo dados de volume e massa total utilizados dos insumos. Já a empresa B possui um sistema informatizado que fornece essas informações mensalmente e que foi disponibilizado.

Já os dados teóricos são calculados a partir dos traços e o volume total de concreto produzido no período. Tendo o consumo de insumos para a produção de 1m³ de concreto, multiplica-se pelo volume de concreto produzido, obtendo assim o consumo teórico dos materiais.

Os dados teóricos foram declarados apenas pelas empresas A e B, sendo representados os gráficos a seguir. Os percentuais apresentados são dos valores reais em

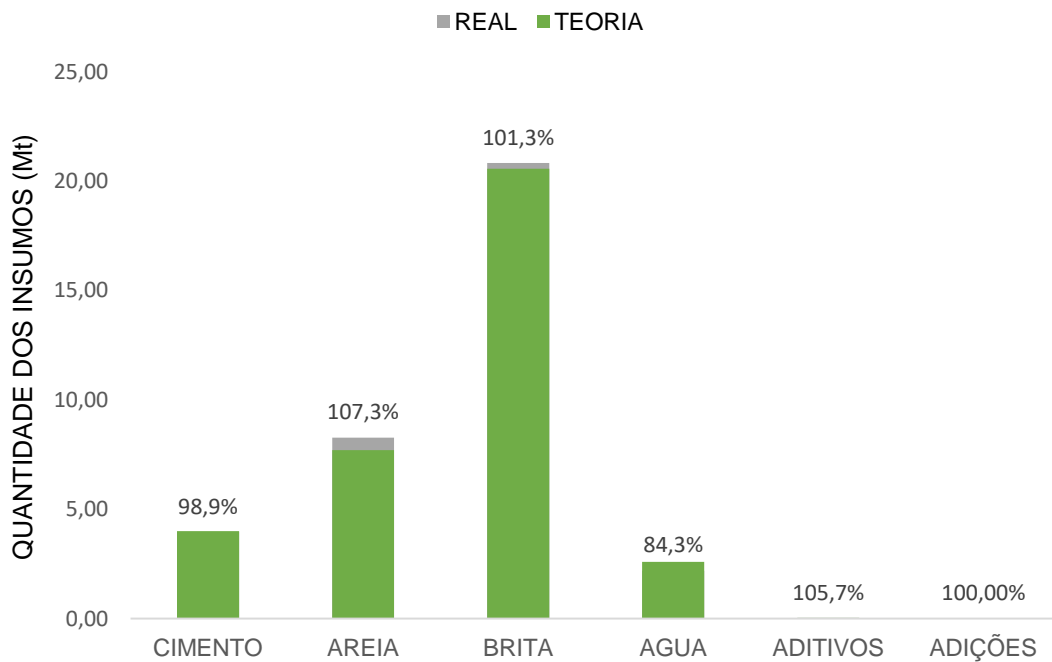
função dos valores teóricos (Real/Teoria).

Gráfico 8: Balanço de massa da Empresa A.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Gráfico 9: Balanço de massa da Empresa B.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A maior diferença encontrada entre o consumo real e o consumo teórico foi

dos agregados (areia e brita) de ambas as empresas.

Na empresa A existe a comercialização dos agregados diretamente ao mercado consumidor, isso pois: a) existe uma central de britagem acoplada a central de concreto que produz britas de várias granulometrias; b) a origem do árido fino é de cidades mais afastadas (~100 a 250km), sendo a empresa A a única das empresas participantes que possui este material e que, naturalmente, possui propriedades diferentes àqueles materiais disponíveis na região.

Sabe-se também que a empresa A produz argamassa para o mercado, no entanto, não se tem informações sobre a cadeia de produção deste produto e nem as proporções dos componentes.

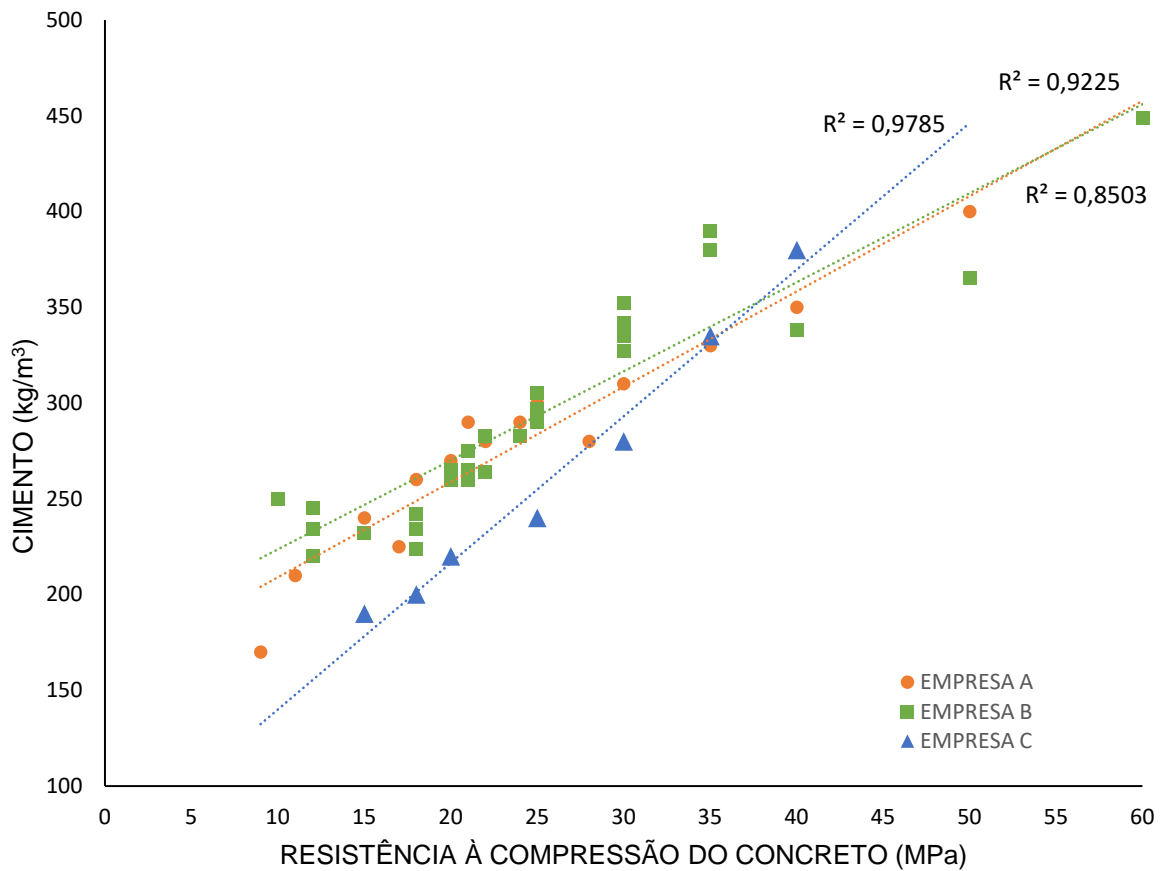
Somado à comercialização dos agregados, nota-se que, na Empresa B há uma variação do consumo real e teórico da areia em 7,3%, isso pode ser justificado devido ao pouco controle do inchamento da areia no transporte, perdas, desperdícios ou até erros no proporcionamento dos materiais.

Nota-se que para ambas empresas há pouca variação entre o consumo real e teórico para insumos como o cimento, os aditivos e as adições, isso pois, são materiais com maior custo e conseqüentemente são utilizados com maior controle para evitar desperdícios.

A empresa A não declarou o consumo real de água no período. Já a empresa B utiliza apenas 84,3% da água estipulada pelos traços, devido a que, durante a dosagem de concreto é colocada menos água para o transporte, assim, na chegada do caminhão-betoneira à obra é acrescentada a água restante com o objetivo de alcançar o *slump* solicitado.

4.4. CONSUMO DE CIMENTO

No gráfico 10 são apresentados os consumos de cimento em kg (para a produção de 1m³) para cada resistência à compressão do concreto, em MPa. Em geral, a empresa C é a que utiliza menos cimento por resistência à compressão. O maior consumo de cimento é da Empresa B, para um concreto auto-adensável com fck de 60 MPa foram utilizados 449kg de cimento. Já o menor consumo é da Empresa A, com 170kg para produção de 9MPa.

Gráfico 10: Consumo de cimento por resistência à compressão das empresas

Fonte: Autoria própria, 2022.

As linhas de tendência das empresas são do tipo linear. Quanto mais afastadas as linhas de tendência entre si, mais distante é o consumo de cimento das empresas. Para as resistências entre aproximadamente 15 a 25 MPa, as empresas A e B possuem consumo de cimento parecido.

São visualizadas grandes discrepâncias no consumo de cimento, como por exemplo, para o concreto de 30MPa, a empresa C utiliza 280 kg de cimento, a empresa A 310kg e a empresa B entre 327kg a 352kg, sendo a diferença entre o mínimo e o máximo valor de 72kg de cimento. A empresa C destaca-se com o consumo mais baixo de cimento, porque tem maior consumo de aditivos.

A empresa B forneceu os traços de cada resistência à compressão especificando o *slump* de cada uma delas, assim, para a mesma resistência existem mais de um consumo de cimento, como por exemplo, para o fck de 30MPa são utilizados 327, 335, 342 e 352, kg/m³ de cimento para os *slumps* de 10, 12, 14 e 16 +- 2mm, respectivamente.

Nas resistências mais elevadas da Empresa B (40, 50 e 60MPa) são

acrescentadas adições de metacaulim ao concreto, assim, é possível aumentar a resistência sem adição de cimento, isso justifica os mais baixos consumos de cimento da empresa nessas resistências.

A empresa C, em geral, é a que utiliza menos cimento nas resistências em relação às outras empresas, no entanto, a partir de 35 MPa a condição inverte-se, passando a ter o consumo mais elevado de cimento.

Segundo a ficha técnica do aditivo (reductor de água e retardador de pega), a recomendação de dosagem é de 0,5% a 1,5% e a empresa utiliza o consumo constante de 1,1% (em relação à massa de cimento). Acredita-se que, para continuar na tendência deveria aumentar-se o consumo de aditivos para uma maior redução do consumo de água e, conseqüentemente, um aumento de resistência. Assim como, pressupõe-se que nas baixas resistências, há um consumo excessivo de aditivos, e tendo como resultado, uma redução de água e um consumo de cimento baixo.

No que se refere a variação de granulometria dos agregados, a empresa C destaca-se por utilizar três dimensões de britas diferentes, o que favorece o empacotamento de partículas, assim, menor é o índice de vazios e menor o consumo de cimento.

As empresas A e B utilizam apenas as britas 0 e 1, diferenciando-se apenas pela brita 1 fina (mescla com diferentes dimensões de agregados na faixa da granulometria de brita 0 e 1) utilizada pela empresa A. Assim, em alguns casos, esta apresenta menor consumo de cimento do que a B.

Selecionou-se três resistências (20, 30 e 40 MPa) que todas as empresas produzem para realizar um comparativo de características. As variações de cimento entre o máximo e o mínimo utilizados são de 50, 72 e 42kg, respectivamente (a máxima diferença encontrada neste estudo é de 72kg).

Inicialmente, observa-se que a Empresa C mantém constante a proporção de água e aditivos para todas as resistências. Assim, ao usar mais aditivos do que realmente é necessário para garantir a trabalhabilidade do concreto, ocorre um desperdício do insumo e eleva o custo do concreto.

Agora, sabe-se que um bom desempenho dos agregados é que o teor de agregados (M) seja mais elevado em resistências mais baixas, o que claramente a Empresa C realiza em seus traços. Nas resistências de 20 e 30 MPa, o "M" é mais elevado do que as outras duas empresas. No entanto, no concreto de 30 MPa, a empresa C apresenta um "M" menor que o das outras empresas, o que pode ser a causa de ter um consumo de

cimento maior do que elas.

As empresas A e B possuem características similares em todas as resistências. No entanto, para a resistência de 20MPa, com um teor de agregados (M) muito próximo, a empresa A utiliza menos aditivo e menor relação água cimento que a empresa B. Assim, é possível reduzir aproximadamente de 10kg de cimento por m³.

Quadro 2: Consumo de insumos (em relação ao cimento) das empresas para as resistências à compressão de 20, 30 e 40MPa

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	20 MPa						
EMPRESA/INSUMO	CIMENTO (kg)	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	ADITIVO	M (A+P)
EMPRESA A	270	1	2,37	5,37	0,44	0,60%	7,74
EMPRESA B	260	1	2,12	5,60	0,68	0,74%	7,71
EMPRESA C	220	1	2,51	6,78	0,70	1,10%*	9,30

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	30 MPa						
EMPRESA/INSUMO	CIMENTO (kg)	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	ADITIVO	M (A+P)
EMPRESA A	310	1	1,97	4,68	0,39	0,80%	6,65
EMPRESA B	327	1	1,60	4,48	0,52	0,75%	6,08
EMPRESA C	280	1	1,83	5,17	0,70	1,10%*	7,00

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	40 MPa						
EMPRESA/INSUMO	CIMENTO (kg)	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	ADITIVO	M (A+P)
EMPRESA A	350	1	1,57	4,26	0,29	0,80%	5,83
EMPRESA B	338	1	1,43	4,04	0,45	0,97%	5,47
EMPRESA C	380	1	1,27	3,44	0,70	1,10%*	4,71

*Valor fixo para todas as resistências

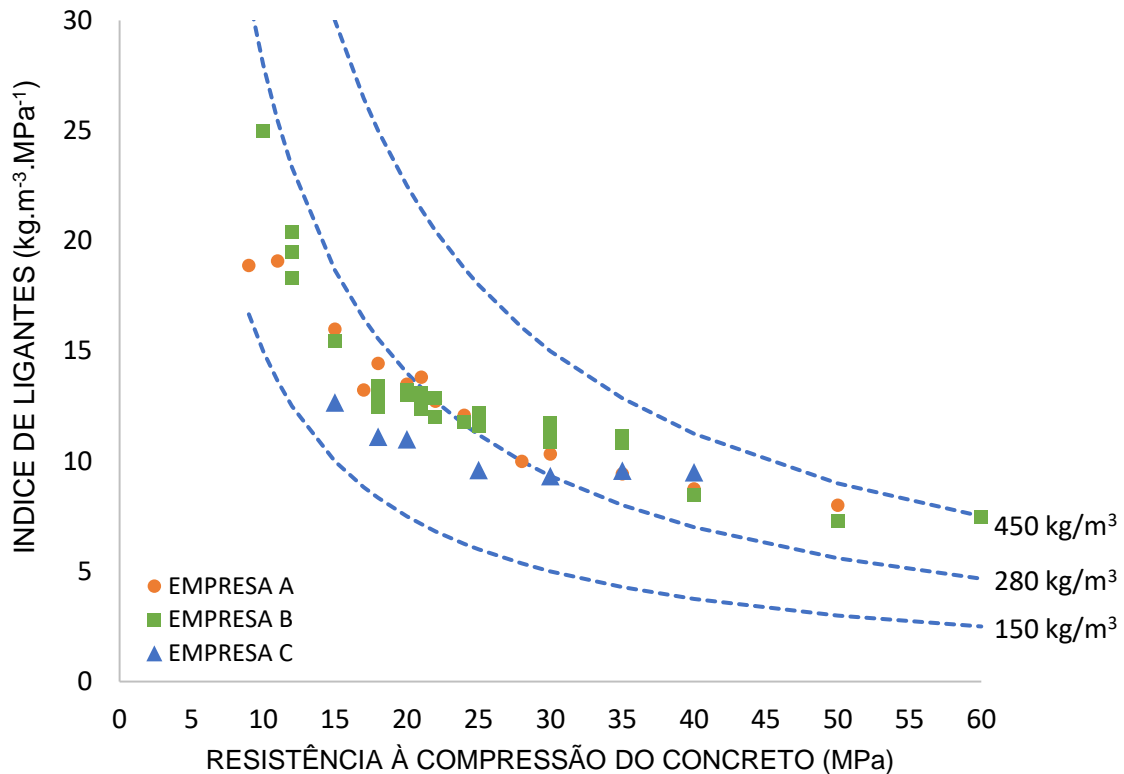
Fonte: Autoria própria, 2022.

4.5. ÍNDICE DE LIGANTES (IL)

O índice de ligantes (IL) pode variar desde 7 a 25 kg.m⁻³.MPa⁻¹. O ILmínimo observado é para os concretos acima de 50 MPa e o ILmáximo encontra-se na

resistência de 10 MPa. Para um mesmo concreto de resistência 30 MPa, pode ter IL de 9 a 12 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$.

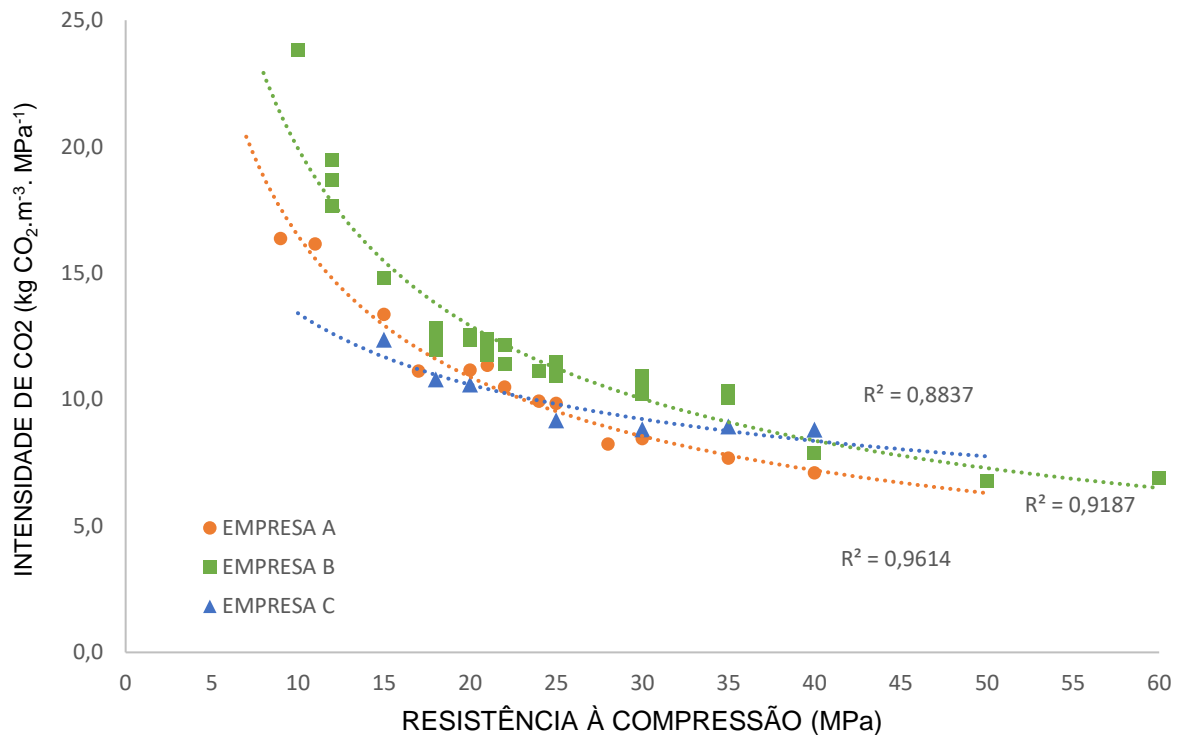
Gráfico 11: Índice de Ligantes (IL) das empresas



A NBR 12655: 2015 sobre preparo, controle, recebimento e aceitação de concreto de cimento Portland estabelece o consumo de cimento mínimo de 280 kg/m^3 (para um concreto estrutural de classe de agressividade ambiental II – urbana). Sendo assim, a maior parte dos concretos produzidos pela empresa C não atendem, para edificações urbanas, o cimento mínimo estabelecido por norma. Já as empresas A e B, possuem concretos com $>280 \text{ kg/m}^3$ a partir da resistência de 20MPa.

4.6. EMISSÕES DE CO_2

Considerando as emissões incorporadas aos insumos, acrescidas as emissões devido ao uso de energia elétrica utilizada nos equipamentos da central dosadora e à queima de combustíveis fósseis pelos caminhões-betoneira e pás carregadoras, foi possível calcular a intensidade de CO_2 em função da resistência à compressão aos 28 dias, como visto no gráfico 12.

Gráfico 12: Intensidade de CO₂ (IC) das empresas.

Fonte: Autoria própria, 2022.

As menores intensidades de CO₂ são de 6,8 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹ para um concreto com resistência de 50MPa e um com 60MPa da Empresa B. Justifica-se pelo fato da utilização de metacaulim na composição, emissões do qual não está sendo considerado neste estudo, pois não há informações sobre as emissões desse insumo. No entanto, é utilizado apenas 75kg desta adição, sendo uma quantia baixa as emissões provavelmente também serão baixas, não afetando os resultados de forma geral.

O segundo menor dado é do concreto de 40 MPa, com 7,1 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹, este concreto não possui adições em seu traço e, é possível visualizar que é possível produzir um concreto com menos emissões, como por exemplo, para a mesma resistência, a empresa B tem intensidade de 7,9 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹ e a empresa C, 8,8 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹.

Em primeira análise, a empresa C apresenta as menores intensidades de CO₂ pois utilizam menos cimento que as demais empresas. A empresa A, por sua vez, possui IC próximo ao da empresa C pois utiliza cimento com baixo fator de emissões. Assim como, apesar de que o consumo de cimento das empresas A e B são similares, as emissões da empresa A são inferiores.

O cimento CP II F40, utilizado pela empresa A, possui um fator de emissão

cerca de ~14% menor que o fator de emissão do cimento CP VARI (SIDAC, 2022d; SIDAC, 2022e), devido ao teor de clínquer do cimento. A composição do CP II F40 é de 94-80% de clínquer mais gesso e adição de filer calcário entre 6 e 20% (YGUAZUCEMENTOS, [s.d]). Já o CP VARI de origem brasileira possui composição de 90-100% de clínquer e 0-10% de material carbonático (ABNT, 2018).

A empresa B apresenta os maiores valores de IC pois utiliza: a) elevados consumos de cimento; b) cimento mais poluente e, c) apenas dois tipos de agregados graúdos. Tem uma redução somente nos concretos com adições.

As emissões devido à energia foram calculadas com dados secundários disponíveis no SIDAC. O consumo de energia elétrica adotado foi de 4kWh/m³ e o consumo de óleo diesel de 5,08L/m³, considerando o caso de maior consumo.

No Quadro 3 são vistas as disparidades entre os dados fornecidos pelas empresas nos formulários e aqueles calculados com os índices do SIDAC. Isso se deve, principalmente, a indisponibilidade dos dados desagregados por parte das empresas, ou seja, os limites da fronteira dos dados existentes não são os mesmos deste trabalho (portão ao portão). As porcentagens de diferença são do valor fornecido em relação aos dados do SIDAC (fornecido/sidac).

Tabela 3: Diferença entre os valores fornecidos e os calculados de consumo de energia elétrica e combustíveis fósseis

EMPRESA	ENERGIA ELÉTRICA (kWh)			COMBUSTIVEIS FOSSEIS (L)		
	FORNECIDO	SIDAC	DIFERENÇA (%)	FORNECIDO	SIDAC	DIFERENÇA (%)
EMPRESA A	54.998,8	55.397,6	0,7%	110.705,0	70.354,9	57,4%
EMPRESA B	125.106,0	57.218,0	118,6%	44.347,8	72.666,9	39,0%
EMPRESA C	0,00	65.908,0	-	63.536,0	83.703,2	24,1%

Fonte: Autoria própria, 2022.

A empresa A forneceu o consumo elétrico, em valores monetários, apenas do mês de outubro de 2022, assim, o período não corresponde ao analisado nos demais dados (jun/21 a jun/22). Ainda assim, é imprecisa a suposição de que o consumo elétrico de apenas um mês é igual para todos os meses do período, descartando as variações da produção.

Também, a empresa exerce outras atividades que consomem energia elétrica dentro do mesmo espaço, como por exemplo, central de britagem, jazida de extração de minérios, escritório administrativo, empresa construtora e oficinas mecânicas.

Assim, o dado fornecido não é a energia consumida na produção de concreto desassociado das demais atividades.

Em relação aos combustíveis fósseis, a empresa A forneceu apenas o consumo total de diesel utilizado nos caminhões-betoneiras e nas bombas de lançamento de concreto. Não está dentro da fronteira de estudo os combustíveis utilizados por outros maquinários em obra e também não inclui a distância de transporte desde a saída da fábrica até a obra. Devido a qualidade dos dados, não é possível utilizá-los no estudo.

A empresa B, por sua vez, forneceu o dado de consumo elétrico, porém é um valor muito elevado em relação ao calculado pelo SIDAC (~2,2 vezes maior). O combustível é estimado pela quantidade de concreto produzido, assim, não há o controle do consumo real. A estimativa é um índice de 1,5L/m³ de consumo de diesel dos caminhões-betoneira desde o início da produção de concreto até a entrega em obra, e o índice de 2,5L/m³ quando a descarga em obra seja através de bombas de concreto. Então, mesmo que o índice represente a realidade, o consumo estimado estaria fora dos limites da fronteira do estudo.

A Empresa C não forneceu dados de consumo elétrico, já que, ao igual que a empresa A, realiza outras atividades que consomem energia na central de concreto, não sendo possível separá-los. E, assim como ambas empresas acima, no valor referente ao consumo de combustíveis fósseis é englobado o transporte dos caminhões-betoneira até a obra, equipamentos da central de britagem, bombas de concreto e outros. Assim, também ultrapassa a fronteira de estudo.

Devido as informações deficientes, optou-se por assumir os dados de energia elétrica e consumo de combustíveis fornecidos pelo SIDAC para obter resultados condizentes e apropriados com a realidade e uma melhor estimativa das emissões de CO₂. No entanto, existe uma incerteza por se tratar de valores secundários, uma vez que, o país possui uma matriz energética diferente à do Brasil.

Como as emissões de CO₂ provenientes do uso de energia elétrica e queima de combustíveis fósseis utilizam os mesmos fatores de emissões para as três empresas, a intensidade de CO₂ difere entre as empresas devido à composição dos insumos materiais do concreto.

Na tabela 4 abaixo, é apresentado o consumo total dos insumos no período considerado, e através dela com os fatores de emissões do Sidac, foi possível obter as emissões totais de CO₂ de cada insumo, vistos na Tabela 5. Vale destacar que a quantidade dos insumos secos (cimento, areia e brita) da tabela são referentes ao consumo real da

central.

Tabela 4: Consumo total dos insumos secos, energia elétrica e combustíveis, no período considerado, das empresas

EMPRESA	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	BRITA (kg)	ELETRICIDADE (kWh)	COMBUSTÍVEIS (kg)
EMPRESA A	3.899.872,0	8.285.058,5	20.502.013,0	55.397,6	59.098,2
EMPRESA B	4.000.694,3	7.706.527,2	20.570.499,7	57.218,0	61.040,2
EMPRESA C	4.434.700,0	8.844.485,0	23.612.310,0	65.908,0	70.310,6

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 5: Emissões de CO₂ total dos insumos, no período considerado, das empresas (em kgCO₂)

EMPRESA	CIMENTO	AREIA	BRITA	ELETRICIDADE	COMBUSTÍVEIS	TOTAL
EMPRESA A	2.974.432,4	51.823,0	47.861,9	3.877,8	135.334,8	3.213.330,0
EMPRESA B	3.542.014,7	48.204,3	48.021,8	4.005,3	139.781,9	3.782.028,1
EMPRESA C	3.926.261,6	55.322,2	55.122,9	4.613,6	161.011,4	4.202.331,8

Fonte: Autoria própria, 2022.

Na tabela 6, podem ser vistas as proporções de cada item, em média, na composição das emissões totais de CO₂ do concreto de cada empresa. Destaca-se as emissões do cimento acima de 90% devido as altas emissões incorporadas no processo de produção do produto, devido a isso também, é possível visualizar similaridade entre o IL e o IC.

Tabela 6: Percentual das emissões de CO₂ dos insumos das empresas

EMPRESA	CIMENTO	AREIA	BRITA	ELETRICIDADE	COMBUSTÍVEIS
EMPRESA A	92,6%	1,61%	1,49%	0,12%	4,21%
EMPRESA B	93,6%	1,27%	1,27%	0,11%	3,70%
EMPRESA C	93,4%	1,32%	1,31%	0,11%	3,83%

Fonte: Autoria própria, 2022.

O combustível fóssil representa apenas a utilização no interior da central de concreto. A eletricidade representa baixa porcentagem pois o consumo energético dos equipamentos da central é reduzido, além de que, a matriz energética brasileira tem grande parcela composta por energia renovável, assim, não contribui significativamente para as emissões.

O processo de produção da areia e da brita utiliza apenas maquinários para

extração dos recursos naturais, também não sendo significativo (quando comparado ao cimento), com valores de emissão de CO₂ de $6,26 \cdot 10^{-3}$ e $2,33 \cdot 10^{-3}$ kgCO₂/kg agregado, respectivamente (SIDAC, 2022b; SIDAC, 2022c).

Com o objetivo de realizar uma análise comparativa das emissões calculadas neste estudo com os resultados obtidos por outros pesquisadores, foram representadas na Tabela 7 as emissões das empresas para os concretos de resistências de 20, 25, 30, 35 e 40 MPa.

Tabela 7: Emissões de CO₂ das empresas para resistências de 20, 25, 30, 35 e 40MPa

EMPRESA	EMISSÕES (kg CO ₂ /m ³)				
	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
EMPRESA A	223,4	246,0	253,7	268,8	283,9
EMPRESA B	249,3	280,0	316,7	357,2	315,5
EMPRESA C	211,8	229,3	264,5	313,0	352,5

Fonte: A autoria própria, 2022.

No quadro 3 são apresentadas referências de resultados obtidos por pesquisadores, assim como o limite da fronteira e a localidade da realização do estudo.

Quadro 3: Referências de Emissões de CO₂ e IC

N°	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	EMIÇÃO DE CO ₂ (kg CO ₂ /m ³)	IC (kgCO ₂ /m ⁻³ .Mpa ⁻¹)	LIMITE DA FRONTEIRA	LOCAL	FONTE
1	20	168,8 - 283,5	8,44 - 14,18	berço-a-portão	Região Sudeste	SIDAC, 2022f
	25	200,0 - 306,4	8,00 - 12,26			SIDAC, 2022g
	30	228,2 - 339,4	7,61 - 11,31			SIDAC, 2022h
	35	256,6 - 373,6	7,33 - 10,67			SIDAC, 2022i
	40	283,4 - 395,5	7,09 - 9,89			SIDAC, 2022j
2	20	122,9	6,15	berço-a-portão (obra)	Região norte do RS	SANTORO; KRIPKA, 2016
	40	167,7	4,19			
3	20	90 - 310	4,5 - 15,5	portão-a-portão (cimento)	Brasil	DAMINELI et al, 2010
	40	90 - 480	2,25 - 12			
	60	100 - 590	1,7 - 9,8			
4	20	178	8,9	portão-a-portão	Brasil	VIEIRA et al, 2022
	25	195	7,8			
	30	210	7,0			VIEIRA; FIGUEIREDO; MORIGGI; JOHN, 2019
	35	230	6,6			
	40	249	6,2			
5	15	290 - 480	19,3 - 32,0	berço-a-portão	Rio Branco - AC	PACHECO; OLIVEIRA; JOHN; ANGULO, 2022
	20	330 - 545	16,5 - 27,3			
	25	350 - 575	14,0 - 23,0			
	30	360 - 600	12,0 - 20,0			
	35	385 - 619	11,0 - 17,7			
6	20	40 - 270	2,0 - 13,5	portão-a-portão (cimento)	Brasil	OLIVEIRA V., 2015
	30	50 - 310	1,67 - 10,3			
	40	50 - 392	1,25 - 9,8			
7	15	185,5 - 222,3	12,4 - 14,8	portão-a-portão	Região metropolitana de Ciudad del Este - Paraguay	BURG, M., 2022
	20	211,8 - 249,3	10,6 - 12,5			
	25	229,3 - 280,0	9,2 - 11,2			
	30	253,7 - 316,7	8,5 - 10,6			
	35	268,8 - 357,2	7,7 - 10,2			
	40	283,9 - 352,5	7,1 - 8,8			

Fonte: Autoria própria, 2022.

A comparação entre as pesquisas tem grande incerteza, uma vez que o para cada estudo é delimitado um limite de fronteira que tem possibilidade de não ser igual. Além disso, o local de análise tem grande influência nas características e fornecimento dos insumos, assim como, especificações do processo produtivo do concreto. No entanto, as emissões de CO₂ calculadas possuem grandes margens de valores, permitindo a comparação.

Em relação ao SIDAC, as três empresas encontram-se dentro dos limites calculados, com destaque para as empresas A e C que estão mais próximas dos limites inferiores. O estudo de SANTORO; KRIPKA, 2016 apresenta valores representantes apenas de uma empresa no Rio Grande do Sul (RS), assim, os valores são demasiados particulares as características de produção dela. Uma vez que, as emissões de CO₂ são muito abaixo daquelas calculadas neste estudo. Além disso, está incluso o transporte da central até a obra, o que não é abarcado neste estudo.

Os estudos de OLIVEIRA V., 2015 e de DAMINELLI et al, 2010 analisa as emissões da produção de concreto considerando apenas as emissões relativas ao cimento, assim, apresenta valores um pouco abaixo daqueles calculados neste estudo. No estudo de PACHECO; OLIVEIRA; JOHN; ANGULO, 2022, os autores concluem que na região as emissões são maiores às nacionais, por isso, as emissões das empresas encontram-se abaixo do limite inferior calculado pelos autores.

O estudo de VIERA et al, 2022 é um comparativo das emissões para concretos com adições, no entanto, os valores representados no quadro são as emissões do concreto de referência de VIEIRA; FIGUEIREDO; MORIGGI; JOHN, 2019. Trata-se de concretos com consumo de cimento CP II E40 de ~205 a 295 kg/m³.

As empresas A e C apresentam valores de emissões próximos ao do estudo, pois, a maior parte das emissões são devido ao uso de cimento. A empresa A utiliza maiores consumos de cimento, no entanto, utiliza cimento com adições e a empresa C tem um consumo de cimento próximo a da pesquisa. No entanto, como previamente destacado, a empresa C possui um aumento de cimento fora da tendência e provavelmente isso se deve a dosagem do aditivo.

Quadro 4: Quadro resumo dos resultados

Em resumo:

Os concretos com menores emissões de CO₂ são de altas resistências (50 e 60MPa) devido a adição de metacaulim em sua composição;

O concreto com maior emissão de CO₂ é de resistência de 10MPa e é devido ao uso de muito cimento (250kg/m³);

Em geral, os concretos com menores emissões de CO₂ são devido ao uso de cimento com adições (e menor fator de emissão) e também, ao baixo consumo de cimento;

Os menores consumos de cimentos estão relacionados ao alto consumo de aditivos e a utilização de britas com diferentes granulometrias (favorecendo o empacotamento de partículas);

Sugere-se que para melhorar a eficiência ambiental em termos de emissão de carbono que as empresas com maiores emissões utilizem cimentos com menores fatores de emissão, desenvolvam dosagens que promovam o empacotamento de partículas utilizando agregados com granulometrias diferentes, utilizem aditivos em proporção adequada ao traço e também adições na composição.

Assim como, para uma melhor precisão da estimativa de CO₂ é necessário o controle do processo em relação à energia elétrica, a água e os combustíveis utilizados para a produção de concreto.

Fonte: Autoria própria, 2022.

4.7. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Nos casos estudados, nenhuma das empresas possui o controle do consumo de eletricidade e combustíveis apenas nos limites no interior da central de concreto. Assim, a estimativa precisou utilizar dados secundários que podem não ser condizentes com a realidade. Adicionalmente, necessita-se de dados nacionais sobre as emissões dos insumos energéticos usados na região/país.

Outro indicador de desempenho ambiental de importância é o consumo de água. Nas empresas estudadas, apenas a empresa B possui controle do consumo de água utilizado nos traços de concreto, e também, em nenhuma delas há controle da água gasta para lavagem de caminhões, equipamentos e outras atividades.

Também, é necessária a coleta dos dados caracterizado os concretos, além da resistência à compressão, pelo teste de *slump*. Como visto nos dados da empresa B, as proporções dos insumos variam dependendo do valor requerido para o *slump*. Assim como, pelas informações coletadas, a empresa A varia o consumo de água dos traços de acordo com o *slump* requerido.

Os dados de resistência à compressão utilizados neste estudo são apenas teóricos, pois, não foi possível acessar os dados de resistência pós concretagem, os quais podem ser diferentes da teoria. Existe a possibilidade de que as resistências aos 28 dias não estejam sendo iguais às resistências dos traços, onde estaria sendo utilizado cimento inadequadamente conforme o requerido. Isto faria dos resultados de emissão CO₂ em relação à resistência, mais apurados.

Também, os dados respondidos no formulário não foram auditados, o que traria maior robustez aos resultados. Nas empresas onde se teve a possibilidade de fazer visitas técnicas foram coletadas mais informações para compreender o processo da produção.

5. CONCLUSÃO

As emissões de CO₂ do concreto dosado em central na RMCDE variaram entre 6,8 a 23,8 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹, com uma média de 11,6 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹. A maior diferença encontrada foi para um concreto de resistência à compressão de 35 MPa: valores de IC mínimo de 7,7 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹ e máximo de 10,3 kgCO₂.m⁻³.MPa⁻¹.

Foi constatado que as emissões relacionadas ao cimento contribuem em ~90% das emissões do concreto. As menores emissões estão relacionadas com a utilização de cimento com adições (menor teor de clínquer) e ao baixo consumo de cimento. A maior variabilidade foi para um concreto de 30MPa, com diferença entre o mínimo e o máximo valor de 72kg de cimento.

Foram observadas estratégias para a redução da pegada de carbono, que são: uso de adições (como o metacaulim), de aditivos plastificantes (ou redutores de água), cimentos com menor fator de emissão e utilização de britas com diferentes granulometrias (favorecendo o empacotamento de partículas).

Por falta de algumas informações primárias das empresas, foram utilizados dados secundários de consumo de energia elétrica e combustíveis. Assim, ainda é necessário um maior controle por parte das empresas da quantidade utilizada destes insumos. Também, notou-se a ausência de monitoração do consumo de água, tanto como insumo no concreto ou quando utilizada para lavagem de caminhões e outras atividades. Foram utilizados dados relativos ao Brasil de fatores de emissão dos insumos devido à ausência de informações nacionais no Paraguay.

Recomenda-se a otimização das estratégias de redução das emissões, como uso de proporções adequadas de aditivos, utilização de outros tipos de adições, utilização de cimentos com menores fatores de emissão, empacotamento de partículas, controle do consumo de água nas dosagens (e o fator água/cimento), entre outros.

Com isso, os valores obtidos das estimativas das emissões de CO₂ e o *benchmark* adquirido da região permitem a melhoria do desempenho do concreto nesse quesito. Um comparativo entre as empresas permite visualizar a possibilidade de produzir concretos com a mesma resistência à compressão com menor pegada de carbono.

Para trabalhos futuros de ACV-s com objetivos similares, recomenda-se analisar a resistência real adquirida aos 28 dias, uma vez que podem ser diferentes às resistências dos traços; coletar dados de *slump*, pois como visto, o consumo de cimento pode ser variável; analisar o nível de empacotamento dos agregados. Além de, principalmente, desenvolver fatores de emissão para a região.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais às empresas que forneceram os dados para que esta pesquisa seja possível. Também, aos responsáveis por disponibilizarem de tempo para responder aos formulários, para as visitas técnicas e paciência para atender aos questionamentos e explicar todos os processos realizados nas empresas.

7. REFERÊNCIAS

ABC. ABC, 2022. Menor dinamismo de obras y excesiva importación afectan a las cementeras, 2022. Disponível em: <https://www.abc.com.py/nacionales/2022/06/06/menor-dinamismo-de-obras-y-excesiva-importacion-afectan-a-las-cementeras/>. Acesso em ago. 2022.

AGENCIA DE INFORMACIÓN PARAGUAYA (IP). IP, 2021. Obras. Disponível em: <https://www.ip.gov.py/ip/obras/> Acesso em mai. 2022.

ALTO PARANÁ. Alto Paraná, [s.d]. Ciudad del Este. Disponível em: <http://www.altoparana.gov.py/v0/index.php/ciudad-del-este>. Acesso em mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. 2 ed. Rio de Janeiro: 2009a. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. 1 ed. Rio de Janeiro: 2009b. 46 p.

BANCO CENTRAL DEL PARAGUAY (BCP). BCP, 2022a. Serie detallada de comercio exterior: año 2021. Disponível em: <https://www.bcp.gov.py/userfiles/files/Imp%20Partida%20Pais%20%20-%20%20%C3%B1o%202021%283%29.xlsb>. Acesso em mai. 2022

BANCO CENTRAL DEL PARAGUAY (BCP). BCP, c2022b. Anexo Estadístico del Informe Economico. Disponível em: https://www.bcp.gov.py/userfiles/files/Anexo_Estadistico_Informe_Econ%C3%B3mico_19_09_2022.xlsx Acesso em ago. 2022

BANCO MUNDIAL (BM). Grupo Banco Mundial, c2022. Paraguay: panorama general. Disponível em:

<https://www.bancomundial.org/es/country/paraguay/overview#1> Acesso em jul. 2022.

CÁMARA DE COMÉRCIO PARAGUAY BRASIL (CCPB). CCPB, 2016. Plataforma país: inversiones en Paraguay. Disponível em: http://www.ccpb.org.py/plataforma_pais.php . Acesso em mai. 2022.

CAMPOS, H.F.; KLEIN, N.s.; MARQUES FILHO, J.. Proposed mix design method for sustainable high-strength concrete using particle packing optimization. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 265, p. 121907, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121907>.

CECEL, R. T. et al. Consumption of superplasticizer admixture for different cements and their binder efficiency. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1260-1287, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952019000600003>.

CÉSAR, G. R. C.. Integração produtiva Paraguai-Brasil: Novos passos no relacionamento bilateral. Boletim de Economia e Política Internacional/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília, v. 1, n. 22, p. 19-32, Jan./Abr. 2016.

CHEUNG, J.; ROBERTS, L.; LIU, J.. Admixtures and sustainability. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 114, p. 79-89, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.04.011>.

CONSEJO NACIONAL DE LA INDÚSTRIA MAQUILADORA DE EXPORTACIÓN (CNIME). Maquila Paraguay, c2011. Disponível em <https://www.mic.gov.py/maquila/ES/como-funciona.php/>. Acesso em 14 de maio de 2022.

DAMINELI, B. L. Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013. P. 237.

DAMINELI, B. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M.. Influence of packing and dispersion of particles on the cement content of concretes. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 998-1024, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952017000500004>.

DAMINELI, B. L et al.. Measuring the eco-efficiency of cement use. *Cement And Concrete Composites*, [S.L.], v. 32, n. 8, p. 555-562, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.009>.

DAMINELI, B. L. Towards a low-CO₂ concrete chain: the importance of increasing the quality control of concrete production. *Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)*, [S.L.], v. 19, p. 1-12, 21 out. 2021. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/1984-4506.risco.2021.183326>.

DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS, ENCUESTAS Y CENSO (DGEEC). Atlas Censal del Paraguay: Alto Paraná, 2004. Disponível em < <https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/Atlas%20Censal%20del%20Paraguay/13%20Atlas%20Alto%20Parana%20censo.pdf> .Acesso em 26 de abril de 2022.

DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS, ENCUESTAS Y CENSO (DGEEC). Paraguay: Proyección de la población por sexo y edad, según distrito, 2000-2025 Revisión 2015, 2015. Disponível em < https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/documento/7132_Proyeccion%20Distrital.pdf Acesso em 26 de abril de 2022.

EUROPEAN FEDERATION OF CONCRETE ADMIXTURES ASSOCIATIONS (EFCA). c2019. Environmental Benefits of Admixtures for a sustainable concrete: An EFCA Position Paper. Disponível em: <https://www.efca.info/download/efca-position-paper-r5-final-pdf/#> . Acesso em jun. 2022.

FAVIER, A. et al. A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry: Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050. ETH Zurich, [S.L.]: 2018. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000301843>

FELIX, E. F.; POSSAN, E.. Balance emissions and CO₂ uptake in concrete structures: simulation based on the cement content and type. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 135-162, fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952018000100008>.

DIAZ, G. E. Recycled concrete from production to hardening stages. In: *Concrete Recycling: Research and Practice*. CRC Press, New York: 2019.

GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION (GlobalABC); INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. IEA, Paris: 2020.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). *Futuro del Hormigón: Plan de trabajo hacia una industria del cemento y hormigón neutra en carbono para 2050 de la Asociación Mundial de Productores de Cemento y Hormigón*. Londres, Reino Unido, 2021a.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). *Futuro del hormigón*. 2021b. Disponível em: <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/11/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Spanish.pdf> .Acesso em mai. 2022.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). GCCA, 2022a. *About Cement and Concrete*. Disponível em: <https://gccassociation.org/our-story-cement-and-concrete/>. Acesso em jun. 2022.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). GCCA, c2022b. *Granulated blastfurnace slag (GBFS)*. Disponível em: <https://gccassociation.org/cement-and-concrete-innovation/clinker-substitutes/granulated-blastfurnace-slag-gbfs/> . Acesso em jun. 2022.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). GCCA, c2022c. Fly ash. Disponível em: <https://gccassociation.org/cement-and-concrete-innovation/clinker-substitutes/fly-ash/> . Acesso em jun. 2022.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (GCCA). GNR: Getting the Numbers Right. 2022d. Disponível em <<https://gccassociation.org/gnr/>> Acesso em fev. 2022.

GRASSI, B. Estado del Clima Paraguay 2019: Cambio climático, evidencias científicas e impactos. MADES-STP. Asunción, Paraguay, 2020.

GREENPEACE. GREENPEACE UK, [s.d]. What causes climate change?. Disponível em: <https://www.greenpeace.org.uk/challenges/climate-change/what-causes-climate-change/> .Acesso em mar. 2022.

HABERT, G. et al. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. Nature Reviews Earth & Environment, [S.L.], v. 1, n. 11, p. 559-573, set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>.

HERTWICH, E. et al. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme (UNEP). UNESCO, Nairobi: 2020.

INDÚSTRIA NACIONAL DEL CEMENTO (INC). Informe de Gestión 2020. 2020. Disponível em <https://www.inc.gov.py/application/files/1716/0979/1536/Informe_de_gestion_2020_.pdf>. Acesso em abr. 2022.

INDÚSTRIA NACIONAL DEL CEMENTO (INC). Informe de Gestión 2021. 2021. Disponível em <https://www.inc.gov.py/application/files/5316/4201/2670/INFORME_DE_GESTION_2021_r.pdf>. Acesso em abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTADÍSTICA (IBGE). IBGE, c2017. Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/panorama> . Acesso em ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICIT). Avaliação do Ciclo de Vida, [s.d]. Pensamento do Ciclo de Vida. Disponível em: <https://acv.ibict.br/acv/pensamento-do-ciclo-de-vida/>. Acesso em: 23 maio 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS (INDEC). INDEC, c2022. Proyecciones por departamento. Disponível em: <https://sitioanterior.indec.gov.ar/bajarCuadroEstadistico.asp?idc=461D2F7110BC1A31A57A7EA6259612A1352304115BEF235E0C5371E28A532BF2AA27FA3CBA79CEDC> . Acesso em ago. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). Alto Paraná: proyecciones de población por sexo y edad, 2021. Disponível em <https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202021/10_Alto%20Parana_2021.pdf> Acesso em fev. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University, United Kingdom, 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Cambio Climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: 2015. 157 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy Technology Perspectives 2020. IEA: 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf>. Acesso em: abr. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Material efficiency in clean energy transitions. France: 2019. Disponível em: < https://iea.blob.core.windows.net/assets/52cb5782-b6ed-4757-809f-928fd6c3384d/Material_Efficiency_in_Clean_Energy_Transitions.pdf>. Acesso em: mai. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD); CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE (CSI). Technology Roadmap: Low carbon transition in the cement industry. IEA, Paris: 2018. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry>>. Acesso em: fev. 2022.

JOHN, V. M. Versão editada de capítulo a ser publicado no livro: Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. G Isaia, editor. IBRACON: 2017.

JOHN, V. M. et al. Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances and future potential. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 114, p. 65-78, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.013>.

JOHN, V. M. et al, F. A.. Rethinking cement standards: opportunities for a better future. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 124, p. 105832, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105832>.

JOHN, V. M. et al. Proposta de método prático para avaliar o desempenho ambiental no ciclo de vida da construção. Concreto & Construções, [S.L.], n. 100, p. 48-56, 2020. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2020.100.0002>.

LARRAND F. ; COLINA H. Concrete Recycling: Research and Practice. CRC Press, New York: 2019.

LIFE CYCLE INITIATIVE (LCI). Life Cycle Initiative. What is Life Cycle Thinking, c2022. Disponível em <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle->

thinking/what-is-life-cycle-thinking/. Acesso em 20 de maio de 2022.

LIMA, F. R. F. Desenvolvimento regional na fronteira Foz Do Iguaçu/BR - Ciudad Del Este/PY. 2011. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LIMA, J. A. R. Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas. 2010. 129 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

LOPES, H. M. T. Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland. 2019. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2019.

MADES/ PNUD, 2022. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Paraguay 2022-2030. Asunción, Paraguay. 120 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestructura, propiedades e materials. 3. ed. IBRACON, 2008.

MERCOSUL. N° 13/19. ACORDO SOBRE LOCALIDADES FRONTEIRIÇAS VINCULADAS. Disponível em: <
https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/75399_DEC_013-2019_PT_Acordo%20Localidades%20Frontericas.pdf> Acesso em ago. 2022.

MILLER, S. A. ; HORVATH, A.; MONTEIRO, P. J. M. Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. Environmental Research Letters, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 074029, jul. 2016. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074029>.

MILLER, S. A.. Supplementary cementitious materials to mitigate greenhouse gas emissions from concrete: can there be too much of a good thing?. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 178, p. 587-598, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.008>.

MILLER, S. A et al. Achieving net zero greenhouse gas emissions in the cement industry via value chain mitigation strategies. *One Earth*, [S.L.], v. 4, n. 10, p. 1398-1411, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oneear.2021.09.011>.

MILLER, S. A. et al.. Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. *Cement And Concrete Research*, [S.L.], v. 114, p. 115-124, aug. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026>.

MINISTÉRIO DE HACIENDA (MH). Brasil: Perfil Económico y Comercial – Junio 2020. Asunción: 2020. Disponível em < https://economia.gov.py/application/files/1715/9361/8217/130_-_anexo_memo_DI_-_PEC_de_Brasil_2020.pdf > Acesso em abr. 2022.

MINISTÉRIO DE INDÚSTRIA Y COMÉRCIO (MIC). Datos Abiertos, 2022. Conjunto de datos. Disponível em < <http://datos.vue.gov.py/> > Acesso em abr. 2022.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES (MOPC). MOPC, 2022. Puente de la Integración. Disponível em: https://www.mopc.gov.py/index.php/buscador?search_paths%5B%5D=&submit=Buscar&query=puente+de+la+integracion . Acesso em ago. 2022.

MPA THE CONCRETE CENTRE. *Concrete Quarterly: Spring 2021, Issue number 271*. Disponível em <<https://www.concretecentre.com/getmedia/84bdd367-de2b-4ec6-bd7f-fbececb07142/CQ274-Spring-2021.aspx>> Acesso em mar. 2022.

MPA THE CONCRETE CENTRE. *Material Efficiency: Design guidance for doing more with less, using concrete and masonry*. London: 2018. Disponível em: <https://www.concretecentre.com/Publications-Software/Publications/Material->

Efficiency.aspx. Acesso em jun. 2022.

MÜLLER, H. S.; HAIST, M.; VOGEL, M.. Assessment of the sustainability potential of concrete and concrete structures considering their environmental impact, performance and lifetime. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 67, p. 321-337, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.039>.

MUNICIPALIDAD DE CIUDAD DEL ESTE (MCDE). Ciudad del Este 2022-2026: Plan Estratégico de Desarrollo Turístico. Ciudad del Este, 2022. Disponível em: <https://mcde.gov.py/wp-content/uploads/2020/03/PET-CDE-2022-2026-Version-1.0.pdf> . Acesso em ago. 2022.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Climate.org, 2022. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> . Acesso em abr. 2022.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA). NRMCA, [s.d]. About Concrete. Disponível em: <https://www.nrmca.org/about-nrmca/about-concrete/> Acesso em mai. 2022.

NEVILLE, A.M. Propriedades do Concreto. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NOTRE DAME GLOBAL ADAPTATION INITIATIVE (ND-GAIN). University Notre Dame, c2022. Rankings: Paraguay. Disponível em: <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/> Acesso em jul. 2022.

OLIVEIRA, L. S. Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: 2015. 155 p.

OLIVEIRA, V. C. H. C. Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos estruturais. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: 2015. 92 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Nações Unidas, [s.d]. Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Nações Unidas, 2022. O que são as mudanças climáticas?. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-sao-mudancas-climaticas>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ÖZBAY, E.; ERDEMIR, M.; DURMUS, H. İ.. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 105, p. 423-434, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.153>.

PACHECO, A. A. L. OLIVEIRA, L. S. JOHN, V. M. ANGULO S. C “Transportation impact on CO₂ emissions of concrete: a case study in Rio Branco/Brazil”, *Rev. IBRACON Estrut. Mater.*, vol. 15, no. 6, e15609, 2022, <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000600009>

PARAGUAY. LEY n. 251, de 4 de nov. de 1993. QUE APRUEBA EL CONVENIO SOBRE “CAMBIO CLIMATICO” ADOPTADO DURANTE LA CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO – LA CUMBRE PARA LA TIERRA-, CELEBRADA EM LA CIUDAD DE RIO DE JANEIRO, BRASIL. Asunción, 1993. Disponível em: <http://dncc.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/11/Ley-251-93.pdf> Acesso em jul. 2022.

PARAGUAY. LEY n. 5681, de 6 de oct. de 2016. QUE APRUEBA EL ACUERDO DE PARÍS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, Asunción, 2016. Disponível em: <https://bacn.gov.py/archivos/5243/20170215090536.pdf> Acesso em jul. 2022.

PARAGUAY. LEY n. 6709, de 26 de mar. de 2021. QUE APRUEBA EL ACUERDO ENTRE LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY Y LA REPÚBLICA FEDERATIVA DEL BRASIL SOBRE LOCALIDADES FRONTERIZAS VINCULADAS, Asunción, 2021. Disponível em: <https://www.bacn.gov.py/descarga/9516/LEY%206709.pdf> Acesso em ago. 2022.

PAZ, C. F.. Inventário do ciclo de vida aplicado à produção de agregados a partir de resíduos de construção e demolição. 2020. 117 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, 2020.

PILLAR, W; SEDRAN, T.; ROUGEAU, P. Specifications of concrete with recycled aggregates. In: Concrete Recycling: Research and Practice. CRC Press, New York: 2019.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). PCA: America's Cement Manufactures, 2019a. How Concrete is Made. Disponível em: <https://www.cement.org/cement-concrete/how-concrete-is-made/>. Acesso em 23 de maio de 2022.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). PCA: America's Cement Manufactures, 2019b. Cement and Concrete Basics FAQs. Disponível em: <https://www.cement.org/cement-concrete/cement-and-concrete-basics-faqs> . Acesso em 23 de maio de 2022.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). PCA: America's Cement Manufactures, 2019c. How Cement is Made. Disponível em: <https://www.cement.org/cement-concrete/how-cement-is-made>. Acesso em 23 de maio de 2022.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). PCA: America's Cement Manufactures, 2019d. Ready Mixed Concrete. Disponível em: <https://www.cement.org/cement-concrete/products/ready-mixed-concrete>. Acesso em 23 de maio de 2022.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). PCA: America's Cement Manufactures, 2019e. Chemical Admixtures. Disponível em: <https://www.cement.org/cement-concrete/concrete-materials/chemical-admixtures>. Acesso em 23 de maio de 2022.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). Roadmap to carbon neutrality: A more sustainable world is Shaped by Concrete, 2021. Disponível em: https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/pca_roadmap-to-carbon-neutrality_jan-2022.pdf?sfvrsn=33d8fcbf_2. Acesso em 14 de maio de 2022.

POSSAN, Edna. Captura de CO₂ em materiais cimentícios. Concreto & Construções, [S.L], Ed. 95, p. 60-66, jul.- set. 2019.

QUATTRONE, M.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M.. Energy and CO₂ from high performance recycled aggregate production. Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 90, p. 21-33, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.06.003>.

RABOSI, F. Tempo e movimento em um mercado de fronteira: Ciudad del Este, Paraguai. Sociologia & Antropologia, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 405-434, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2238-38752015v523>.

REDE EMPRESARIAL BRASILEIRA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (REDEACV). O que é ACV, c2022. Disponível em < <https://redeacv.org.br/pt-br/o-que-e-acv/> > Acesso em set. 2022.

REIS, D. C. et al. Potential CO₂ reduction and uptake due to industrialization and efficient cement use in Brazil by 2050. Journal Of Industrial Ecology, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 344-358, abr. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jiec.13130>.

REIS, D. C. et al. Influence of cement strength class on environmental impact of concrete. Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 163, p. 105075, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105075>.

REIS, D. C. ; JOHN, V.. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: Concreto. São Paulo: Sidac, 2022.

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 35-49, abr./jun. 2016. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000200078>

SCHNEIDER, M.. The cement industry on the way to a low-carbon future. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 124, p. 105792, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105792>.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M.. Eco-efficient cements: potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 114, p. 2-26, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>.

SECRETARÍA TÉCNICA DE PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL (STP). Plan Nacional de Desarrollo Paraguay 2030. Asunción, Paraguay, 2021.

SERVÍN, B; MASI, F. Territorios y empresas: Aproximación al desarrollo de las regiones en Paraguay. CADEP, Asunción, 2018.

SILVA, F. B. et al. Avaliação do ciclo de vida do concreto dosado em central com base em dados da indústria brasileira. Concreto & Construções, [S.L.], n. 98, p. 91-97, 2020. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2020.98.0010>.

SILVA, F B.. et al. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – Metodologia. 1ª edição. São Paulo: SIDAC, 2022.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (SNIC).

ROADMAP Tecnológico do Cimento: potencial de redução das emissões de carbono na indústria do cimento brasileira até 2050. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/9cbtj1c9oquigf8/Roadmap%20Tecnol%C3%B3gico%20do%20Cimento_Brasil.pdf?dl=0 . Acesso em abr. 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Água da rede pública. 2022a. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/13>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Areia processada. 2022b. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/38>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Brita. 2022c. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/36>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Cimento CP II-F. 2022d. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/64>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Cimento CP V. 2022e. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/62>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Concreto dosado em central fck 20MPa. 2022f. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/121>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Concreto dosado em central fck 25MPa. 2022g. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/119>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Concreto dosado em central fck 30MPa. 2022h. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/118>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Concreto dosado em central fck 35MPa. 2022i. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/122>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Concreto dosado em central fck 40MPa. 2022j. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/120>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Eletricidade da rede pública. 2022k. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/18>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO (SIDAC). Óleo diesel (combustão). 2022l. Disponível em < <https://sidac.org.br/produtos/12>> . Acesso em 11 de nov. de 2022.

SNELLINGS, Ruben. Assessing, Understanding and Unlocking Supplementary Cementitious Materials. Rilem Technical Letters, [S.L.], v. 1, p. 50, 16 ago. 2016. Rilem Publications SARL. <http://dx.doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.12>.

STEFANONI, M.; ANGST, U.; ELSENER, B.. Corrosion rate of carbon steel in carbonated concrete – A critical review. Cement And Concrete Research, [S.L.], v. 103, p. 35-48, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.10.007>.

THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION (CEMBUREAU). Cementing the European Green Deal: Reaching climate neutrality along the cement and concrete value chain by 2050. 2020. Disponível em: http://www.cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf . Acesso em jun. 2022.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (UN DESA). Global Population Growth and Sustainable Development. 2022a. Disponível em:

https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2022_global_population_growth.pdf Acesso em mai. 2022.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (UN DESA). World Population Prospects 2022: Summary of Results. 2022b. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf Acesso em mai. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi: 2020. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf. Acesso em abr. 2022

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered. Nairobi: 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2021>. Acesso em abr. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). UNEP, [s.d]. Efeito dominó – por que a perda da biodiversidade é importante?. Disponível em: <https://www.unep.org/interactive/domino-effect-biodiversity-loss-why-it-matters/?lang=PT>. Acesso em abr. 2022

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). United Nations Climate Change, 2022. El Acuerdo de París. Disponível em: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20habla,orientaci%C3%B3n%20general%20al%20Mecanismo%20Tecnol%C3%B3gico> Acesso em ago. 2022.

VÁZQUES, F. Ciudades intermedias y sustentabilidad urbana em Paraguay.

p. 223-243 In: El desafío del desarrollo sustentable en América Latina. – Rio de Janeiro : Konrad-Adenauer-Stiftung, 2013.

VICEMINISTÉRIO DE MINAS Y ENERGIA (VMME); MINISTÉRIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES (MOPC). Balance Energético Nacional 2021. Asunción, 2022. Disponível em: <https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/balance2021/Balance%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%202021%20-%20VFinal.pdf> Acesso em ago. 2022.

VIEIRA, L. B. P. et al. Analysis of CO2 emissions and waste elimination capacity of different recycling strategies applied in ready-mixed concrete plants, Rev. IBRACON Estrut. Mater., vol. 15, no. 6, e15611, 2022, <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000600011>

VIEIRA, L. B. P.; FIGUEIREDO, A. D.; MORIGGI, T.; JOHN, V. M.. Waste generation from the production of ready-mixed concrete. Waste Management, [S.L.], v. 94, p. 146-152, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.043>.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Vision 2050: tiempo de transformar. Ginebra: WBCSD, 2021. 116 p. Disponível em: <https://www.wbcsd.org/download/file/13198>. Acesso em: 19 ago. 2022.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Cement Sustainability Initiative (CSI). 2022. Disponível em < <https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Cement-Sustainability-Initiative-CSI>> Acesso em 04 de dez. de 2022.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). The global risk report 2020: 15th edition. Geneva, Switzerland, 2020.

WORLD STEEL ASSOCIATION (WORLDSTEEL). Steel industry co-products: Legislation should encourage the sustainable use of steel industry co-products. Belgium: 2020.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). WWF, [s.d]. As mudanças climáticas. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/. Acesso em: 02 abr. 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO



1 - APRESENTAÇÃO

Esta pesquisa tem por objetivo realizar um ICV (Inventário do Ciclo de Vida) para determinação das emissões de CO₂ do concreto na região metropolitana de Ciudad del Este e possíveis soluções para aumento da eficiência ambiental. Será aplicada em todas as centrais dosadoras de concreto da região.

A finalidade é realizar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA (Universidade Federal da Integração Latino-Americana) da aluna Marcielly Burg Acosta, com orientação da Prof. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui.

A pesquisa tem caráter única e exclusivamente acadêmica com a garantia da confidencialidade das empresas.

Qualquer informação e dúvidas a respeito do formulário os dados de contato são:

Marcielly Burg Acosta

WhatsApp:

Chamadas:

Email: marcielly.burg@outlook.com

Fonte: Autoria própria, 2022

2- CADASTRO

DADOS DA EMPRESA

Nome:	
Endereço:	
Cidade:	
Telefone:	
Email:	

DADOS DO RESPONSÁVEL DO PREENCHIMENTO DO FORMULÁRIO

Nome:	
Cargo:	
Celular:	
Email:	

DADOS DA PESQUISA

Período considerado (12 meses)	Data Inicio:	
	Data Fim:	
Data do preenchimento:		

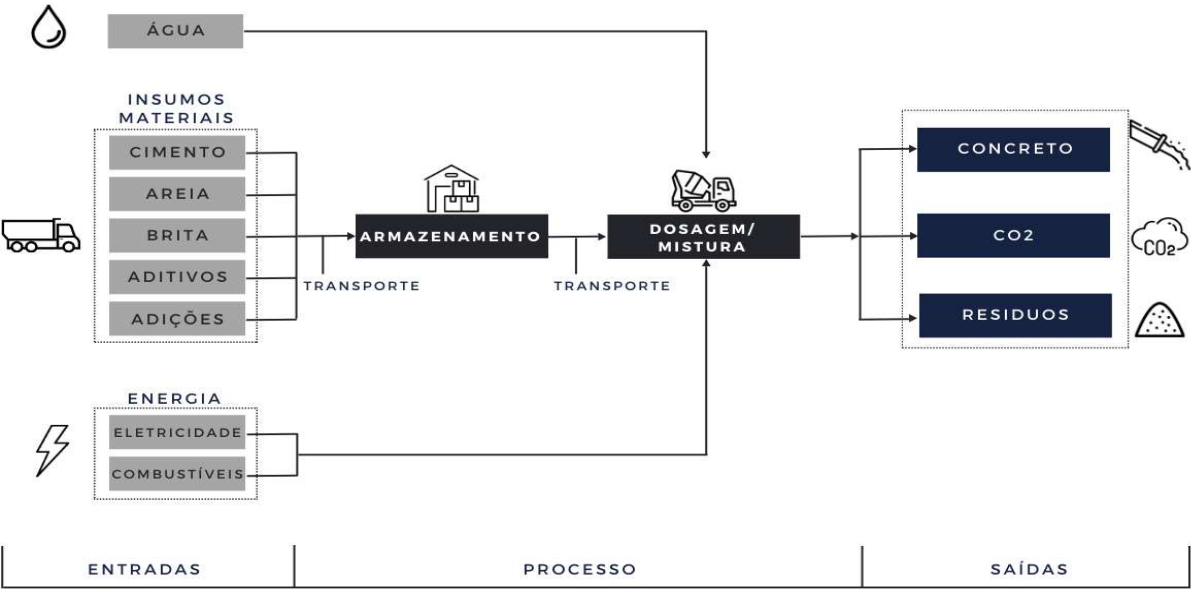
Fonte: Autoria própria, 2022

3- FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO

A produção é realizada conforme a Figura 1?	
Se não, quais procedimentos são diferentes?	
Quais equipamentos são utilizados?	

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 1: Fluxograma básico da produção de concreto



Fonte: Autoria própria, 2022

4 - DADOS ANUAIS

PRODUÇÃO OU CONSUMO **ANUAL** (PERÍODO CONSIDERADO) DE:

CONCRETO				
TIPO		QUANTIDADE PRODUZIDA		OBSERVAÇÃO
RESISTÊNCIA	UNIDADE	Qty.	UNIDADE	

CIMENTO			
TIPO	QUANTIDADE CONSUMIDA		OBSERVAÇÃO
	Qty.	UNIDADE	

AREIA			
TIPO	QUANTIDADE CONSUMIDA		OBSERVAÇÃO
	Qty.	UNIDADE	

continua..

BRITA			
TIPO	QUANTIDADE CONSUMIDA		OBSERVAÇÃO
	Qty.	UNIDADE	

ADITIVOS			
TIPO	QUANTIDADE CONSUMIDA		OBSERVAÇÃO
	Qty.	UNIDADE	

ADIÇÕES			
TIPO	QUANTIDADE CONSUMIDA		OBSERVAÇÃO
	Qty.	UNIDADE	

continua..

ÁGUA			
QUANTIDADE CONSUMIDA			OBSERVAÇÃO
Qtd.	UNIDADE		

ENERGIA				
Consumo total de energia elétrica da planta:				
CONSUMO TOTAL DE COMBUSTÍVEIS				
TIPO	QUANTIDADE		USO	OBSERVAÇÃO
	Qtd.	UNIDADE		
Óleo Diesel				
Gasolina				
Alcool				
GLP				
outros				

RESÍDUOS			
TIPO	QUANTIDADE GERADA		OBSERVAÇÃO
	Qtd.	UNIDADE	

Fonte: Autoria própria, 2022

APÊNDICE B – EMPRESA D

A empresa D respondeu o questionário referente aos meses de janeiro/21 a janeiro/22. No período, produziu 22.267,50 m³ de concreto de resistências 18, 20, 21, 25, 30 e 35MPa, as porcentagens são vistas no Gráfico 13. Segundo a informação fornecida, a produção individual da empresa supera à das empresas A, B e C.

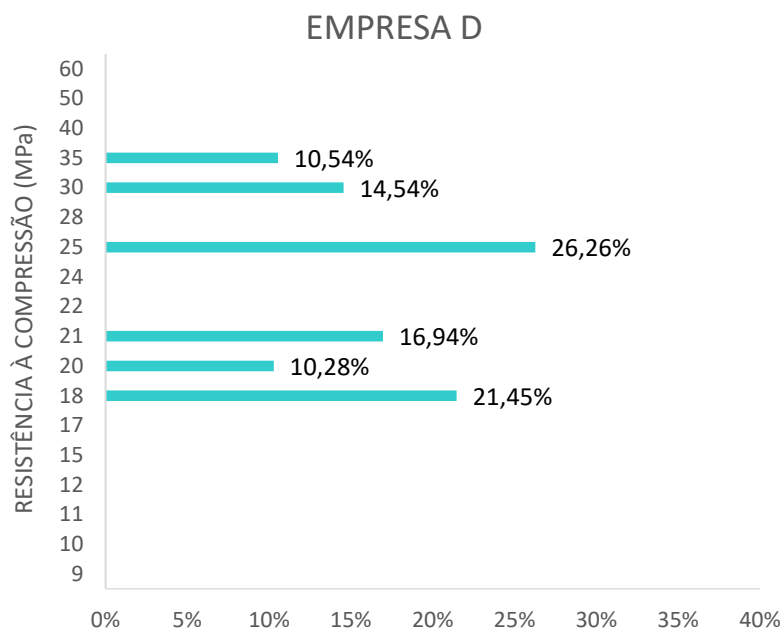


Gráfico 13: Produção por resistência à compressão da Empresa D

Fonte: Autoria própria, 2022.

Esta central não produz concretos de alta resistência ($\geq 40\text{MPa}$) e nem de baixa resistência ($\leq 15\text{MPa}$). Não se tem informação se no período considerado não foram produzidos esses concretos ou se a empresa não possui um traço para essas resistências. Também, não foi informado a faixa de *slump* dos concretos.

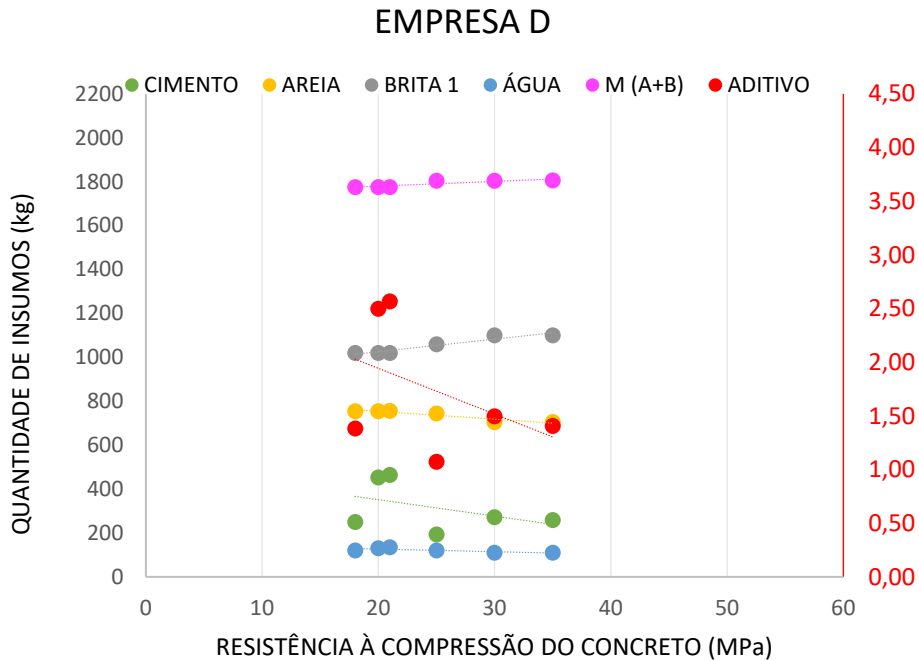
O concreto mais produzido foi o de 25MPa, muito comum em edificações residenciais e comerciais. Percebe-se que a empresa não possui clientes de obras de infraestrutura, uma vez que estas exigem concretos de maiores resistências e em altos volumes.

Essa central de concreto possui o sistema de mistura em caminhão-betoneira e não possui central de britagem acoplada. Assim, o agregado graúdo (é utilizado apenas uma granulometria, a brita 1) é originada de fornecedores locais. Também, a areia natural extraída de rio é proveniente de rios da região. O cimento utilizado é o CP VARI de origem brasileira, assim como, os aditivos superplastificante e plastificante.

No Gráfico 14 são visualizadas as inconsistências das informações

fornecidas dos consumos de materiais. Uma vez que há muitos dados isolados dos demais e as tendências não são as mesmas das outras empresas.

Gráfico 14: Consumo dos insumos da Empresa D



Fonte: Autoria própria, 2022.

Encontra-se a primeira incoerência nos dados do cimento. Para maiores resistências tem-se menores consumos de cimento do que para resistências menores, sendo que, sabe-se que ao aumentar a resistência, aumenta o consumo de cimento e não é o que mostra o gráfico com uma linha decrescente.

A mesma condição visualiza-se no consumo de aditivos, com dois consumos muito elevados nas resistências de 20 e 21 MPa e muito baixo no concreto de 25 MPa. Já para o teor de agregados 'M', sabe-se que em baixas resistências devem ser maior para completar o volume sem a adição de cimento, porém, isso não é visualizado no gráfico e sim um comportamento invertido.

Como os dados informados não possuem coerência com as dosagens tradicionais de concreto e nem com as dosagens das outras empresas, conclui-se que pode ter ocorrido um erro no preenchimento do questionário. Assim, o cálculo das estimativas de CO₂ da empresa não seriam representativos com a realidade. É necessário a verificação das informações. Foi questionado os consumos do cimento ao responsável por responder o questionário, mas não se obteve resposta.