Jornada de baixo carbono para blocos de concreto e peças de concreto para pavimentação

Benchmark setorial

REALIZAÇÃO

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
www.cbcs.org.br
Av. Queiroz Filho, nº 1700, Torre B, Conjunto 407, Vila Hamburguesa - CEP 05319-000, São Paulo/SP.
CNPJ: 08.924.551/0001-53
Inscrição Municipal nº 3.663.885-4

PRESIDENTE DO CONSELHO DELIBERATIVO
Prof. Dr. Vahan Agopyan
presidencia@cbcs.org.br

DIRETORIA EXECUTIVA
Eng. Dra. Clarice Reiter Menezes Degani
clarice.degani@cbcs.org.br

COORDENAÇÃO MATERIAIS
Prof. Dr. Vanderley Moacyr John
vmjohn@lme.pcc.usp.br

EQUIPE
Carolina Strabelli Sonvezzo, Me. Eng., CBCS, elaboração
Heloísa Cristina Fernandes Cordon, Dra. Eng., USP / CBCS, revisão
Jhonathan Fernandes Torres de Souza, Dr., USP / CBCS, revisão
Lidiane Santana Oliveira, Me. Eng., USP, revisão
Clarice Reiter Menezes Degani, Dra. Eng., coordenação executiva
Vanderley M. John, Prof. Dr., USP, coordenação

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
www.abcp.org.br

PRESIDENTE
Paulo Camillo Pena

GERENTE DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE
Eng. Cláudio Oliveira Silva

GERENTE DE CERTIFICAÇÃO
Eng. Fernando Dalbon Cardoso

BLOCOBRASIL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE BLOCOS DE CONCRETO
www.blocobrasil.com.br

PRESIDENTE
Manoel Roldan Antunes

CONSULTOR TÉCNICO
Eng. Paulo Grossi

CONSULTORA TÉCNICA
Enga Isabela Gasques

SINAPROCIM – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE CIMENTO
SINPROCIM – SINDICATO DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE CIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO
www.sinaprocim.org.br

PRESIDENTE EXECUTIVO
Carlos Roberto Petrini

VICE-PRESIDENTE DE TECNOLOGIA
Eng. Anderson Augusto de Oliveira

COORDENADOR TÉCNICO
Eng. Daniel de Luccas

Como citar este documento
SONVEZZO, C. S. et al. Jornada Setorial de Baixo Carbono para Blocos de Concreto e Peças de Concreto para Pavimentação. São Paulo: CBCS, 2025.

Lista de siglas

- ACV: Avaliação do Ciclo de Vida
- ABCP: Associação Brasileira do Cimento Portland
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BlocoBrasil: Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto
- CBCS: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
- dDAP: Declaração de Desempenho Ambiental de Produto
- BPF: Baixo Ponto de Fluidez
- GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
- Sidac: Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção
- Sinaprocim: Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento
- Sinprocim: Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do Estado de São Paulo

Sumário

1 Introdução 1
2 Jornada Setorial de Baixo Carbono 1
2.1 Universo de empresas representadas 2
2.2 Escopo 3
2.3 Metodologia 3
2.4 Confidencialidade 4
3 Inventário 4
3.1 Ferramenta de Apoio 4
3.1.1 Identificação 5
3.1.2 Insumos 5
3.1.3 Produção 6
3.1.4 Concretos 6
3.1.5 Resíduos 7
3.2 Treinamento dos responsáveis pelo inventário 7
3.3 Levantamento dos dados 7
4 Análise de consistência dos dados 7
4.1 Composição dos concretos 8
4.1.1 Densidade dos concretos 8
4.1.2 Consumo de cimento 12
4.1.3 Intensidade de cimento 18
Água de mistura do concreto 23
4.2 Consumo de água na fábrica 33
4.3 Consumo de energia na fábrica 34
4.4 Massa dos componentes 35
4.5 Balanço de massas 40
4.6 Geração de resíduo 42
5 *Benchmark* do consumo de cimento 43
5.1 Blocos 43
5.2 Peças para pavimentação 50
6 Indicadores de Desempenho Ambiental 54
6.1 Metodologia de cálculo 54
6.1.1 Indicadores adotados para os insumos 54
6.1.2 Indicador de demanda energia 55
6.1.3 Indicador de emissão de CO_2 56
6.2 Resultados dos blocos de concreto 56

6.2.1 Demanda de energia 56
6.2.2 Emissão de CO2 57
6.2.3 Tabela resumo dos resultados dos blocos de concreto 65
6.3 Resultados das peças para pavimentação 66
6.3.1 Demanda de energia 66
6.3.2 Emissão de CO_2 66
6.3.3 Tabela resumo dos resultados das peças para pavimentação 71
6.4 *Benchmark* de CO_2 e a incerteza dos fatores de emissão 71
6.5 Como mitigar CO_2 72
7 Considerações Finais 74
Referências 76

Lista de Figuras

Figura 1: Distribuição das empresas participantes da Jornada Setorial de Baixo Carbono para Blocos de Concreto e Peças de Concreto para Pavimentação no território nacional.....2

Figura 2: Fluxograma da fabricação de blocos de concreto e peças de concreto para pavimentação.....3

Figura 3: Fluxos de entrada e de saída de água na fábrica. 6

Figura 4: Densidades dos concretos utilizados na produção dos blocos. 9

Figura 5: Densidades dos concretos utilizados na produção das peças para pavimentação. 11

Figura 6: Consumos de cimento dos concretos utilizados na produção dos blocos, sem a identificação das empresas. 12

Figura 7: Consumos de cimento dos concretos utilizados na produção dos blocos de 3 a 8 MPa, com a identificação das empresas.....13

Figura 8: Consumos de cimento dos concretos utilizados na produção dos blocos de 10 a 16 MPa, com a identificação das empresas. 14

Figura 9: Consumos de cimento dos concretos utilizados na produção dos blocos de 18 a 26 MPa, com a identificação das empresas.....15

Figura 10: Consumos de cimento dos concretos utilizados na produção das peças para pavimentação.....17

Figura 11: Benchmark da intensidade de cimento dos concretos utilizados na produção dos blocos de 3 a 8 MPa. 19

Figura 12: Benchmark da intensidade de cimento dos concretos utilizados na produção dos blocos de 10 a 26 MPa. 22

Figura 13: Umidade dos concretos frescos utilizados na produção dos blocos de 3 a 12 MPa 24

Figura 14: Umidade dos concretos frescos utilizados na produção dos blocos de 14 a 26 MPa. 25

Figura 15: Relação água/cimento dos concretos frescos utilizados na produção dos blocos de 3 a 12 MPa. 27

Figura 16: Relação água/cimento dos concretos frescos utilizados na produção dos blocos de 14 a 26 MPa. 28

Figura 17: Umidade dos concretos frescos utilizados na produção das peças para pavimentação. 30

Figura 18: Relação água/cimento dos concretos frescos utilizados na produção das peças para pavimentação. 32

Figura 19: Consumo de água das empresas participantes segundo sua origem. 33

Figura 20: Consumo de água das empresas participantes. Valores apresentados por tonelada de produtos fabricados. 34

Figura 21: Consumo de energia das empresas participantes. 35

Figura 22: Massas dos blocos inteiros da família 15 x 40 de 3 a 12 MPa apresentadas por resistência de bloco. 36

Figura 23: Massas dos blocos inteiros da família 15 x 40 de 14 a 26 MPa apresentadas por resistência de bloco. 37

Figura 24: Massas dos blocos inteiros da família 20 x 40 de 3 a 12 MPa apresentadas por resistência de bloco. 38

Figura 25: Massas dos blocos inteiros da família 20 x 40 de 14 a 24 MPa apresentadas por resistência de bloco. 39

Figura 26: Balanço de massas das empresas participantes. 41

Figura 27: Resíduo de concreto gerado no processo por tonelada produzida.....42

Figura 28: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 3 MPa das empresas participantes.....43

Figura 29: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 4 MPa das empresas participantes. 44

Figura 30: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 6 MPa das empresas participantes.....44

Figura 31: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 8 MPa das empresas participantes. 45

Figura 32: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 10 MPa das empresas participantes. 45

Figura 33: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 12 MPa das empresas participantes. 46

Figura 34: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 14 MPa das empresas participantes. 46

Figura 35: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 16 MPa das empresas participantes. 47

Figura 36: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 18 MPa das empresas participantes. 47

Figura 37: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 20 MPa das empresas participantes. 48

Figura 38: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 22 MPa das empresas participantes. 48

Figura 39: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 24 MPa das empresas participantes. 49

Figura 40: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos Blocos de 26 MPa das empresas participantes. 49

Figura 41: Influência da resistência característica dos blocos de concreto (fbk) no consumo de cimento. 50

Figura 42: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos pisos de 20 MPa permeável das empresas participantes. 51

Figura 43: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos pisos de 35 MPa das empresas participantes. 51

Figura 44: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos pisos de 35 MPa Mono Camada das empresas participantes. 52

Figura 45: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos pisos de 35 MPa Dupla Camada das empresas participantes.....52

Figura 46: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção dos pisos de 50 MPa das empresas participantes.....53

Figura 47: Benchmark do consumo de cimento dos concretos utilizados na produção das guias de 25 MPa das empresas participantes.....53

Figura 48: Faixa de valores dos indicadores de demanda de energia primária dos concretos utilizados na produção dos blocos.....57

Figura 49: Faixa de valores dos indicadores de emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos.....58

Figura 50: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 3 MPa. 59

Figura 51: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 4 MPa. 59

Figura 52: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 6 MPa. 60

Figura 53: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 8 MPa. 60

Figura 54: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 10 MPa. 61

Figura 55: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 12 MPa. 61

Figura 56: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 14 MPa. 62

Figura 57: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 16 MPa. 62

Figura 58: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 18 MPa. 63

Figura 59: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 20 MPa. 63

Figura 60: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 22 MPa. 64

Figura 61: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 24 MPa. ……64

Figura 62: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos de 26 MPa. ……65

Figura 63: Faixa de valores dos indicadores de demanda de energia primária dos concretos utilizados na produção de peças para pavimentação. ……66

Figura 64: Faixa de valores dos indicadores de emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção de peças para pavimentação. ……67

Figura 65: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos pisos de 20 MPa Permeáveis. ……68

Figura 66: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos pisos de 35 MPa. ……68

Figura 67: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos pisos de 35 MPa Mono camada. ……69

Figura 68: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos pisos de 35 MPa Dupla camada. ……69

Figura 69: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos pisos de 50 MPa. ……70

Figura 70: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção das guias de 25 MPa. ……70

Figura 71: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção de blocos de empresas fictícias no Cenário 1. ……72

Figura 72: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção de blocos de empresas fictícias no Cenário 2. ……72

Figura 73: Percentual da emissão de CO2 do cimento em relação ao total de emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção dos blocos. Valores por resistência característica do bloco de concreto. ……73

Figura 74: Percentual da emissão de CO2 do cimento em relação ao total de emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção das peças para pavimentação. Valores por tipo de componente. A guia de 15 MPa é produzida somente por fabricante, o que explica a faixa estreita. ……73

1 Introdução

O déficit habitacional continua sendo um grande desafio, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. Embora as projeções indiquem crescimento no setor da construção, o *Roadmap do Cimento* (SNIC, 2019), alinhado ao Acordo de Paris de 2015, estabelece metas ambiciosas para a redução das emissões de CO_2 até 2050. Nesse cenário, a busca por processos produtivos mais eficientes tornou-se uma necessidade para toda a cadeia da construção civil.

Para que a indústria implemente medidas eficazes, é essencial contar com dados primários, nacionais e robustos que fundamentem a tomada de decisão. As *Jornadas Setoriais de Baixo Carbono* surgem nesse contexto, oferecendo diretrizes estratégicas para impulsionar a transição do setor rumo a um futuro de baixo carbono (Degani et al., 2024).

2 Jornada Setorial de Baixo Carbono

A primeira iniciativa do setor foi em 2014, quando a Associação BlocoBrasil mobilizou 33 empresas do setor, em parceria com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Juntos desenvolveram o primeiro *benchmark* setorial brasileiro chamado de Projeto de Avaliação do Ciclo de Vida Modular de Blocos e Pisos de Concreto (John et al., 2014).

Assim como o trabalho de 2014, esta Jornada apresenta o *benchmark* do setor contendo dados de consumo de insumos materiais e de energia, além da emissão de CO_2. As informações são organizadas em faixas de referência, definidas pelos valores máximos e mínimos obtidos nos inventários (Degani et al., 2024).

Com base nesses *benchmarks*, torna-se possível estabelecer metas evolutivas em níveis setorial e nacional, além de definir estratégias de mitigação de emissão de carbono alinhadas às demandas da sociedade. A realização periódica de novos inventários permite monitorar quantitativamente as ações implementadas, orientando o setor rumo a práticas mais sustentáveis (Degani et al., 2024).

Nesta Jornada, o CBCS e a BlocoBrasil, em parceria com o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento (Sinaprocim), o Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do Estado de São Paulo (Sinprocim) e a ABCP, seguiram as seguintes etapas de trabalho:

I. **Conscientização** do setor com a exposição de um painel sobre a Jornada Setorial no Concrete Show, apresentando a importância do engajamento no tema, e **mobilização** com a assinatura das entidades envolvidas do Termo de Cooperação e, na sequência, a assinatura do Termo de Adesão das Empresas participantes da Jornada.

II. **Desenvolvimento da Ferramenta de Apoio**, planilha personalizada para a realização do inventário das fábricas do setor. Trabalho realizado pelo CBCS em conjunto com a BlocoBrasil e ABCP.

III. **Formação de pessoas**, etapa em que os colaboradores das empresas recebem a capacitação necessária para a execução dos inventários das fábricas com recursos existentes na empresa. Esse treinamento foi realizado em formato de *Workshop online*.

IV. **Realização dos inventários** nas fábricas, conduzida pelas próprias empresas, com suporte contínuo da Equipe da Jornada. Para auxiliar os fabricantes ao longo do processo foi disponibilizado um serviço de *Help Desk* para esclarecer dúvidas e verificar

os dados enviados. Sempre que necessário foram solicitadas revisões para garantir a precisão e a confiabilidade das informações.

V. **Análise de consistência dos dados**, realizada de acordo com a descrição apresentada no item 4 deste relatório.

VI. Cálculo dos **Indicadores de Desempenho Ambiental** das empresas, bem como as faixas de valores obtidas por resistência de blocos e peças para pavimentação, que estão apresentados no item 6 deste relatório.

2.1 Universo de empresas representadas

Participaram empresas de artefatos de concreto (blocos e peças para pavimentação).

Distribuídas em quatro regiões brasileiras, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Distribuição das empresas participantes da Jornada Setorial de Baixo Carbono para Blocos de Concreto e Peças de Concreto para Pavimentação no território nacional.

2.2 Escopo

O escopo considerado é do berço-ao-portão da fábrica, ou seja, da extração das matérias-primas até o produto pronto para comercialização no portão da fábrica, incluindo o transporte dessas matérias-primas de sua origem até a fábrica, conforme pode ser observado na

Figura 2.

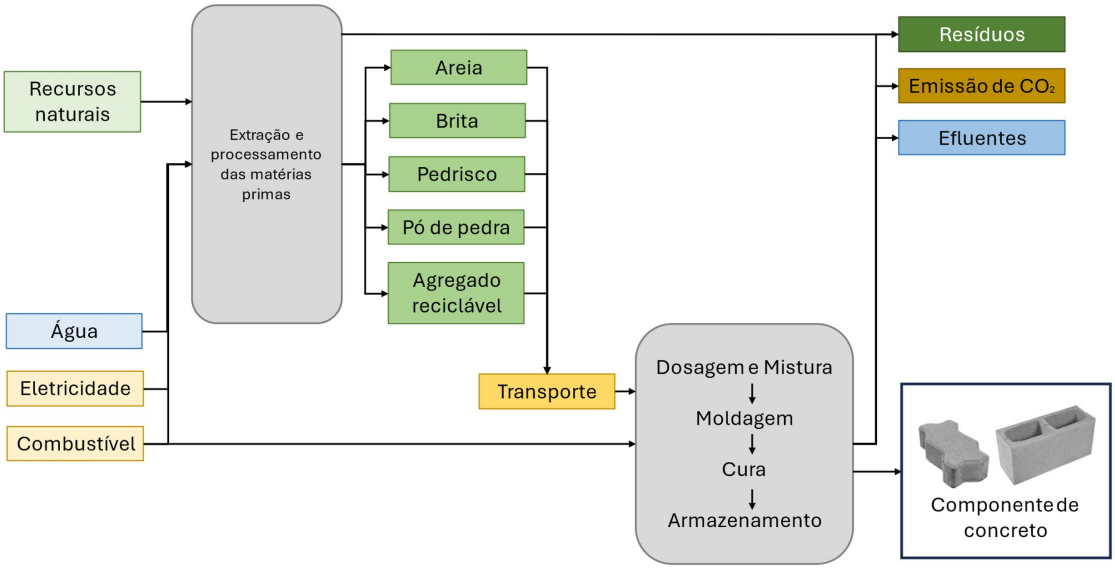


Figura 2: Fluxograma da fabricação de blocos de concreto e peças de concreto para pavimentação.

2.3 Metodologia

A Jornada é baseada na metodologia utilizada pelo Sidac (MME; CBCS, 2022), que consiste em uma simplificação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na qual os indicadores de desempenho ambiental calculados são limitados aos aspectos ambientais considerados prioritários para o setor da construção, além de serem utilizados indicadores de inventário ao invés de indicadores de desempenho ambiental (Belizario-Silva et al., 2022; Silva et al., 2023). Essa simplificação permite trabalhar com uma quantidade reduzida de fluxos a serem inventariados, tornando possível a utilização de dados primários coletados pelo próprio fabricante (Belizario-Silva et al., 2022; Silva et al., 2023).

Este trabalho seguiu a recomendação da metodologia do Sidac de “fechar a fábrica” para a coleta de dados (Belizario-Silva et al., 2022; John et al., 2021), que consiste em quantificar todos os fluxos de entradas e saídas durante o período de inventário. Portanto, foram contabilizados no inventário toda a produção da fábrica e calculados os respectivos indicadores ambientais Porém, importante ressaltar que só será possível emitir Declaração de Desempenho Ambiental de Produto (dDAP) dos componentes que atendem às normas técnicas ABNT NBR 16416 e ABNT NBR 6136 (ABNT, 2015, 2016), conforme listados na Tabela 1.

Tabela 1: Componentes considerados neste projeto para cálculo de indicadores de desempenho ambiental setorial. Indicadores informados por resistência característica.

Componente		Resistência característica do componente (MPa)	Observação
Blocos de concreto		3	---
		4	
		6	
		8	
		10	
		12	
		14	
		16	
		18	
		20	
		22	
		24	
		26	
Peças de concreto para pavimentação	Pisos	20	Permeável
		35	Natural
			Pigmentada
			Pigmentada dupla camada
		50	Natural
			Pigmentado
			Pigmentada dupla camada
	Guias	15	---
		25	

2.4 Confidencialidade

Os dados fornecidos pelas empresas são sigilosos e somente são divulgados dentro do conjunto de dados de *benchmark* de cada produto, sempre de forma a impedir a vinculação de um determinado dado com uma empresa específica.

Para tanto, neste relatório cada empresa está sendo representada por um número aleatório de 1 a 26. Cada empresa conhece somente o número que a representa e, desta forma, pode se comparar com as demais.

3 Inventário

A coleta de dados junto aos fabricantes foi realizada através de um formulário padrão, elaborado em planilha Excel e chamado de “Ferramenta de Apoio”. A Ferramenta foi desenvolvida especialmente para esta Jornada com a colaboração de todos os parceiros, buscando utilizar a linguagem do setor para que seu preenchimento fosse intuitivo, facilitando a realização do inventário.

3.1 Ferramenta de Apoio

A Ferramenta de Apoio é apresentada em cinco partes: **Identificação**, **Insumos**, **Produção**, **Concretos** e **Resíduos**, conforme detalhado a seguir.

3.1.1 Identificação

Nesta parte, foram coletadas informações da unidade fabril, do responsável pela Jornada na empresa, do responsável pelo levantamento de dados, além da data de preenchimento e do período de coleta de dados. Esse período, definido pelo fabricante, deve abranger no mínimo 12 meses, para compensar possíveis variações sazonais.

3.1.2 Insumos

Os tipos de insumos consumidos na fábrica, bem como suas unidades de medida, foram definidos previamente e relacionados nesta parte, cabendo a cada fabricante detalhar e quantificar essas informações. Foram coletados os consumos de todos os insumos utilizados na unidade fabril da empresa, sendo: matérias-primas, combustíveis, eletricidade e água. Para cada insumo foi informado o consumo total no período.

3.1.2.1 Transporte

A carga ambiental decorrente do transporte dos insumos desde a origem até a unidade fabril foi contabilizada. Como há casos em que os insumos (cimentos e agregados) podem ser transportados utilizando mais de um modal, foi considerado o trecho A (da origem até a central de distribuição) e o trecho B (da central de distribuição até a empresa), com seus respectivos tipos de veículos predominantes e distâncias de transporte. Foram solicitadas informações sobre o fornecedor e a carga transportada por viagem para melhor entendimento do transporte realizado.

3.1.2.2 Matérias-primas

As principais matérias-primas utilizadas para a produção dos blocos de concreto e peças de concreto para pavimentação são cimento e agregados. Foram relacionados na planilha todos os tipos de cimento normatizados (ABNT NBR 16697, 2018) existentes no mercado brasileiro (CP II-E, CP II-F, CP III, CP II-Z, CP IV e CP V) e todos os tipos de agregados (areia artificial, areia natural, brita, pedrisco, pó de pedra, resíduo de produtos quebrados e agregado reciclado) utilizados pelo setor. As umidades médias de cada agregado também foram informadas.

Os insumos utilizados para armazenamento e embalagem do produto (paletes, fitilho e filme plástico), bem como aditivos e pigmentos, também foram quantificados. A metodologia do Sidac (Belizario-Silva et al., 2022) permite “ignorar os fluxos de massa que representem menos de 1% das entradas ou saídas em massa de um determinado processo elementar” e diz que “o total de fluxos ignorados não deve exceder 5% dos fluxos de massa e de energia do processo elementar”. Ademais, não existem dados de emissão de CO_2 e energia acumulada para produção desses insumos representativos do Brasil. Assim sendo, no atual trabalho a carga ambiental deles não foi considerada, porém os dados foram solicitados pelo potencial de estudo que representam.

3.1.2.3 Combustíveis

Os combustíveis utilizados pelo setor relacionados na planilha são o diesel, óleo combustível de baixo ponto de fluidez (BPF), gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, gasolina, etanol, lenha renovável e lenha não renovável.

3.1.2.4 Eletricidade

A eletricidade reportada pelos fabricantes é proveniente da rede pública, fotovoltaica e/ou do mercado livre.

3.1.2.5 Água

O consumo de água na fábrica é o volume quantificado na parte “Insumos” da Ferramenta, proveniente da rede de serviço público, de lençol freático subterrânea (poços), de rios e lagos (superficial), de reúso ou de coleta de chuva. A água é destinada à produção do concreto, à limpeza dos equipamentos, à supressão de poeira e ao consumo humano. A maior parcela da água destinada à produção do concreto evapora durante o processo. E a parcela destinada ao consumo humano é descartada como efluente.

A água contida nos insumos também é considerada na análise do processo produtivo. O volume de água presente na umidade dos agregados e o volume de água contido nos aditivos foram contabilizados no volume total de água de mistura do concreto. Durante o processo de cura, a maior parcela da água de mistura evapora e, uma menor parcela reage com o cimento. Foi considerado que após a cura, o concreto mantém 5% de umidade, referente à umidade média do ambiente.

A Figura 3 apresenta todos os fluxos de entrada e saída de água na fábrica descritas anteriormente.

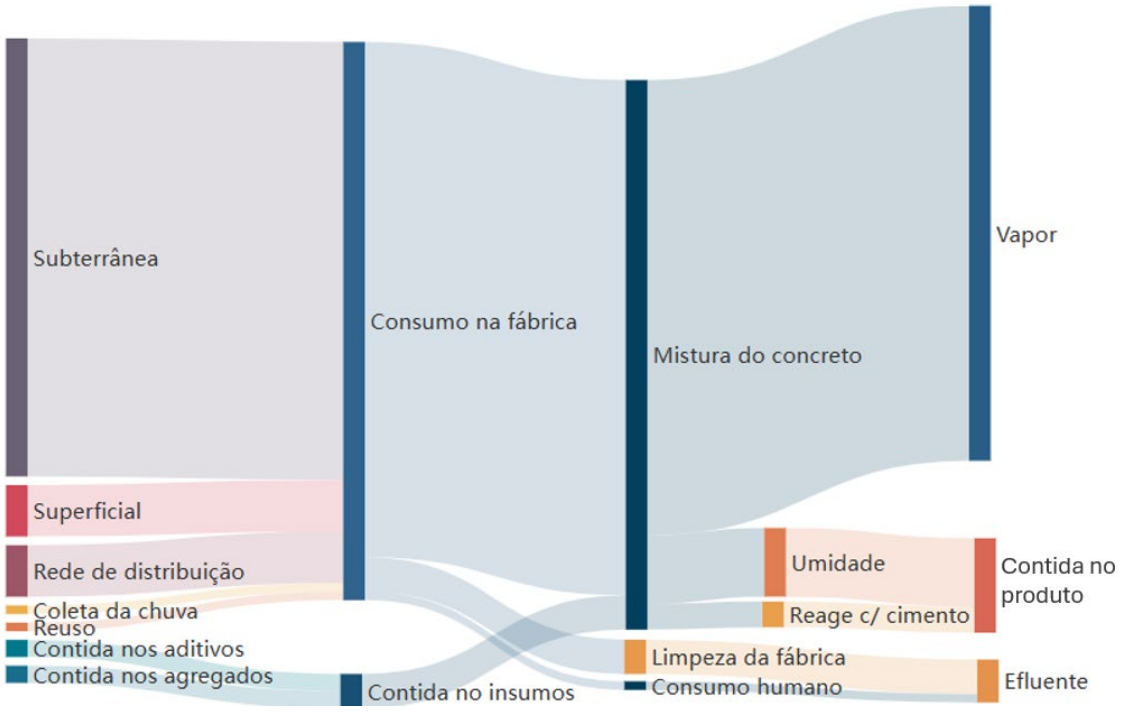


Figura 3: Fluxos de entrada e de saída de água na fábrica.

3.1.3 Produção

Os blocos vazados de concreto simples para alvenaria normatizados pela ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016) e as peças de concreto para pavimentação normatizadas pela ABNT NBR 9781 (ABNT, 2013) foram previamente relacionados em um formulário. Para cada tipo de produto, foram coletadas a quantidade produzida e a massa do componente. Também foi necessário informar para cada tipo de piso a quantidade de peças por metro quadrado de pavimentação e, para cada tipo de guia, a quantidade de peças para execução de um metro linear.

3.1.4 Concretos

Para cada resistência característica de bloco foram informados os traços em massa dos concretos. O traço unitário dos agregados em massa de concreto é calculado automaticamente

no formulário e tem como objetivo orientar os fabricantes quanto à coerência dos dados fornecidos. Também foram coletadas as densidades desses concretos por ser esse um indicador de controle de qualidade significativo e o seu monitoramento demonstra maturidade do setor. Além disso, com a densidade é possível calcular os consumos das matérias-primas por metro cúbico de concreto.

Como pode ser observado na Figura 3, o volume de água de mistura do concreto é composto pelo volume de água de umidade dos agregados, água contida nos aditivos e água adicionada. Portanto, a quantidade de 'água adicionada' informada nesta parte deve levar em consideração o volume de água contida nos insumos. Uma pequena parcela da água de mistura do concreto reage com o cimento e a maior parte evapora.

3.1.5 Resíduos

Os tipos de resíduos usualmente gerados pelo setor foram previamente relacionados, bem como a unidade de medida, a origem e o destino do resíduo. Também na etapa de elaboração da Ferramenta, o setor informou que os resíduos gerados são todos coletados na fábrica por recicladores e somente lixo orgânico é coletado pelo serviço público municipal de coleta de lixo. Outra prática do setor é retornar à fábrica os resíduos de concreto decorrentes de blocos e peças para pavimentação quebradas pós-entrega, que são reutilizados na linha de produção. Foram solicitadas as quantidades totais de resíduo gerado na fábrica no período.

3.2 Treinamento dos responsáveis pelo inventário

Após as empresas receberem a Ferramenta de Apoio foi realizado um *workshop online* ministrado pela Equipe da Jornada. Foram transmitidos aos representantes a importância da Jornada, seus objetivos, a metodologia utilizada e a importância da qualidade dos dados. Foi detalhado o passo-a-passo do preenchimento da Ferramenta. Discussões foram feitas para esclarecimento de dúvidas quanto às informações levantadas.

3.3 Levantamento dos dados

A Equipe da Jornada deu o suporte necessário para os fabricantes durante o preenchimento da Ferramenta, tirando as dúvidas conforme essas surgiram. Assim que os dados eram recebidos, uma verificação era realizada e, sempre que necessário, solicitados dados individuais complementares e revisões de dados via e-mail ou telefone junto aos responsáveis de cada empresa, com o objetivo de ampliar e assegurar a veracidade dos dados. Houve uma preocupação constante durante todo o processo de se alcançar resultados com qualidade e condizentes com a realidade.

4 Análise de consistência dos dados

Os inventários foram analisados por **resistência característica do bloco (f_{bk}),** de forma individualizada por empresa e, posteriormente, os dados foram analisados no contexto do setor. As primeiras análises foram referentes às composições dos concretos, como densidade, consumo e intensidade de cimento, e consumo de água de mistura. Na sequência, foram analisados os consumos de água e energia de toda fábrica. Também foi importante analisar a massa informada de cada tipo de componente, pois esses dados foram utilizados para calcular a massa total dos componentes produzidos. Com os dados de composição dos concretos e a massa dos componentes foi possível avançar para o balanço de massas da fábrica, comparando a massa de matérias-primas do fluxo de entrada com a massa de produtos do fluxo de saída. Por fim, foram analisados os dados de resíduos gerados no processo. Cada uma dessas etapas está detalhada nos itens subsequentes.

4.1 Composição dos concretos

Na análise de consistência do consumo de matérias-primas, foram considerados a densidade dos concretos, o consumo e a intensidade de cimento e, por fim, o consumo de água de mistura.

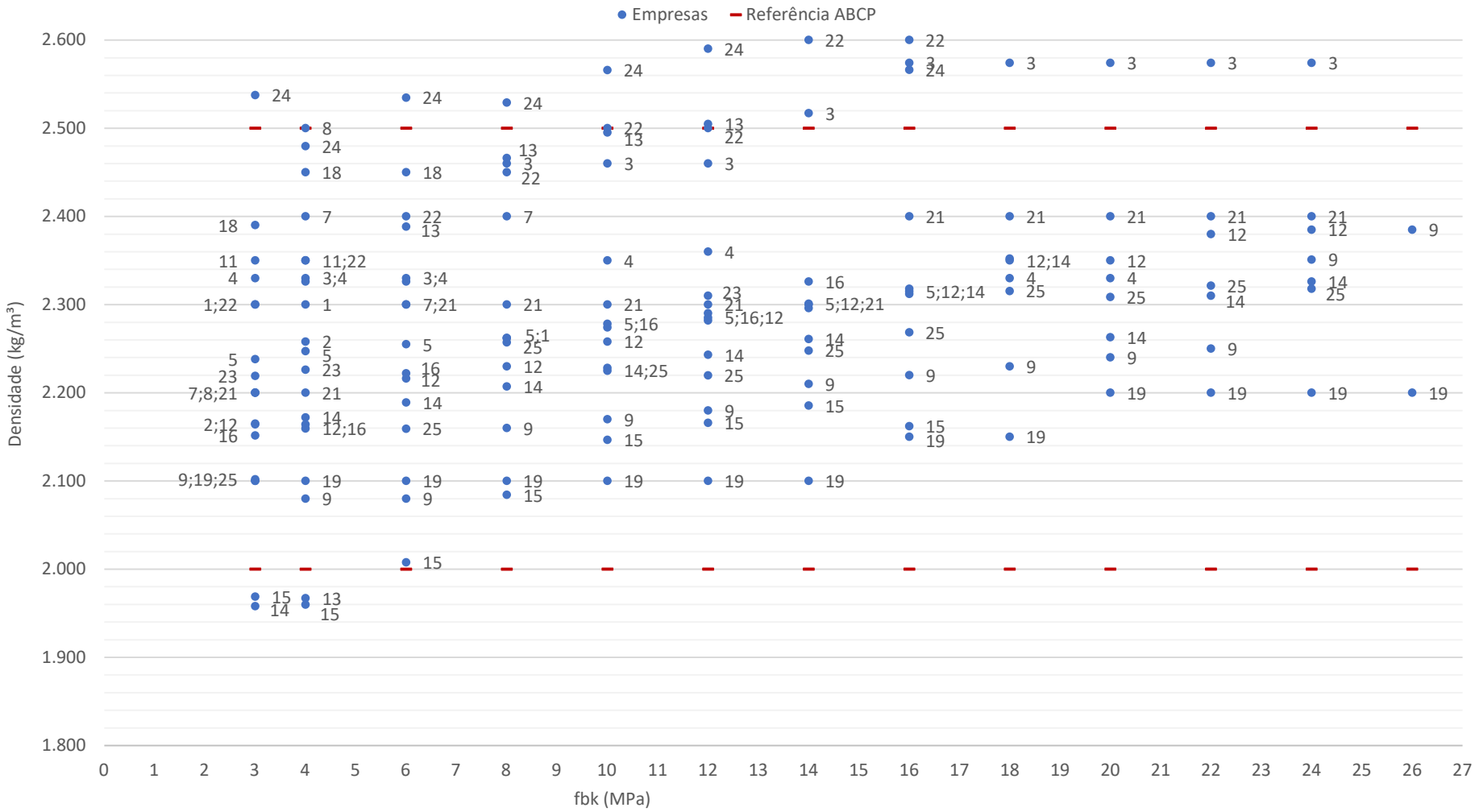
4.1.1 Densidade dos concretos

Os dados de densidade dos concretos foram informados pelo fabricante na parte “Concretos” da Ferramenta. Ao analisar esses dados, notou-se que 14 empresas reportavam valores fora da faixa de referência do mercado, o que levou a Equipe da Jornada a solicitar a revisão desses dados para essas empresas. Para facilitar o processo foi elaborado pela ABCP um material detalhando o procedimento de realização de ensaio para determinação da densidade dos concretos em forma de cartilha e vídeo. Das 14 empresas que receberam esse material, 8 empresas retornaram as densidades revisadas, 1 empresa não enviou os dados de densidade e 5 empresas mantiveram os dados inconsistentes. Foram considerados inconsistentes os dados das empresas 6, 20 e 24, além dos valores das guias de 25 MPa da empresa 3, e dos blocos de 3 MPa e 14 MPa da empresa 13, que apresentaram valores menores que 1.800 kg/m³ e maiores que 2.600 kg/m³.

Inicialmente, se planejava calcular a demanda, em massa, de cada matéria-prima por metro cúbico de concreto produzido. Entretanto, como 5 empresas mantiveram seus dados inconsistentes, a solução encontrada foi calcular os indicadores ambientais quantificando o concreto em massa, ou seja, quilogramas de matéria-prima por tonelada de concreto (kg/t).

4.1.1.1 Blocos

A Figura 4 apresenta as densidades dos concretos utilizados na fabricação de blocos que, após a revisão dos dados realizada conforme descrito no item 4.1.1, foram considerados consistentes.



E

*Figura 4: **Densidades** dos concretos utilizados na produção dos **blocos**. Valores dados por resistência característica do componente de concreto. Dados revisados conforme descrito no item 4.1.1. Dados menores que 1.800 kg/m³ e maiores que 2.600 kg/m³ foram considerados inconsistentes e, portanto, não constam neste gráfico.*

4.1.1.2 Peças para pavimentação

A Figura 5 apresenta as densidades dos concretos utilizados na fabricação de peças para pavimentação que, após a revisão dos dados realizada conforme descrita no item 4.1.1, apresentaram dados consistentes.

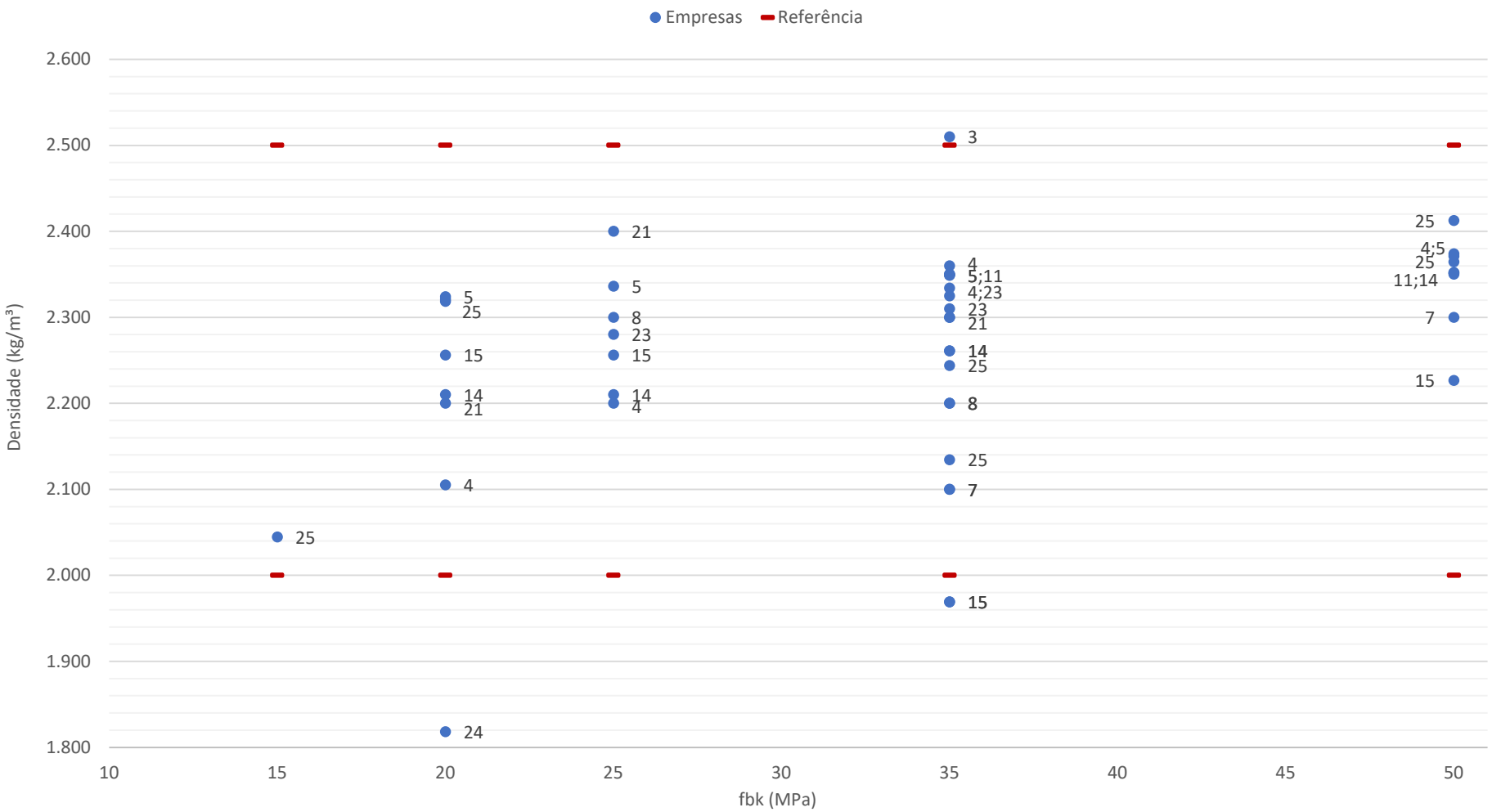


*Figura 5: **Densidades** dos concretos utilizados na produção das **peças para pavimentação**. Valores dados por resistência característica do componente de concreto A resistência 20 MPa é referente ao piso permeável, as resistências 35 MPa e 50 MPa são referentes aos pisos, e resistências 15 MPa e 25 MPa são referentes às guias. Dados revisados conforme descrito no item 4.1.1. Dados menores que 1.800 kg/m³ e maiores que 2.600 kg/m³ foram considerados inconsistentes, portanto, não constam neste gráfico.*

4.1.2 Consumo de cimento

O cimento é a matéria-prima mais relevante nesta Jornada, pois é o maior responsável pelas emissões de CO_2 incorporadas na produção dos componentes de concreto. O consumo de cimento, dado por tonelada de concreto produzido, foi calculado a partir dos traços informados na parte "Concretos" da Ferramenta e utilizando a Equação 1. A massa seca dos agregados foi calculada utilizando sua umidade média informada na parte "Insumos" da Ferramenta.

Equação 1:

$$Consumo\ cimento_{fbk}(kg/t) = \left(\frac{Massa\ cim_{fbk}}{Massa\ cim_{fbk} + Massa\ agreg\ seco_{fbk} + Água\ reage_{fbk}}\right) \times 1000$$

Onde: *fbk = resistência característica k do bloco de concreto (MPa);*

$Massa\ cim_{fbk}$ = Massa de cimento para fbk (kg de cimento/kg de concreto);

$Massa\ agreg\ seco_{fbk}$ = Massa de agregado seco para fbk (kg de agregado/kg de concreto);

$Água\ reage_{fbk}$ = 25% da massa de cimento para fbk (kg de água/kg de concreto).

4.1.2.1 Blocos

A Figura 6 contempla os consumos de cimento calculados para os blocos de concreto sem a identificação das empresas. A Figura 7 apresenta os dados dos blocos de 3 a 8 MPa, a Figura 8 dos blocos de 10 a 16 MPa e a Figura 9 dos blocos de 18 a 26 MPa, todos com as identificações das empresas.

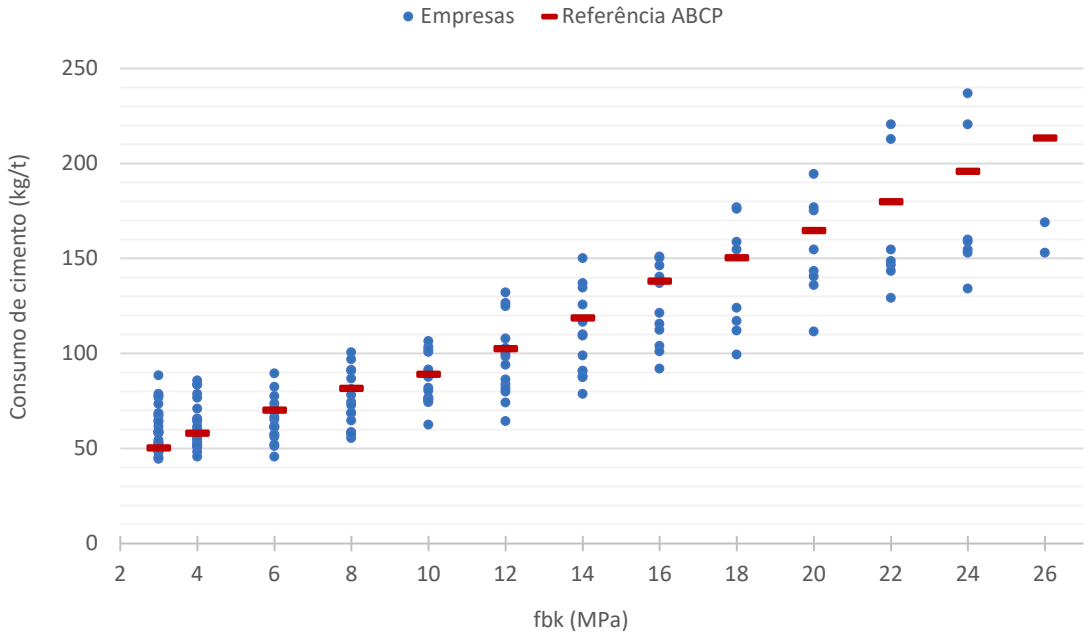


*Figura 6: **Consumos de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **blocos**, sem a identificação das empresas. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

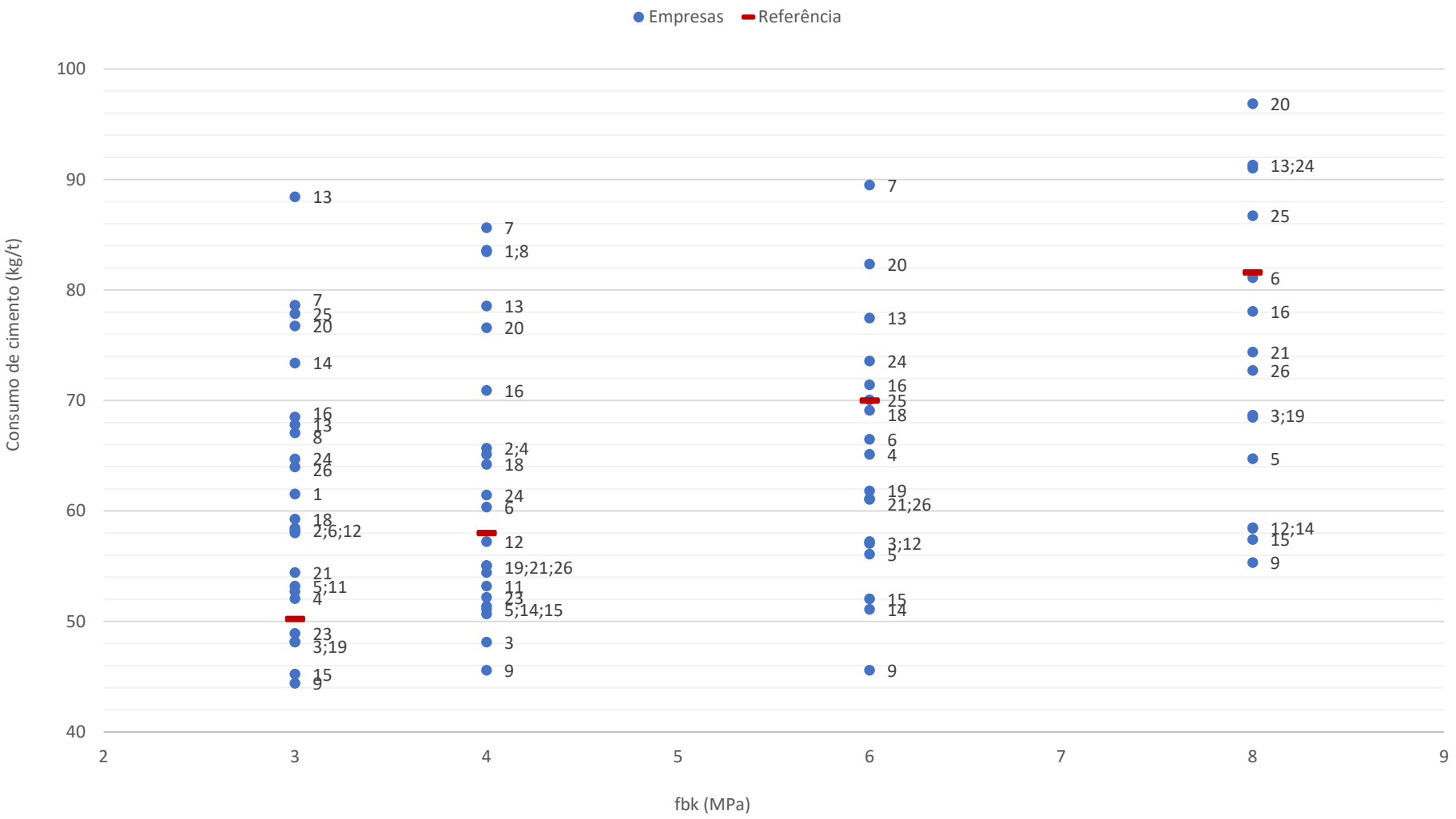


Figura 7 ***Consumos de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***blocos de 3 a 8 MPa****, com a identificação das empresas. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

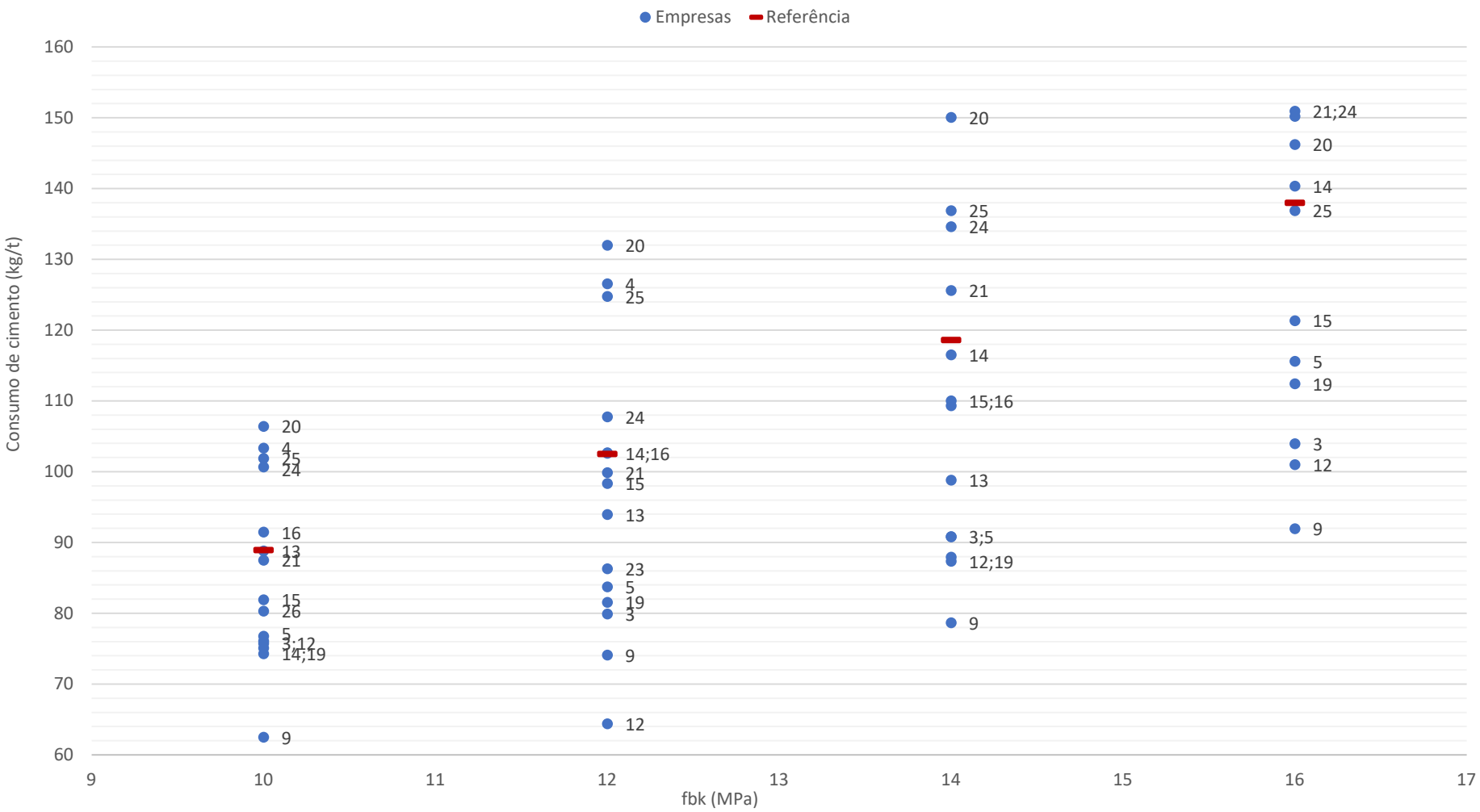


Figura 8: ***Consumos de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***blocos de 10 a 16 MPa****, com a identificação das empresas. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

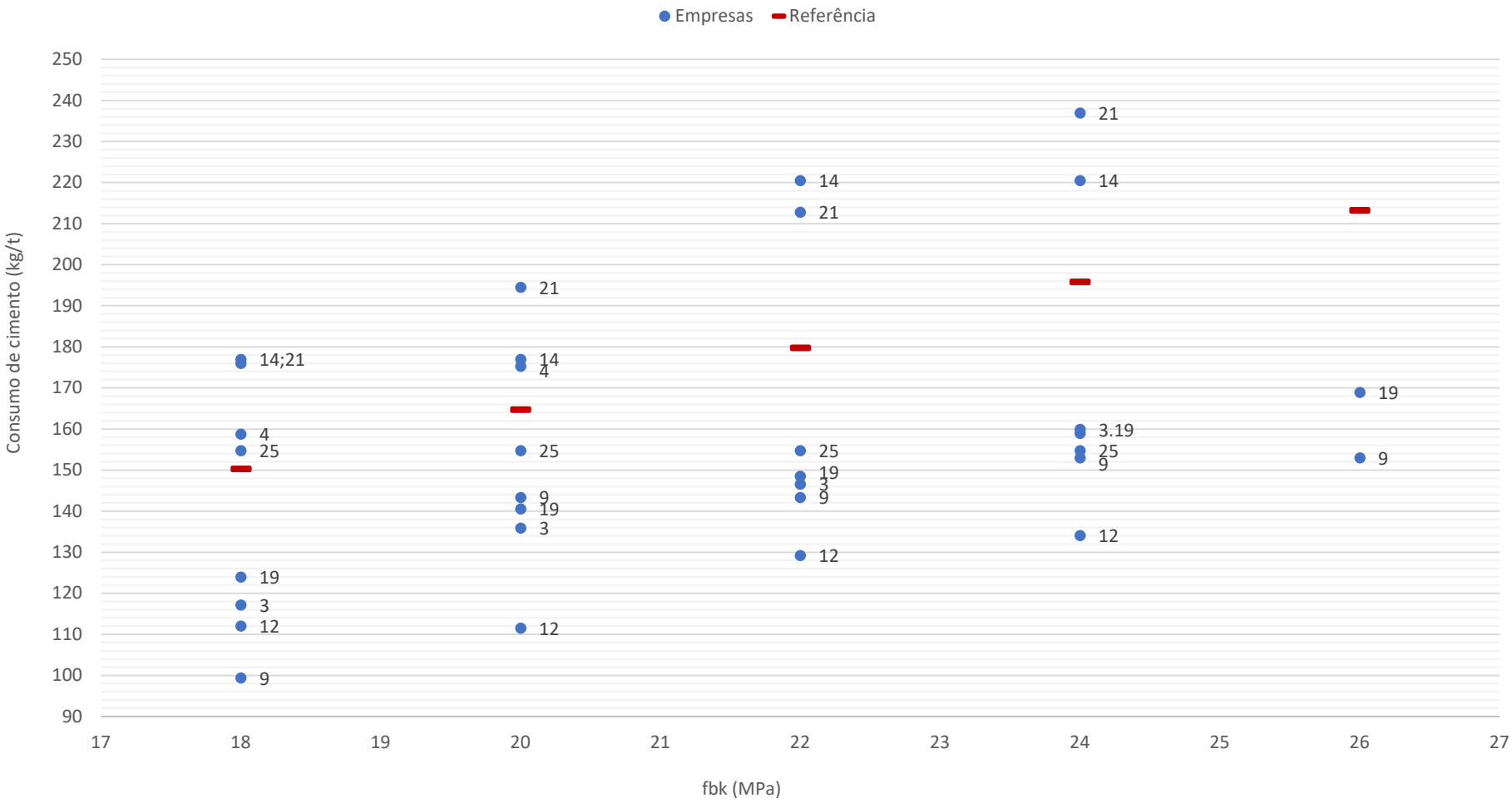


Figura 9: ***Consumos de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***blocos de 18 a 26 MPa****, com a identificação das empresas. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

4.1.2.2 Peças para pavimentação

A Figura 10 contempla os consumos de cimento calculados para as peças de concreto para pavimentação.

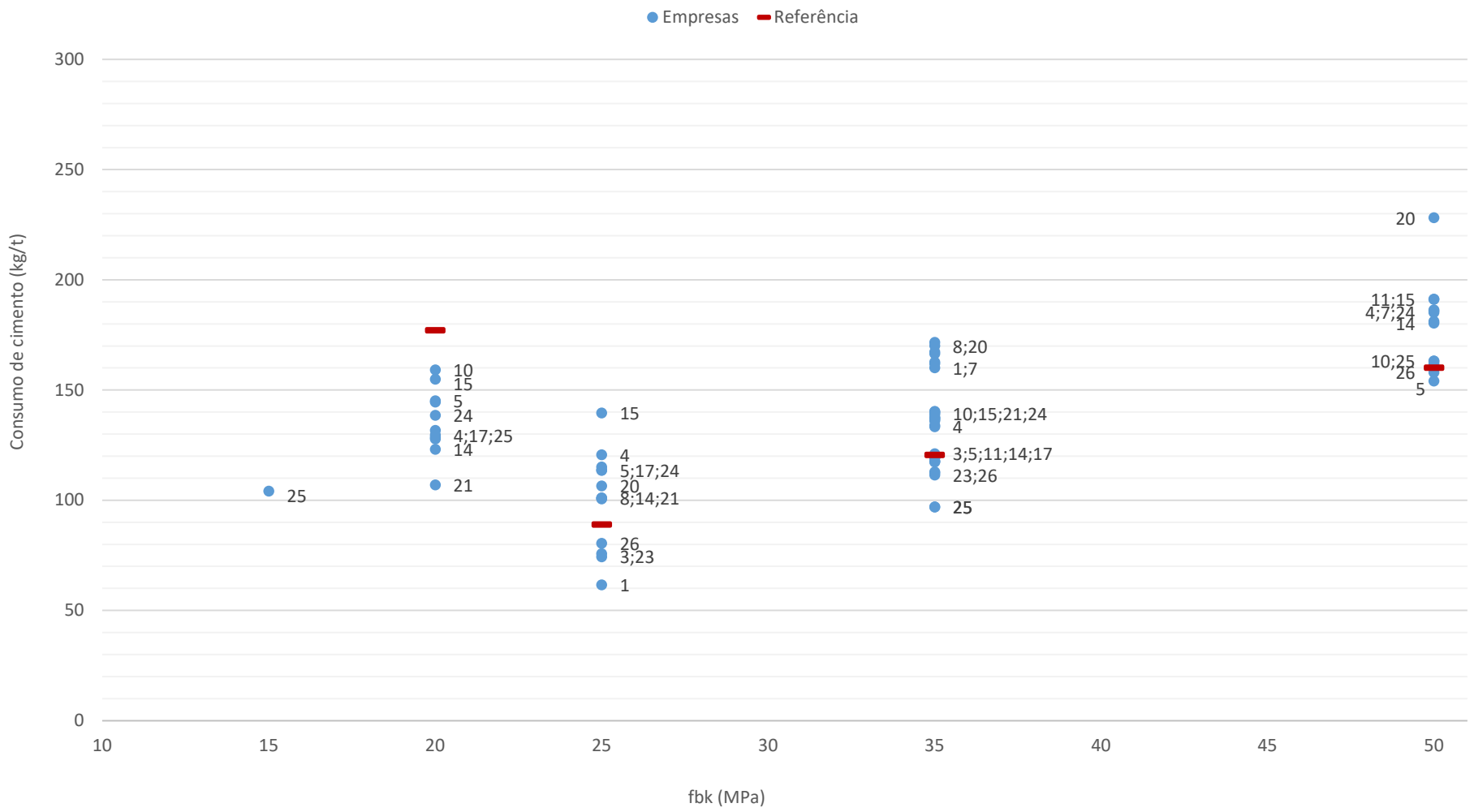


Figura 10: ***Consumos de cimento*** *dos concretos utilizados na produção das* ***peças para pavimentação****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto. A resistência de 20 MPa é referente ao piso permeável, as resistências 35 MPa e 50 MPa são referentes aos pisos, e as resistências 15 MPa e 25 MPa são referentes às guias.*

4.1.3 Intensidade de cimento

A intensidade de cimento foi calculada a partir dos dados obtidos do seu consumo, utilizando a Equação 2. O consumo de cimento considera o intervalo de confiança de 95% conforme detalhado no item 5. A intensidade de cimento é dada em quilograma de cimento por tonelada de concreto

Equação 2:

$$IC_{fbk}(kg/t/MPa) = \frac{Massa\ cim_{fbk}}{fbk} \times 1000$$

Onde: IC = Intensidade de cimento para fbk (kg/t/MPa)

fbk = resistência característica k do bloco de concreto (MPa);

Massa cim_{fbk} = Massa de cimento para fbk (kg de cimento /kg de concreto)

4.1.3.1 Blocos

A intensidade de cimento estão apresentados na Figura 11 para os blocos de 3 a 8 MPa, e na Figura 12 para os blocos de 10 a 26 MPa.

A Figura 11 e a Figura 12 mostram que todos os fabricantes cujos valores de intensidade de cimento estão acima do valor mediano do *benchmark* apresentam grande potencial de melhoria na eficiência do uso de cimento na produção de seus blocos de concreto. Por outro lado, aqueles que apresentam o consumo de cimento abaixo do *benchmark* médio, mantendo a qualidade e resistência de seus produtos, são mais eficientes quanto ao uso do cimento e, por consequência, têm maior probabilidade de apresentarem menores emissões de CO_2. O desafio das empresas é manter seus traços com a máxima eficiência possível, ou seja, com consumo e intensidade de cimento próximos ao valor mínimo, garantindo assim maior aproveitamento do potencial do cimento e consequentemente melhor desempenho ambiental.

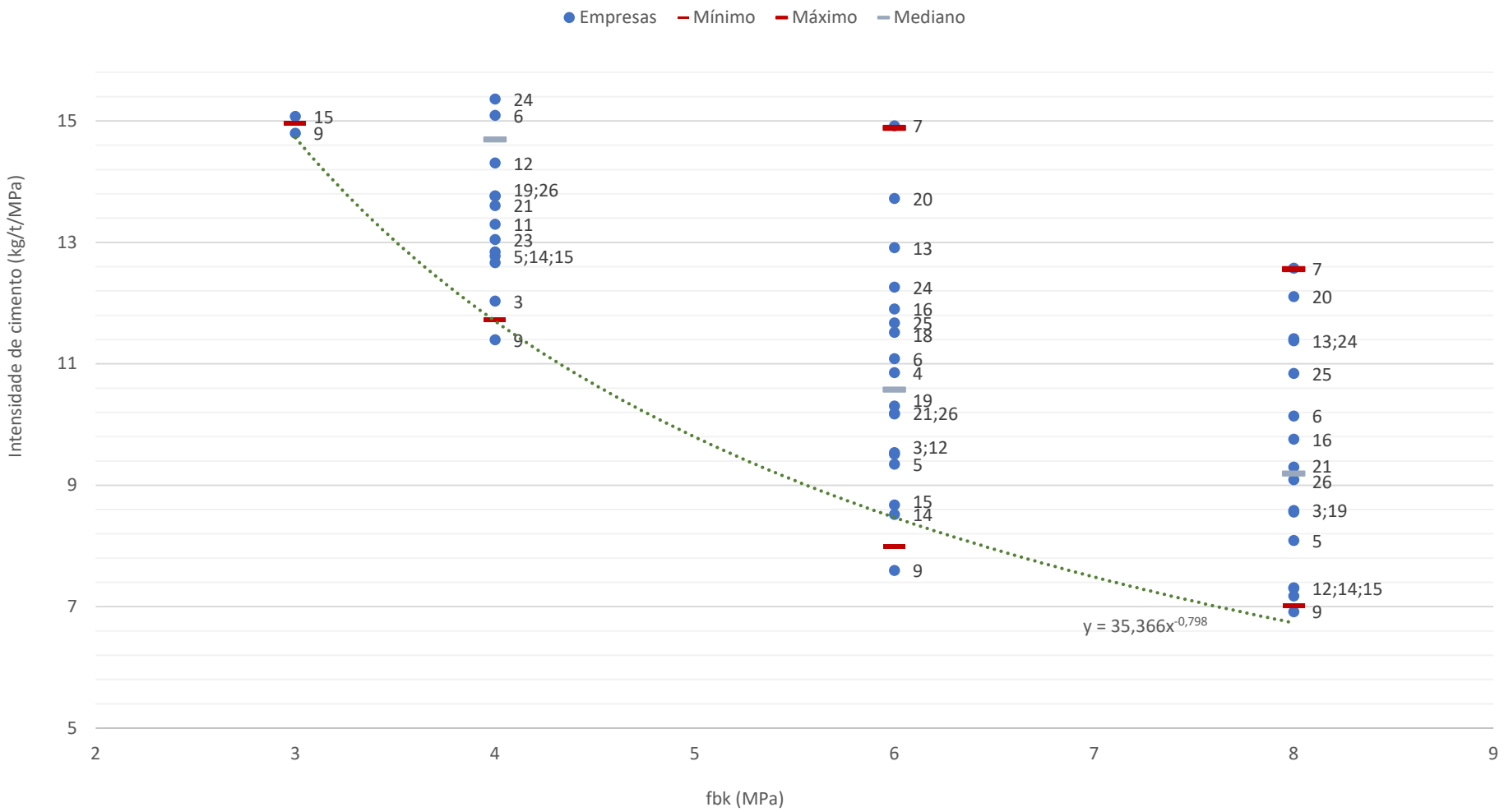


Figura 11: ***Benchmark da intensidade de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***blocos de 3 a 8 MPa****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto. Considerados valores máximos e mínimos dentro do intervalo de confiança de 95%.*

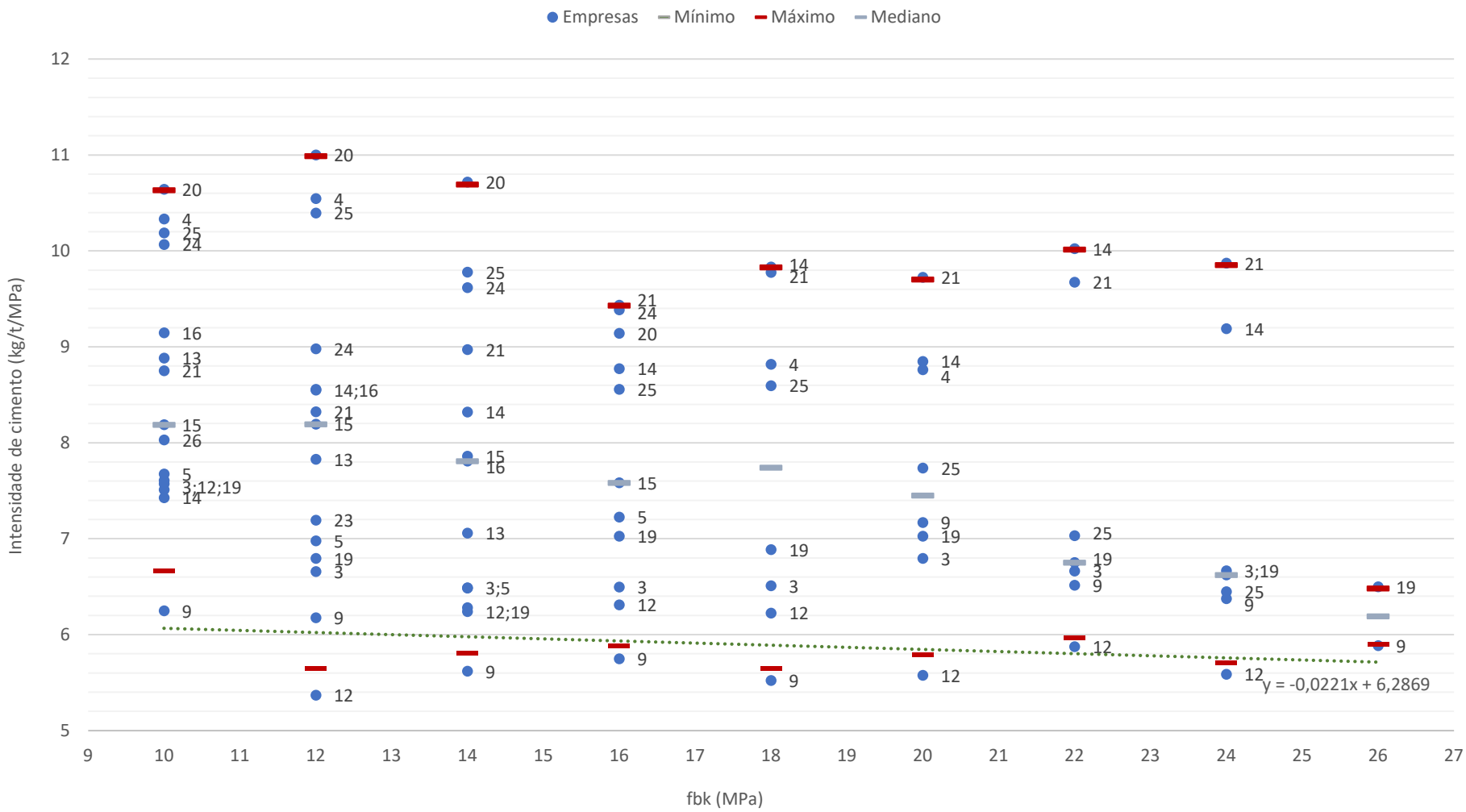


Figura 12: ***Benchmark da intensidade de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***blocos de 10 a 26 MPa****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto. Considerados valores máximos e mínimos dentro do intervalo de confiança de 95%.*

4.1.3.2 Peças para pavimentação

A intensidade de cimento dos pisos estão apresentados na Figura 13, onde estão consideradas somente as peças não pigmentadas.

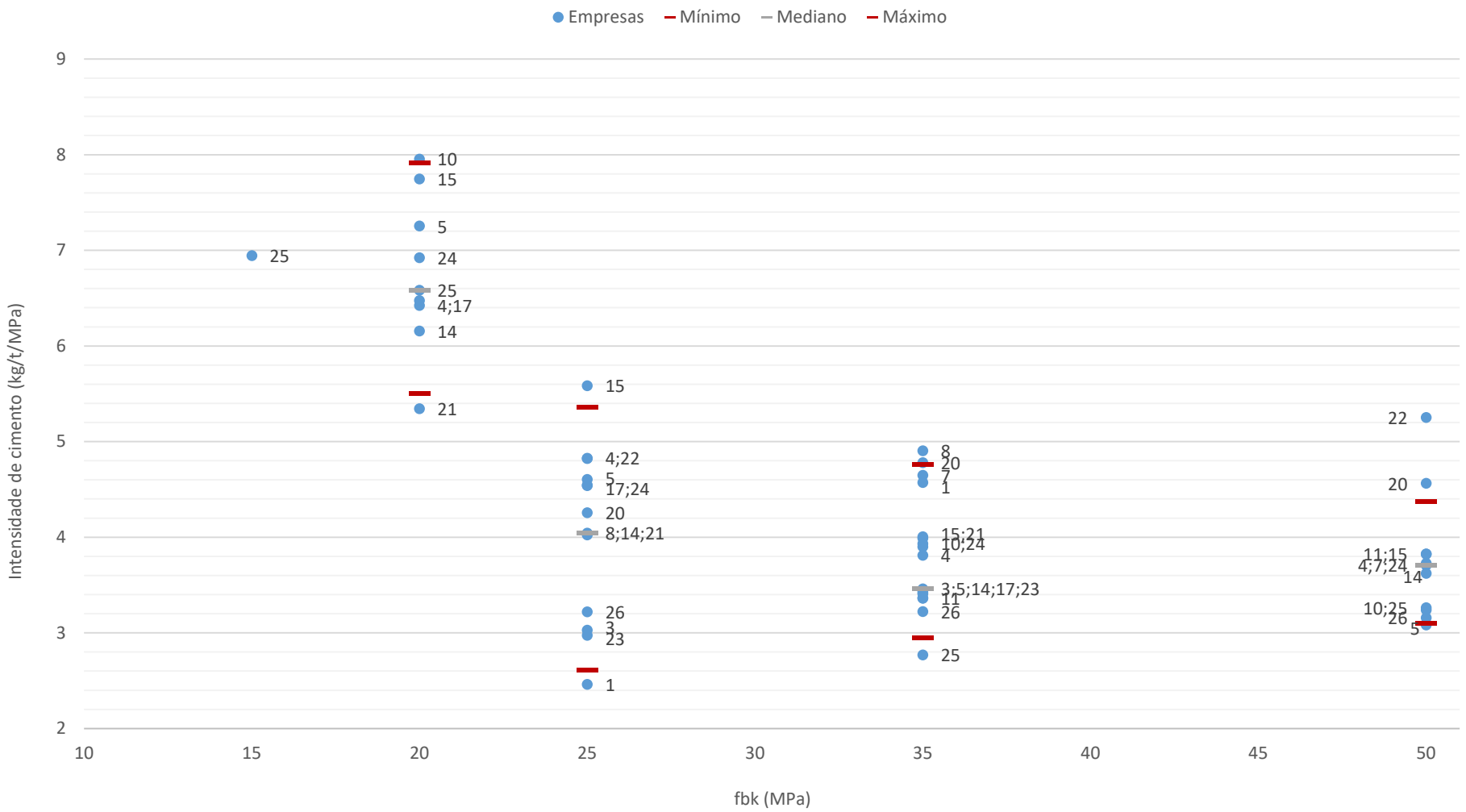


Figura 12.b: ***Intensidade de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***pisos para pavimentação****, exceto pigmentados. Valores dados por resistência característica do componente de concreto. Considerados valores máximos e mínimos dentro do intervalo de confiança de 95%*

Água de mistura do concreto

Conforme detalhado no item *3.1.2.5*, a *água de mistura* é composta pela *água adicionada* e pela *água contida* nos insumos. A *água adicionada*, informada na parte "Concretos" da Ferramenta, foi alvo de diferentes interpretações por parte dos fabricantes, o que mereceu atenção da Equipe da Jornada. Devido a essa dificuldade, viu-se a necessidade de solicitar a umidade ótima dos concretos, dado enviado após entrega da Ferramenta pela maioria dos fabricantes. A umidade ótima do concreto é um termo utilizado pelo setor para definir a umidade mais adequada do material para moldagem e prensagem dos componentes.

As umidades dos concretos frescos foram calculadas a partir da Equação 3. Porém, alguns fabricantes não disponibilizaram o volume de água adicionada, variável necessária para o cálculo da umidade do concreto. Nestes casos foi considerada a umidade ótima igual à umidade do concreto.

Equação 3:

$$Umidade\ do\ concreto_{fbk}(\%) = \frac{Água\ mistura_{fbk}}{Massa\ cim_{fbk} + Massa\ agreg\ seco_{fbk}} \times 100$$

Onde: *fbk = resistência característica k do bloco de concreto (MPa);*

$Água\ mistura_{fbk}$ = Água de mistura para fbk (kg de água/kg de concreto);

$Massa\ cim_{fbk}$ = Massa de cimento para fbk (kg de cimento/kg de concreto);

$Massa\ agreg\ seco_{fbk}$ = Massa de agregado seco para fbk (kg de agregado/kg de concreto).

Os dados de umidade calculados a partir da Equação 3, além da relação água/cimento dos concretos, estão apresentados nos itens seguintes para blocos e peças para pavimentação separadamente.

4.1.3.3 Blocos

A Figura 13 e a Figura 14 apresentam os valores de umidade de concreto dos blocos de 3 a 12 MPa e de 14 a 26 MPa, respectivamente. A umidade dos concretos variou de 4,5% a 9,8% (exceto empresa 7). Como a umidade ótima sugerida como referência pela ABCP foi de 6%, os dados estão coerentes, exceto os da Empresa 7, que apresentou valores próximos a 12%.

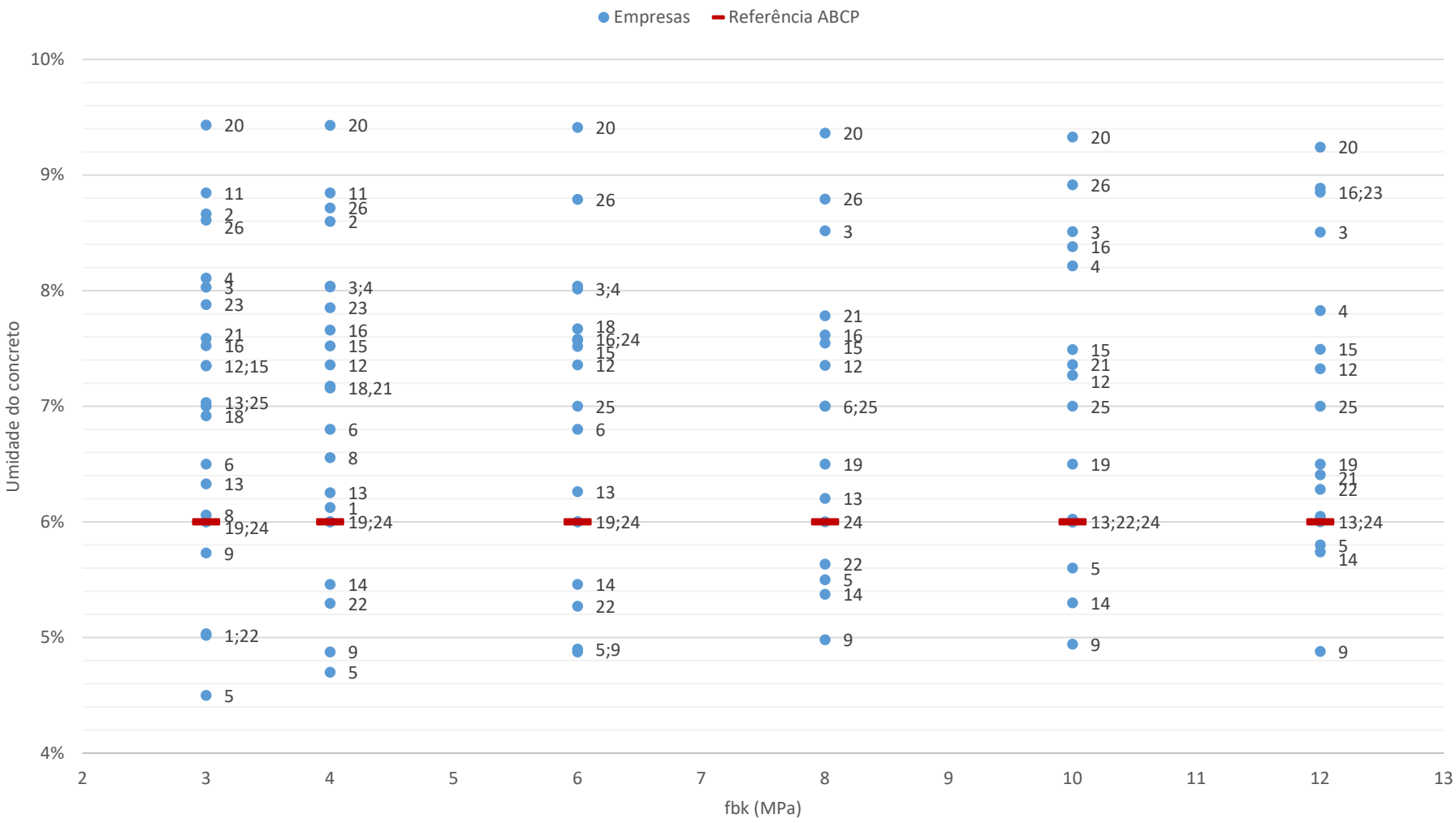


Figura 13: ***Umidade*** *dos concretos frescos utilizados na produção dos* ***blocos de 3 a 12 MPa****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

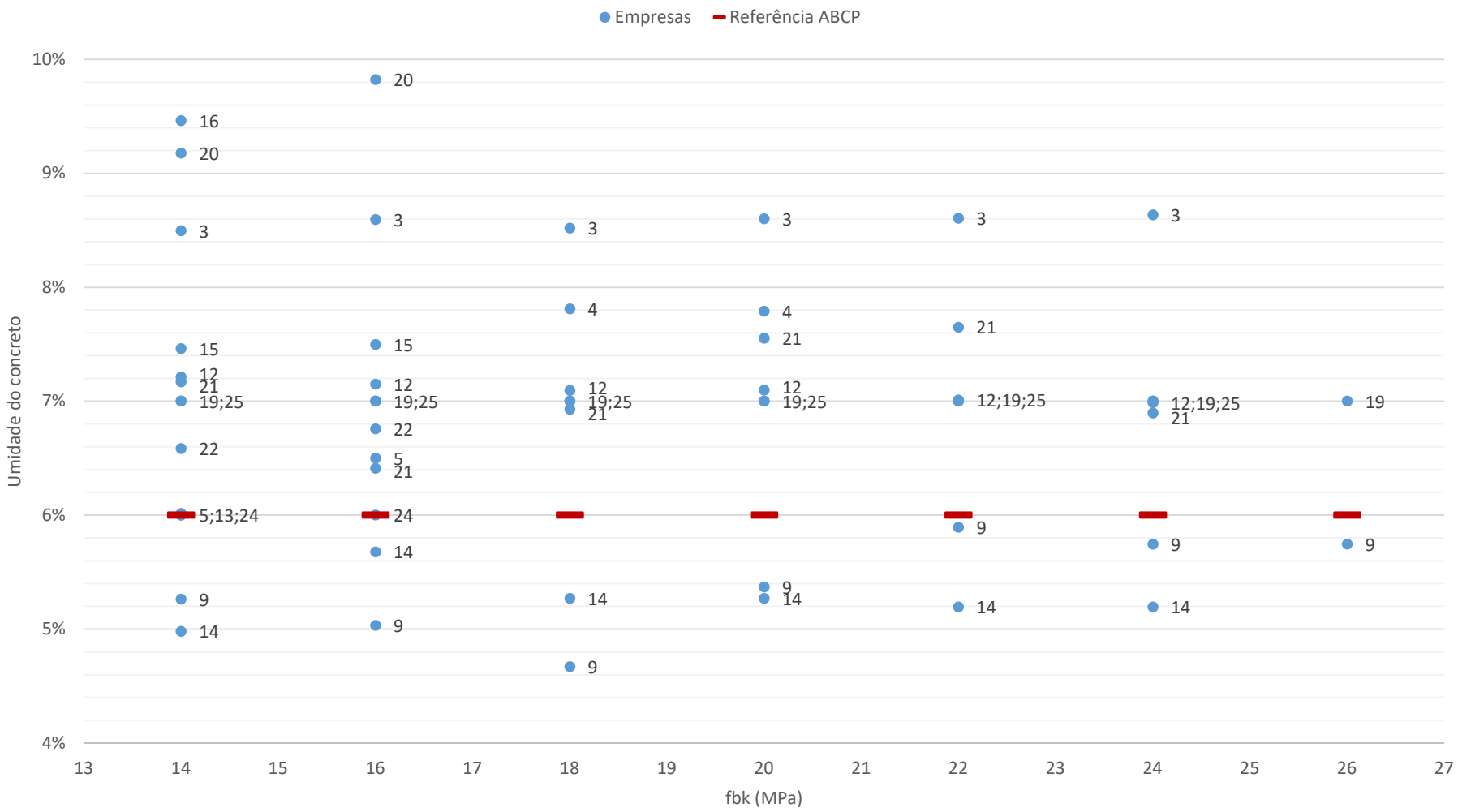


*Figura 14: **Umidade** dos concretos frescos utilizados na produção dos **blocos de 14 a 26 MPa**. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

Os dados de relação água/cimento referente aos blocos, apresentados na Figura 15 e na Figura 16, estão seguindo os valores de referência sugeridos pela ABCP, definindo o *benchmark* do setor. Nota-se uma variação da relação água/cimento em torno de ±50% com relação aos valores de referência fornecidos pela ABCP, o que pode ser explicado pelas diferentes tecnologias de moldagem e vibro-prensagem dos elementos, bem como pelo uso de aditivos que auxiliam nesse processo.

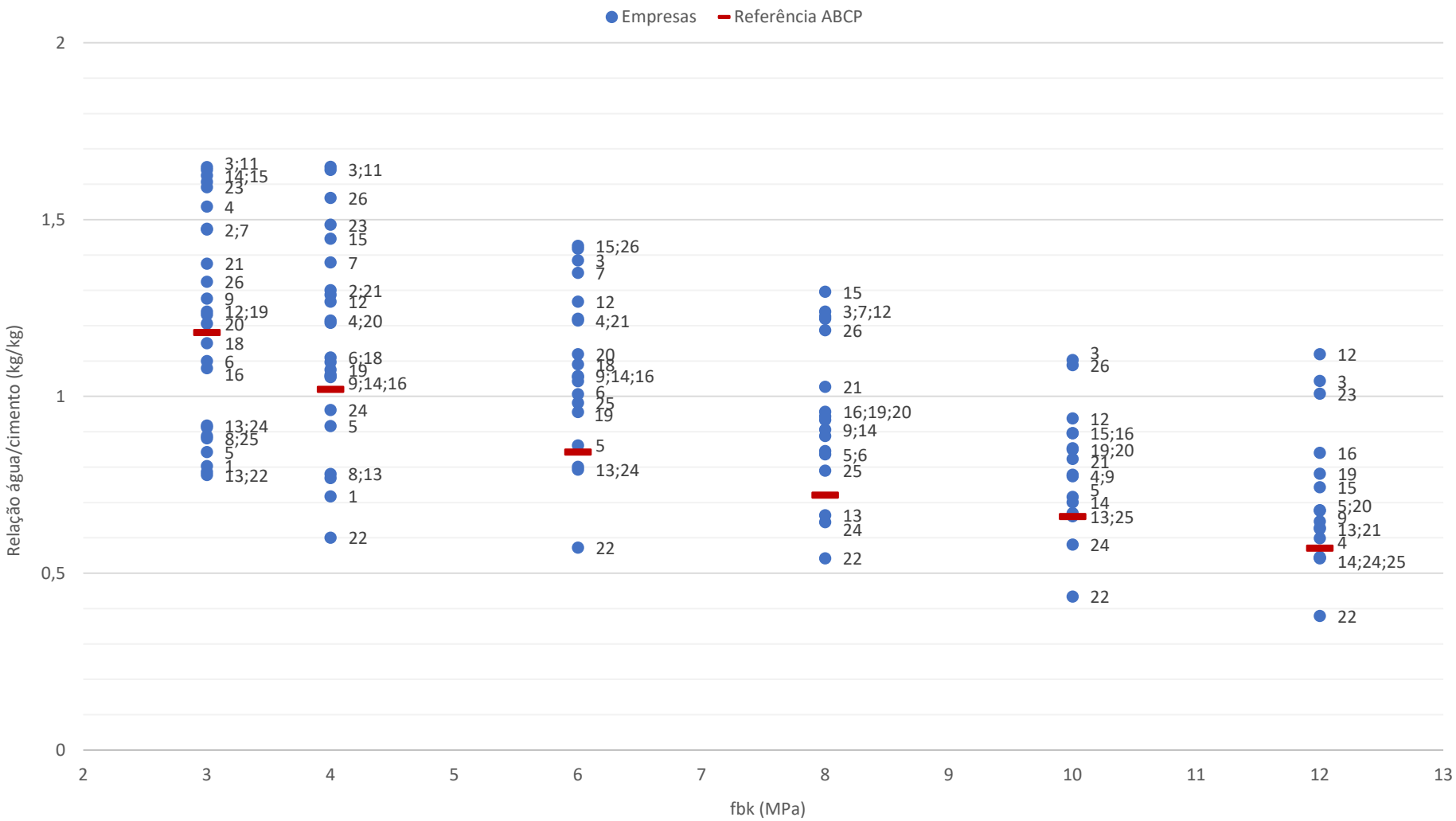


Figura 15: ***Relação água/cimento*** *dos concretos frescos utilizados na produção dos* ***blocos de 3 a 12 MPa****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

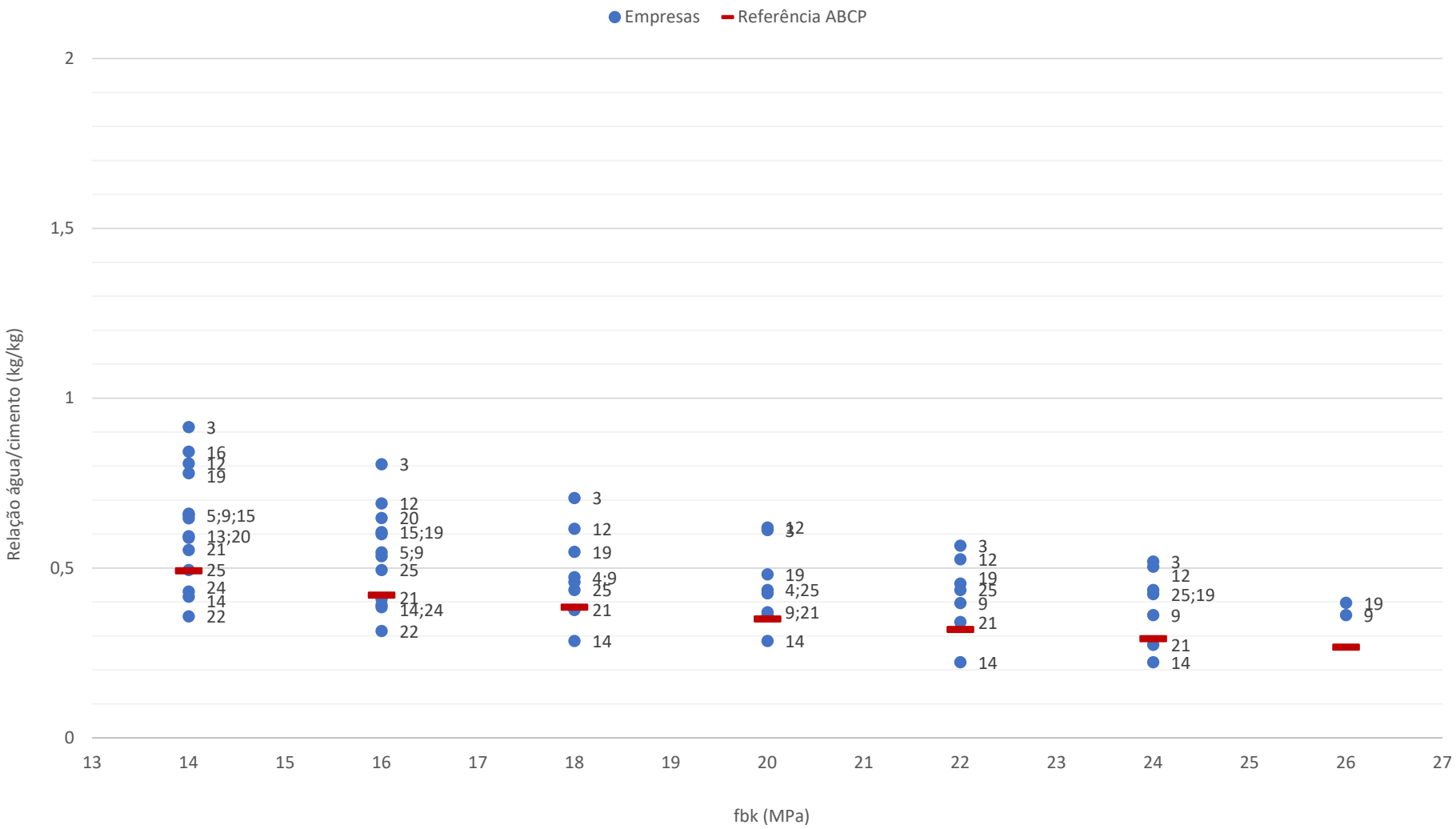


Figura 16: ***Relação água/cimento*** *dos concretos frescos utilizados na produção dos* ***blocos de 14 a 26 MPa****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

4.1.3.4 Peças para pavimentação

A Figura 17 apresenta os valores de umidade das peças para pavimentação. A umidade ótima dada como referência pela ABCP foi de 6% e as umidades dos concretos estão coerentes, pois variaram de 4% a 9,3%, exceto da empresa 7 que apresentou valores próximos a 12%.

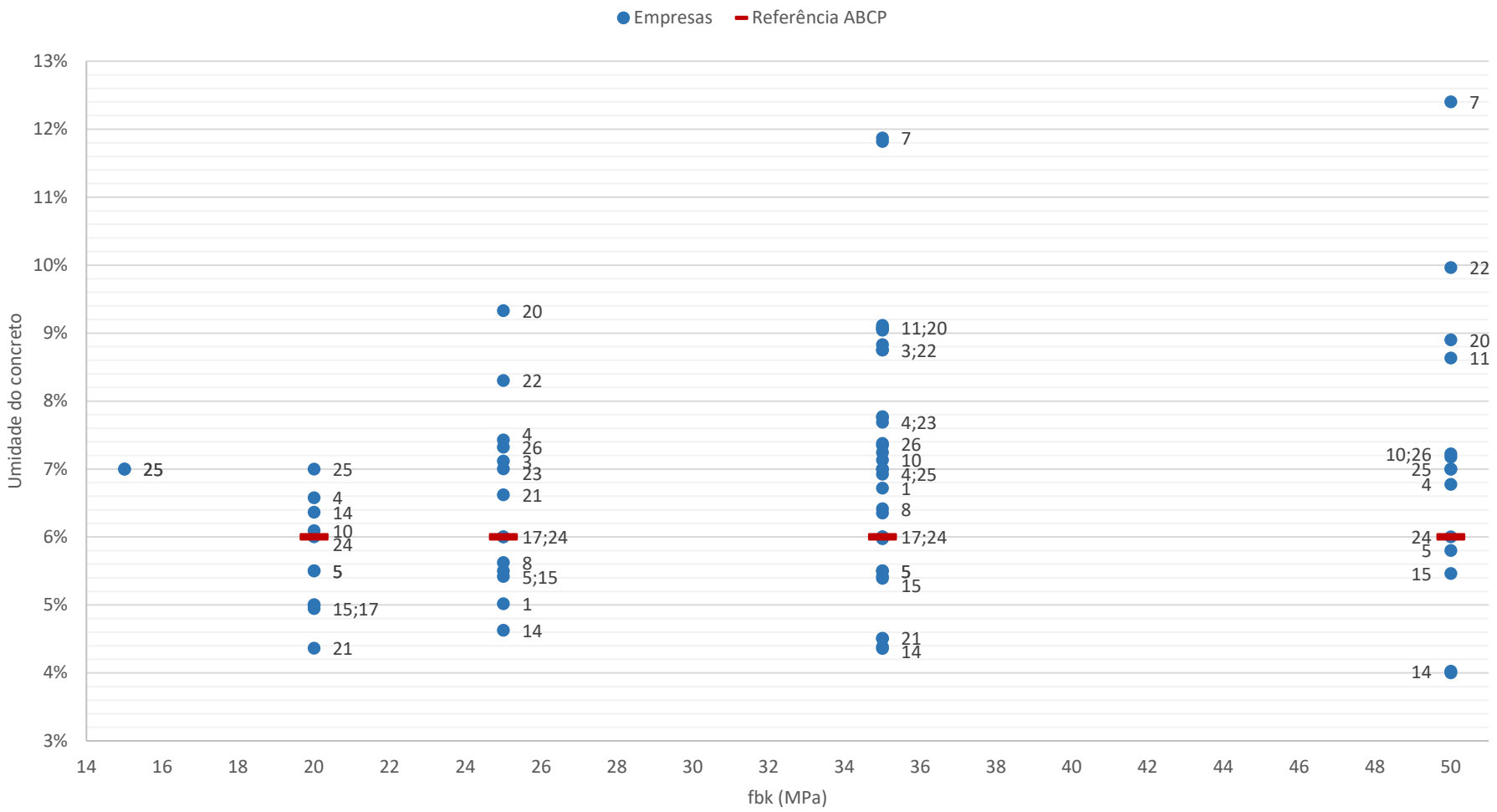


*Figura 17: **Umidade** dos concretos frescos utilizados na produção das **peças para pavimentação**. Valores dados por resistência característica do componente de concreto. A resistência 20 MPa é referente ao piso permeável, as resistências 35 MPa e 50 MPa são referentes aos pisos, e as resistências 15 MPa e 25 MPa são referentes às guias.*

Os dados de relação água/cimento referentes às peças para pavimentação estão na Figura 18. Nota-se uma variação da relação água/cimento em torno de ±50% com relação aos valores de referência fornecidos pela ABCP para os componentes de 25, 35 e 50 MPa, o que pode ser explicado pelas diferentes tecnologias de moldagem e vibro-prensagem dos elementos, bem como pelo uso de aditivos que auxiliam nesse processo. Os dados dos pisos permeáveis de 20 MPa mostraram-se menores que a referência, e não foi disponibilizada referência para o concreto de 15 MPa.

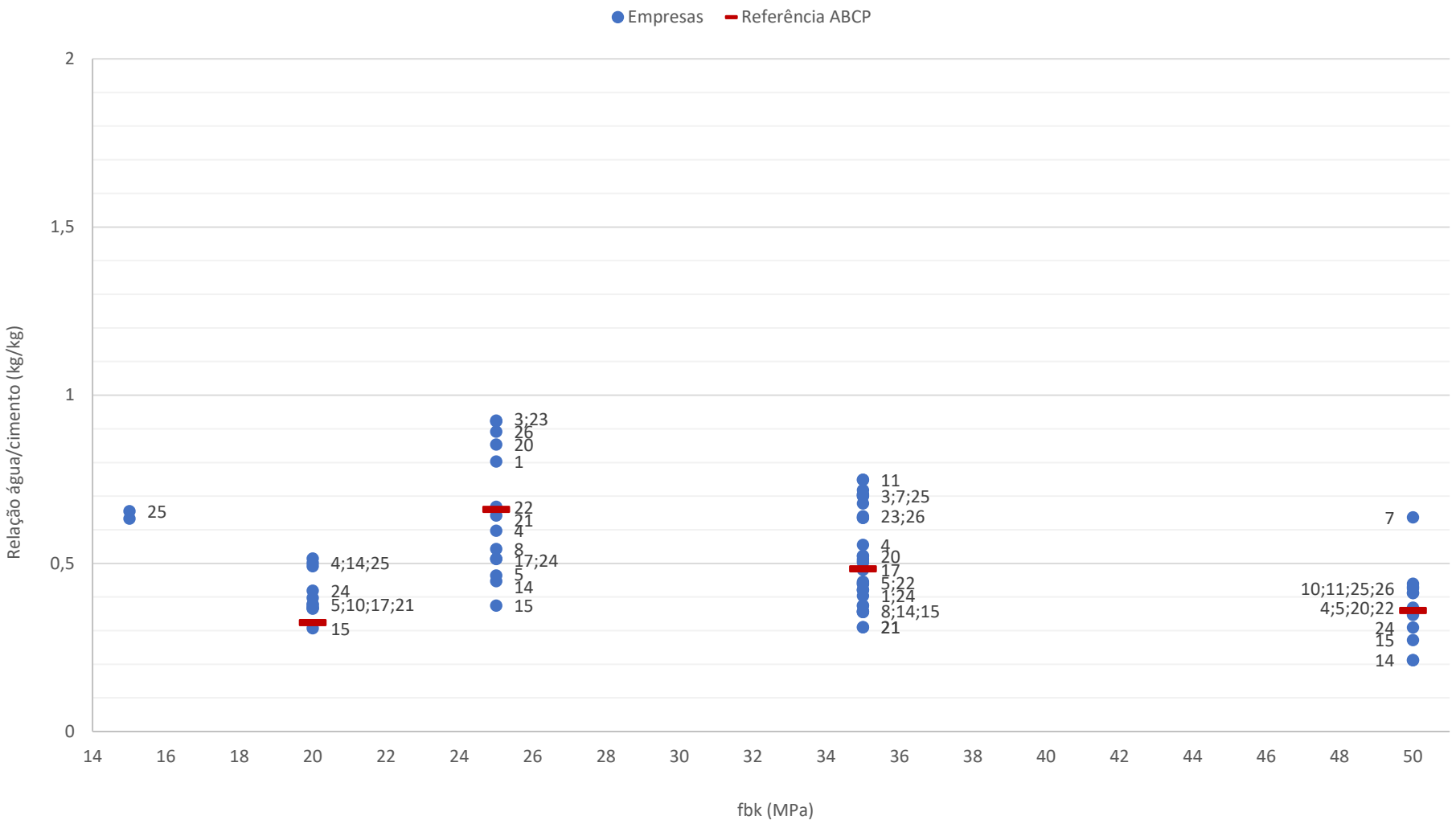


Figura 18: ***Relação água/cimento*** *dos concretos frescos utilizados na produção das* ***peças para pavimentação****. Valores dados por resistência característica do componente de concreto A resistência 20 MPa é referente ao piso permeável, as resistências 35 MPa e 50 MPa são referentes aos pisos, e as resistências 15 MPa e 25 MPa são referentes às guias.*

4.2 Consumo de água na fábrica

O consumo de água na fábrica foi informado pelo fabricante na parte “Insumos” da Ferramenta. A Figura 19 apresenta o consumo de água pelo setor. A empresa 11 informou consumo de água de reúso inconsistente e, por isso, foi expurgado desta análise. O consumo de água subterrânea corresponde a 78% do consumo total, justificado pelo menor custo financeiro, restrito ao custo inicial de aquisição e instalação de equipamentos de captação. Durante a coleta de dados foi declarado por algumas empresas que o valor informado do consumo de água subterrânea era uma estimativa devido à ausência de relógio medidor, porém uma pesquisa faz-se necessária para estimar a representatividade desse caso. Apesar de não gerar custo financeiro para a empresa, o consumo de água subterrânea possui carga ambiental significativa para o sistema hídrico, portanto o controle do consumo representa maturidade do setor na pauta ambiental. Logo, é aconselhável que as empresas instalem medidores para uma efetiva quantificação desse recurso, possibilitando seu controle e, em futuro próximo, a inclusão do indicador de água como um parâmetro do setor, constando inclusive no Sidac.

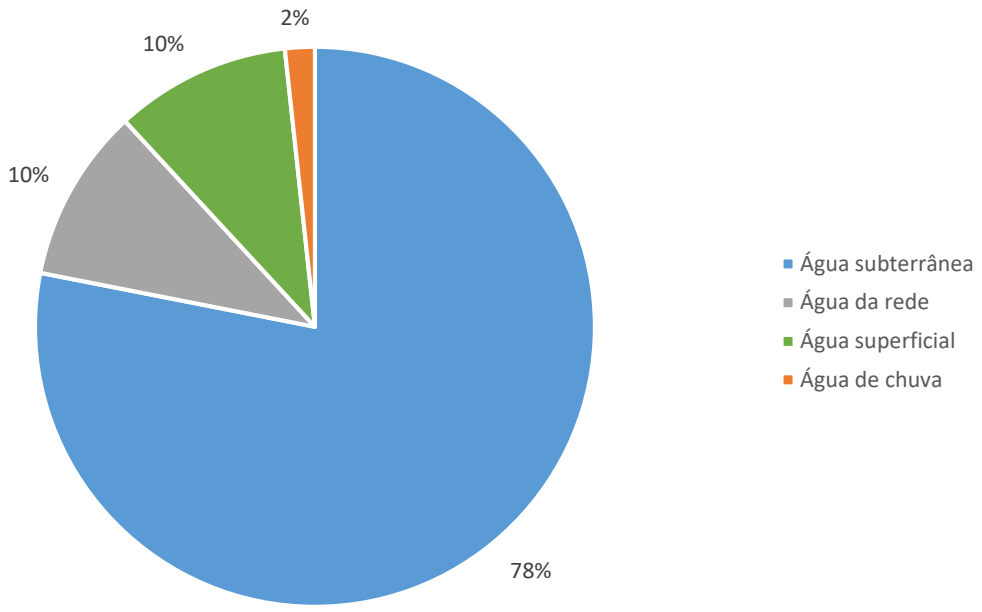


*Figura 19: **Consumo de água** das empresas participantes segundo sua origem. Expurgados os dados da Empresa 11.*

A Figura 20 apresenta o consumo de água por tonelada de concreto produzida. A identificação das empresas está no eixo horizontal do gráfico (empresas 1 a 26). Como a Empresa 8 e a Empresa 11 apresentaram consumos de água significativamente superiores às demais, 0,33 m^3/t e 2 m^3/t respectivamente, os valores foram suprimidos do gráfico para facilitar a visualização. O gráfico mostra que 88% das empresas utilizam água de poços, de reúso ou superficiais. No entanto, grande parte das empresas participantes não mede seu consumo hídrico, o que resulta em uma variação significativa dos consumos informados. A falta de dados consistentes impede a definição de indicador de consumo de água, que poderia servir como referência para o setor.

O controle do consumo de água é uma prática simples e de baixo custo, que pode ser implementada por meio da instalação de hidrômetros nas unidades fabris. Esses dispositivos

permitem medição precisa do consumo real da planta, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

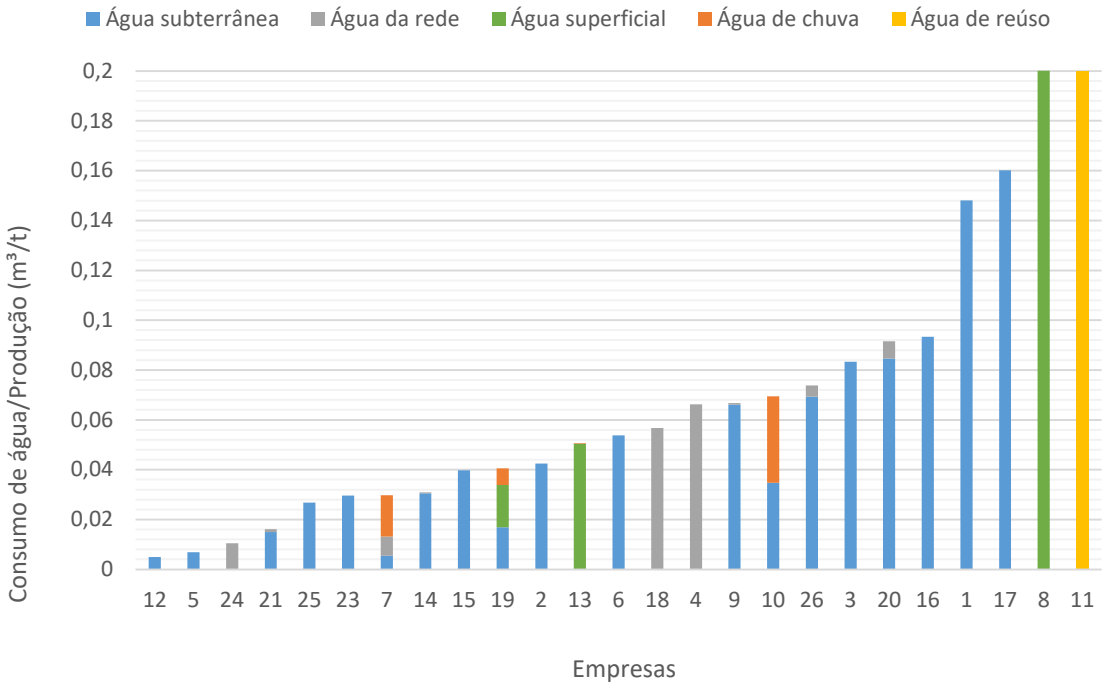


*Figura 20: **Consumo de água** das empresas participantes. Valores apresentados por tonelada de produtos fabricados. O consumo da empresa 8 foi de 0,33 m³/t de água superficial e da empresa 11 foi de 2 m³/t de água de reúso, não apresentados no gráfico apenas para facilitar sua visualização.*

4.3 Consumo de energia na fábrica

O consumo de energia na fábrica foi informado pelos fabricantes na parte "Insumos" da Ferramenta. A conversão da unidade de medida do insumo para MJ foi realizada utilizando os fatores adotados no Sidac (MME; CBCS, 2022), conforme dados da Tabela 2. No caso da eletricidade do mercado livre, que não consta na referida tabela, foram considerados que seus indicadores são iguais aos da eletricidade da rede pela ausência de dados na literatura.

Tabela 2: Fator de energia primária e emissão de CO_2 dos insumos energéticos consumidos pelas empresas do setor no período do inventário.

Descrição	Unidade	Fator de energia primária (MJ/unid.)	Fator de emissão de CO_2 (kg/unid.)
Diesel	litro	35,21	2,29
Eletricidade da rede	kWh	5,22	0,07
Eletricidade fotovoltaica	kWh	3,6	0,00
Etanol	litro	21,34	0,00
GLP	kg	46,47	2,93
Gás Natural	m³	41,57	2,33
Gasolina	litro	29,63	1,63
Lenha não renovável	m³	5.061	566
Lenha renovável	m³	5.061	0,00
Óleo combustível (BPF)	litro	40,15	3,11

Fonte: (MME; CBCS, 2022)

A Figura 21 mostra que o consumo de energia das fábricas varia de 40 a 180 MJ por tonelada de produtos fabricados. A energia elétrica e o diesel são os insumos energéticos utilizados por todas as empresas e representam 85% do consumo. A eletricidade é destinada à operação dos equipamentos da fábrica, enquanto o diesel e o GLP são consumidos pelos equipamentos de transporte interno dos insumos e produtos. O GLP, utilizado por 56% das empresas, foi responsável por 13% do consumo energético. Como não foram solicitadas informações dos equipamentos utilizados nas unidades fabris, não foi possível uma análise comparativa entre o consumo energético e o tipo de equipamento. Portanto, fica como sugestão para uma próxima Jornada, acrescentar na Ferramenta de Apoio a solicitação de informações dos equipamentos associados aos consumos energéticos.

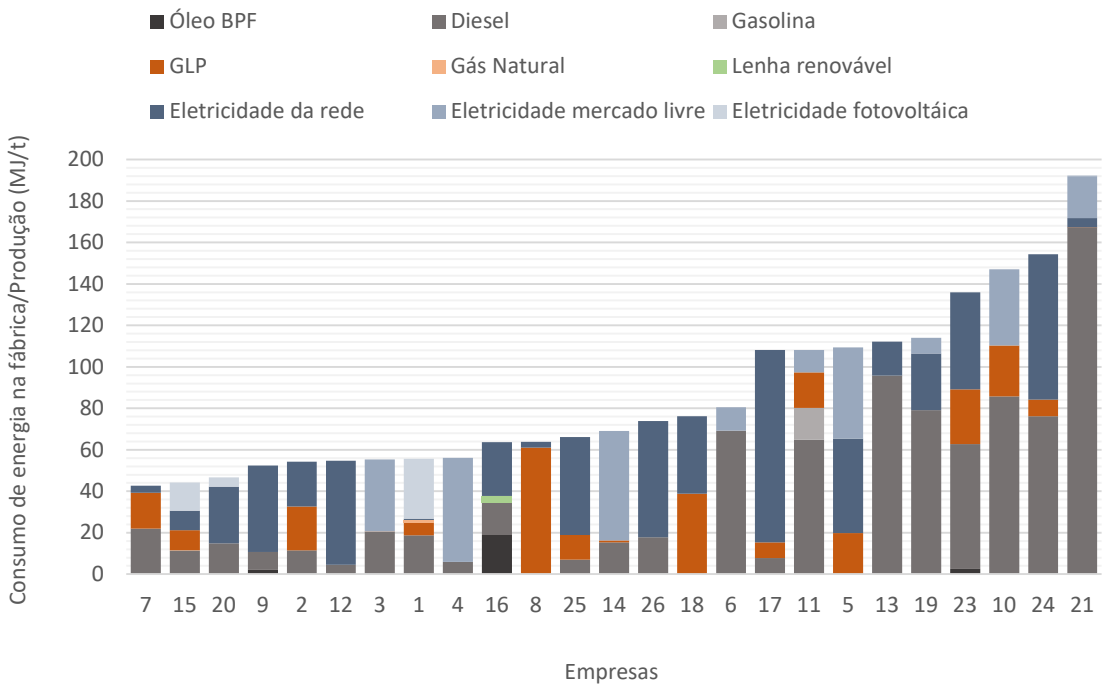


*Figura 21: **Consumo de energia** das empresas participantes. Valores apresentados em MJ por tonelada produzida no período analisado.*

4.4 Massa dos componentes

Foram analisados os valores das massas dos componentes por tipo, por família e por resistência característica. A partir dessa análise, foi possível localizar possíveis inconsistências nos dados informados, cujas revisões foram solicitadas aos fabricantes no decorrer do projeto. A variação das massas dos blocos inteiros da família 15 x 40 pode ser observada na Figura 22 e Figura 23, selecionada por ser responsável por 52% da produção total de componentes das empresas participantes no período do inventário. A Figura 24 e a Figura 25 apresentam a variação das massas dos blocos inteiros da família 20 x 40, responsável por 12% da produção total de componentes das empresas participantes no período do inventário.

Pode ser observado que a variação de massas entre blocos com mesma resistência característica pode chegar a 57% (blocos de 3 MPa da família 20 x 40). Essa variação impacta diretamente o desempenho ambiental do produto, bem como o custo de produção

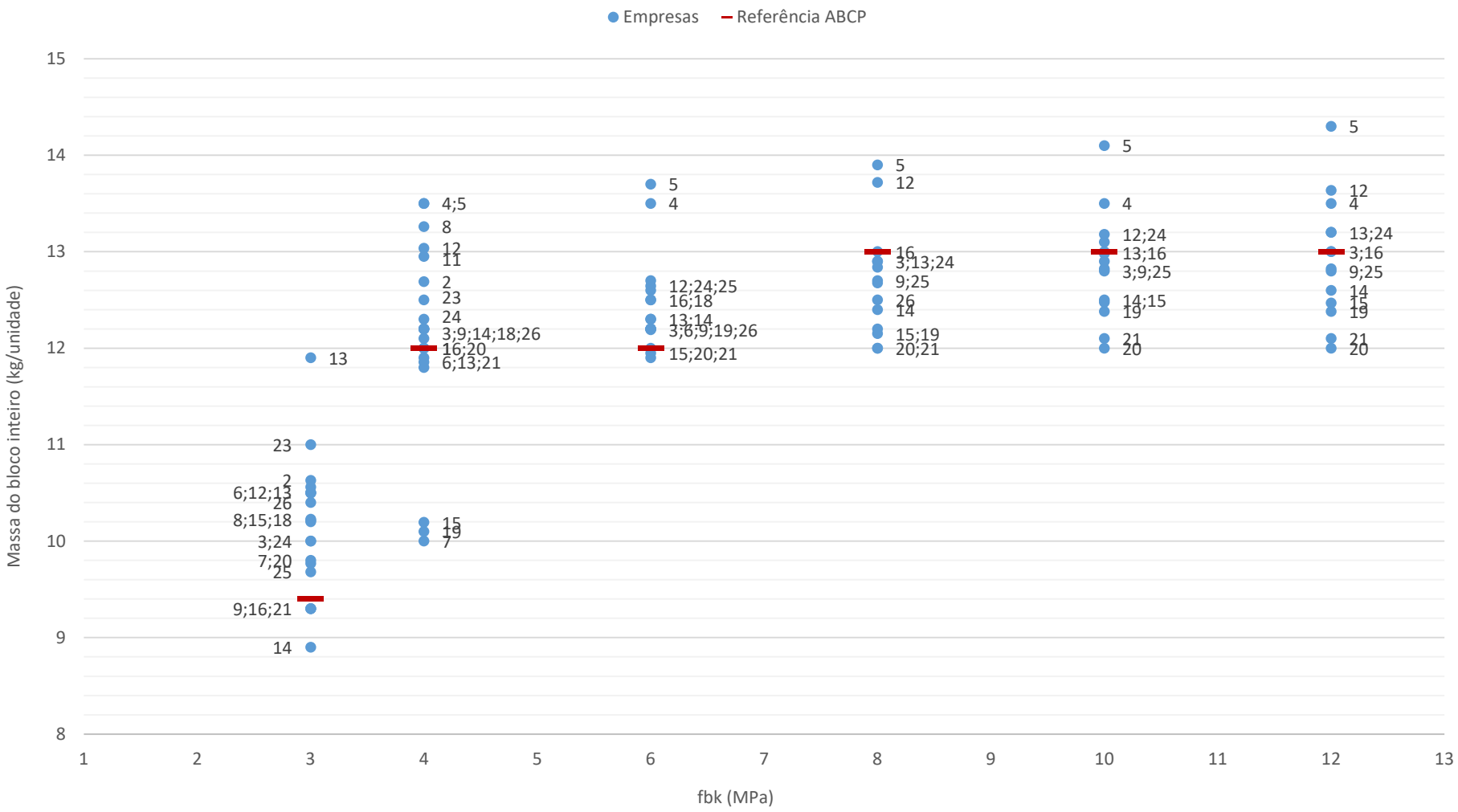


Figura 22: ***Massas*** *dos* ***blocos inteiros de 3 a 12 MPa da família 15 x 40 de 3 a 12 MPa*** *apresentadas por resistência de bloco.*

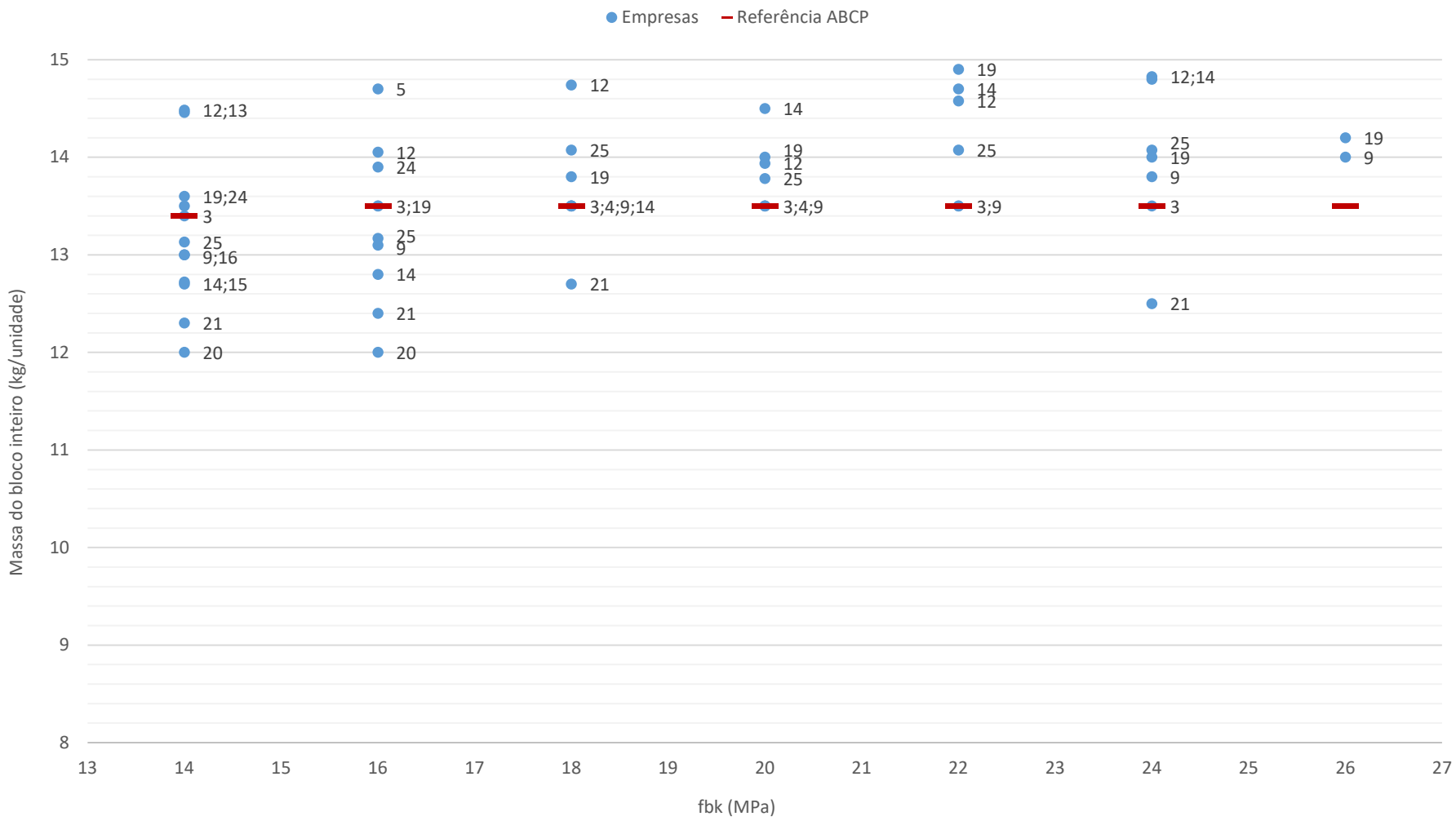


Figura 23: ***Massas*** *dos* ***blocos inteiros de 14 a 26 MPa da família 15 x 40 de 14 a 26 MPa*** *apresentadas por resistência de bloco.*

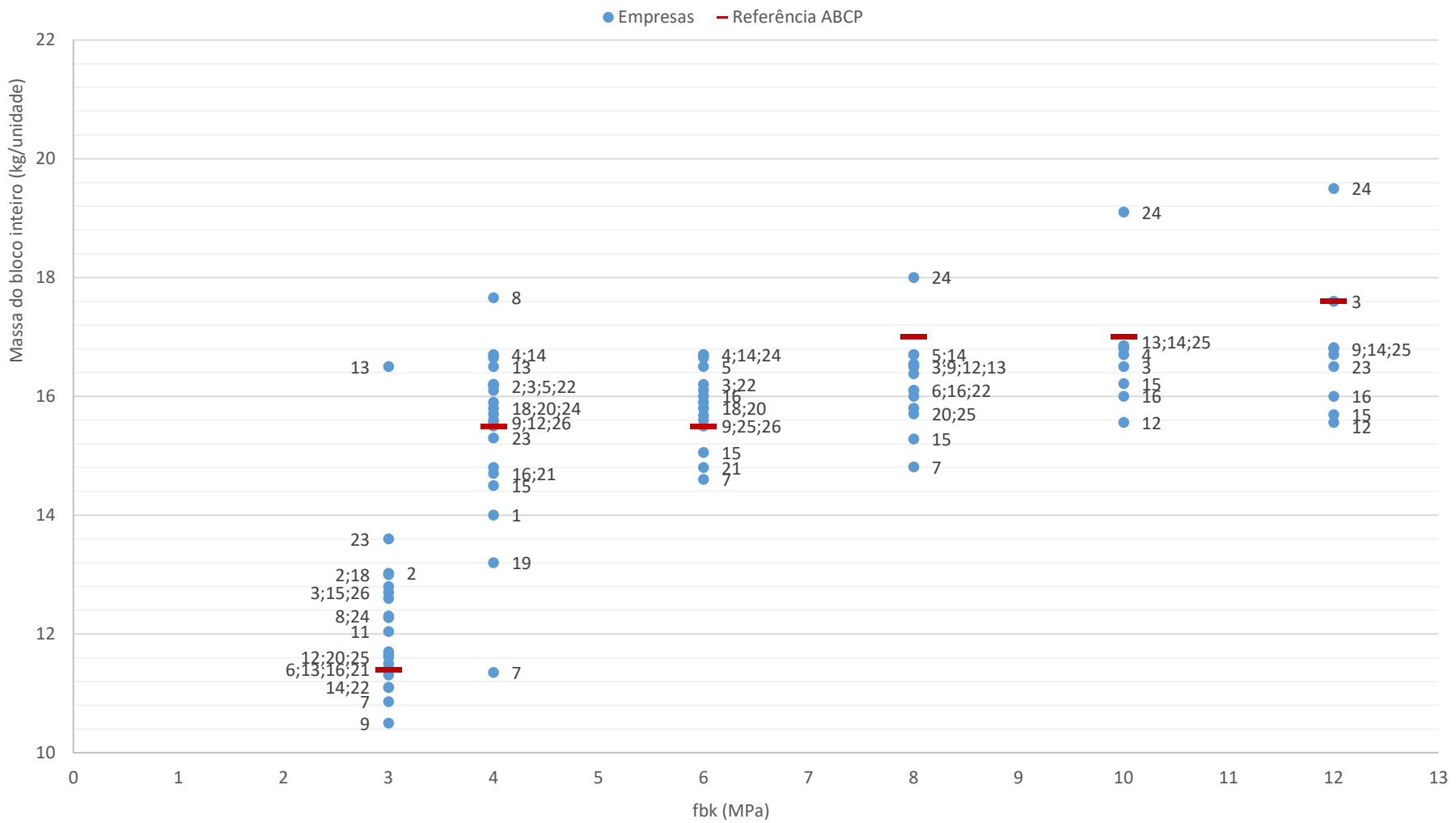


Figura 24: ***Massas*** *dos* ***blocos inteiros de 3 a 12 MPa da família 20 x 40 de 3 a 12 MPa*** *apresentadas por resistência de bloco.*

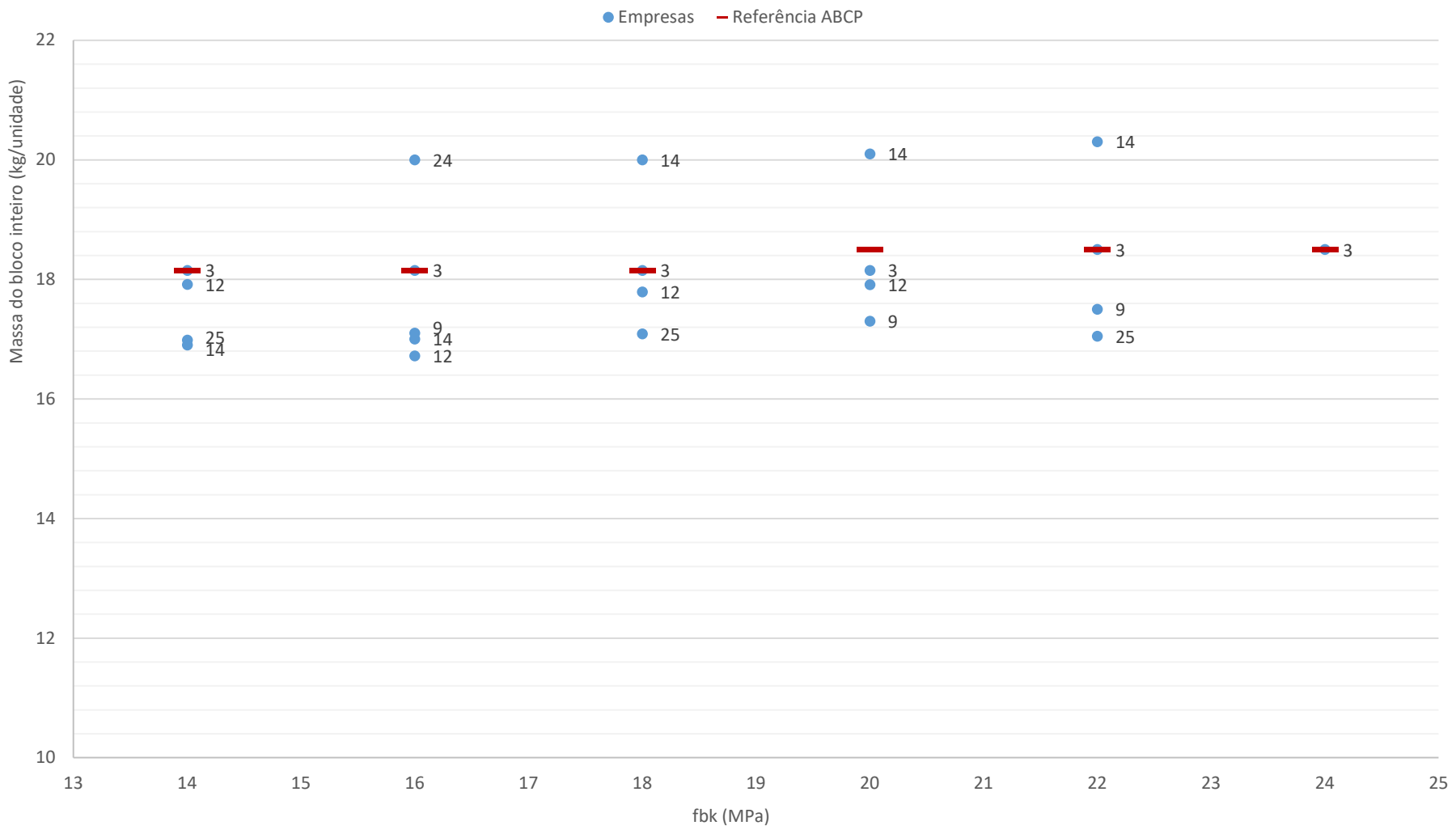


Figura 25: ***Massas*** *dos* ***blocos inteiros de 14 a 24 MPa da família 20 x 40 de 14 a 24 MPa*** *apresentadas por resistência de bloco.*

4.5 Balanço de massas

A análise dos balanços de massas foi realizada a partir do **fator de balanço de massas** calculado para cada empresa conforme a Equação 4. O fator de balanço de massas consiste em comparar o total de fluxos de saída (produtos) com o total de fluxos de entrada (matérias-primas) de uma fábrica, conforme Equação 4.

Equação 4

$$Fator\ de\ balanço\ de\ massas = \frac{Massa\ de\ produtos}{Massa\ das\ matérias\ primas}$$

A **massa das matérias-primas** refere-se à massa dos insumos incorporados nos produtos. É dada pela soma das massas de todas as matérias-primas consumidas (cimentos, agregados, aditivos e pigmentos, conforme informado na parte "Insumos" da Ferramenta), com a massa da água que reage com o cimento durante a cura do concreto (considerado 25% da massa do cimento consumido). Foi considerada a massa dos agregados secos, conforme detalhado no *item 4.1.4*.

Todos os produtos fabricados compõem a **massa de produtos**, calculado a partir das quantidades de componentes produzidos e das suas massas (dados informados na parte "Produção" da Ferramenta). Foram considerados os produtos secos, adotando que a umidade dos componentes equivale à umidade relativa do ar (5%).

Equação 5

$$Massa\ de\ produtos = \sum_{i}^{n} (Qi \times Mi) \div 1000$$

Onde: *Massa de produtos = Massa total dos componentes produzidos no período do inventário (tonelada);*

Qi = Quantidade produzida do componente i (unidade);

Mi = Massa do componente i (kg/unidade).

Equação 6

$$Massa\ das\ matérias\ primas = \sum_{i}^{n} MTmp_i + \sum_{fbk}^{n} Água\ reage_{fbk} \times Massa\ de\ produtos$$

Onde: *Massa das matérias-primas = massa dos recursos incorporados nos produtos (tonelada);*

MTmpi = Massa total da matéria-prima i consumida no período de inventário (toneladas);

Água reage$_{fbk}$ = 25% da massa de cimento para fbk (kg de água/kg de concreto);

Massa de produtos = Massa total dos componentes produzidos no período do inventário (tonelada).

Quando o fator de balanço de massas é igual a 1, significa que a massa produzida é igual a massa das matérias-primas adquiridas, mostrando que, além de consistência nos dados levantados, a empresa aplica 100% das matérias-primas adquiridas em produtos que serão faturados. Quando o fator de balanço de massas é menor do que 1, significa que a massa adquirida das matérias-primas é maior do que a massa dos componentes produzidos, sugerindo ineficiência na aplicação das matérias-primas ou falha no controle de estoque e produção. Admitindo que uma empresa financeiramente saudável tenha até 5% de perdas de matéria-prima no processo produtivo, a empresa cujo fator de balanço de massas for menor do que 0,95 carece de melhorias imediatas no processo. No caso de o fator de balanço de massas ser maior do que 1,

significa que a massa de produtos é maior do que a massa de matéria-prima, o que pode ser considerado inconsistência e os dados precisam ser verificados.

A frequência acumulada dos fatores de balanço de massas calculados está apresentada na Figura 26. Considerando erro admissível de 5%, apenas 28% das empresas apresentaram balanço de massa dentro do intervalo considerado admissível (7 dentre as 25 empresas). Para 44% das empresas (11 de 25 empresas), a quantidade de matérias-primas declarada é superior à massa de produtos (lado esquerdo do gráfico) e 28% das empresas (7 de 25 empresas) apresentaram massa de produtos maior do que a massa de matérias-primas (lado direito do gráfico).

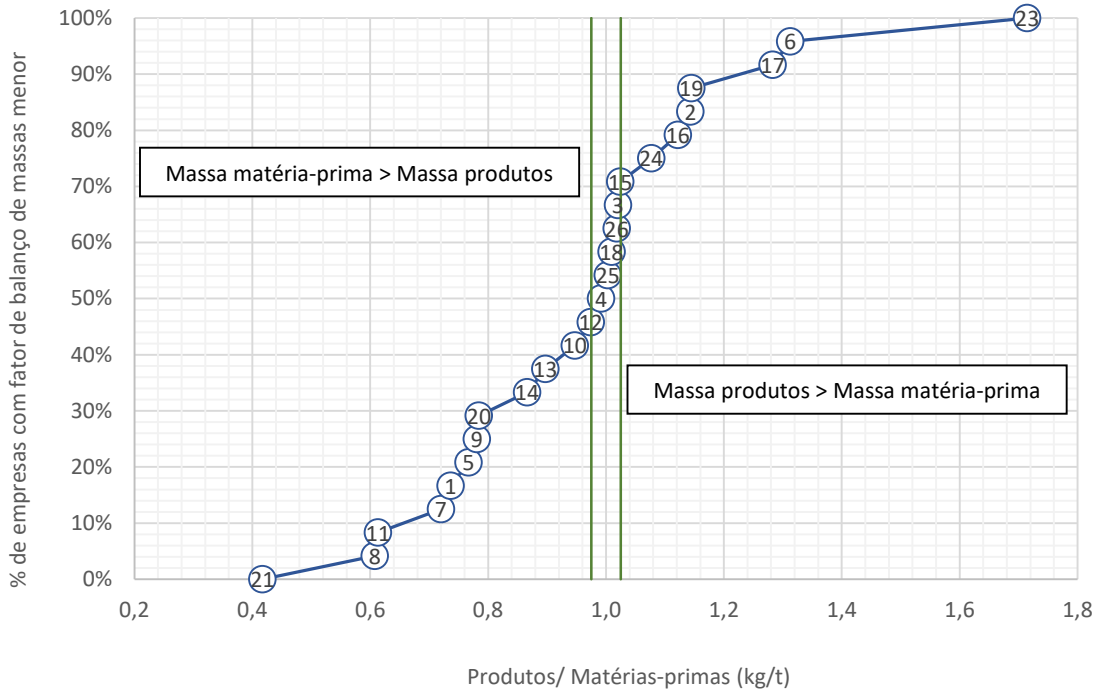


*Figura 26: **Balanço de massas** das empresas participantes. Apenas 28% das empresas apresentaram dados de consumo de matérias-primas dentro do erro admissível de 5%.*

Foram levantadas as possíveis causas para as inconsistências nos balanços de massas das empresas:

- Perdas incorporadas, ou seja, o produto é produzido com uma massa maior do que a esperada, aumentando a pegada de carbono ao longo do tempo. Essa variação pode ser devida à produção de blocos com paredes mais espessas que o esperado, decorrente da utilização de formas por período superior à sua vida útil. O ideal é que o fabricante tenha uma rotina de pesagem dos produtos que garanta a massa especificada;
- Erro no controle da quantidade produzida;
- Variação de estoque de produtos e/ou matérias-primas;
- Matérias-primas e/ou produtos não inventariados.

Para as empresas que apresentaram balanço de massas fora da faixa admissível de erro de 5%, é necessário que aprimorem seus dados de inventário antes da emissão de Declaração de Desempenho Ambiental de Produtos (dDAPs), de acordo com as seguintes sugestões:

- Estabelecer rotina de pesagem dos produtos que garanta o controle da massa especificada;

- Incluir no inventário uma nova categoria com os produtos não auditados;
- Verificar ou implementar o controle de produção e vendas;
- Verificar ou implementar o controle de estoque;
- Verificar ou implementar o controle de quantificação de resíduos gerados;
- Fazer o fechamento do balanço de massas mensalmente.

4.6 Geração de resíduo

A Ferramenta de Apoio contemplou diversos resíduos gerados na fábrica, como madeira, paletes, plásticos em geral, fitilho, filme plástico, tambores plásticos ou metálicos, sucata metálica, papel ou papelão, sacaria *kraft*, óleo, graxa, estopas e panos sujos e contaminados, pneus, lixo orgânico, e resíduo de concreto. O setor retornou que todos esses resíduos eram coletados nas fábricas por recicladores, exceto o lixo orgânico cujo destino era a coleta pública, e o resíduo de concreto que era reaproveitado. Este último é oriundo de blocos de concreto e peças de concreto para pavimento quebradas pós-vendas que a empresa retira no cliente aproveitando a viagem de entrega de novos produtos. Esse resíduo é usualmente armazenado na fábrica e retorna para o processo produtivo em forma de agregado reciclado, o que justifica ser o único resíduo gerado quantificado no inventário por todos os fabricantes. Como a Empresa 11 informou dado inconsistente (massa de resíduo gerado maior do que massa da produção), a Figura 27 apresenta somente os dados de geração de resíduo de concreto das demais empresas. Devido à variabilidade dos resultados encontrados, não foi possível calcular indicadores de geração de resíduo que poderiam servir como referência para o setor.

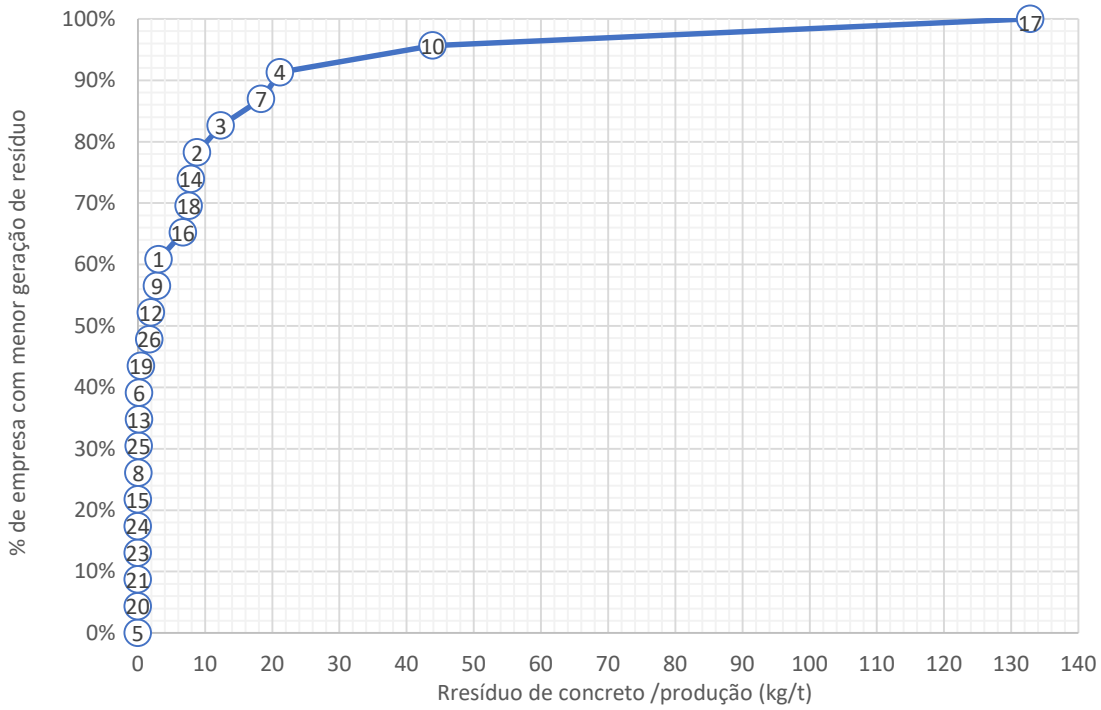


*Figura 27: **Resíduo de concreto** gerado no processo por tonelada produzida. Foi excluída a Empresa 11 pois apresentou dados inconsistentes.*

5 *Benchmark* do consumo de cimento

O *benchmark* do consumo de cimento foi elaborado a partir dos consumos de cimento calculados no item 4.1.2. Para cada resistência característica do componente de concreto, é possível consultar o percentual (%) de empresas que consomem menos cimento em relação a uma determinada empresa. Os gráficos também mostram os consumos mínimo, mediano e máximo, considerando intervalo de confiança de 95%.

5.1 Blocos

O *benchmark* dos blocos está apresentado da Figura 28 à Figura 40. O consumo de cimento dos blocos varia de 45 a 234 kg/t, a depender da resistência e do fabricante. No entanto, analisando cada resistência de bloco, o valor máximo chega ser aproximadamente 1,9 vezes maior do que o valor mínimo.

kg/t	Mínimo	45	Mediana	59	Máximo		83

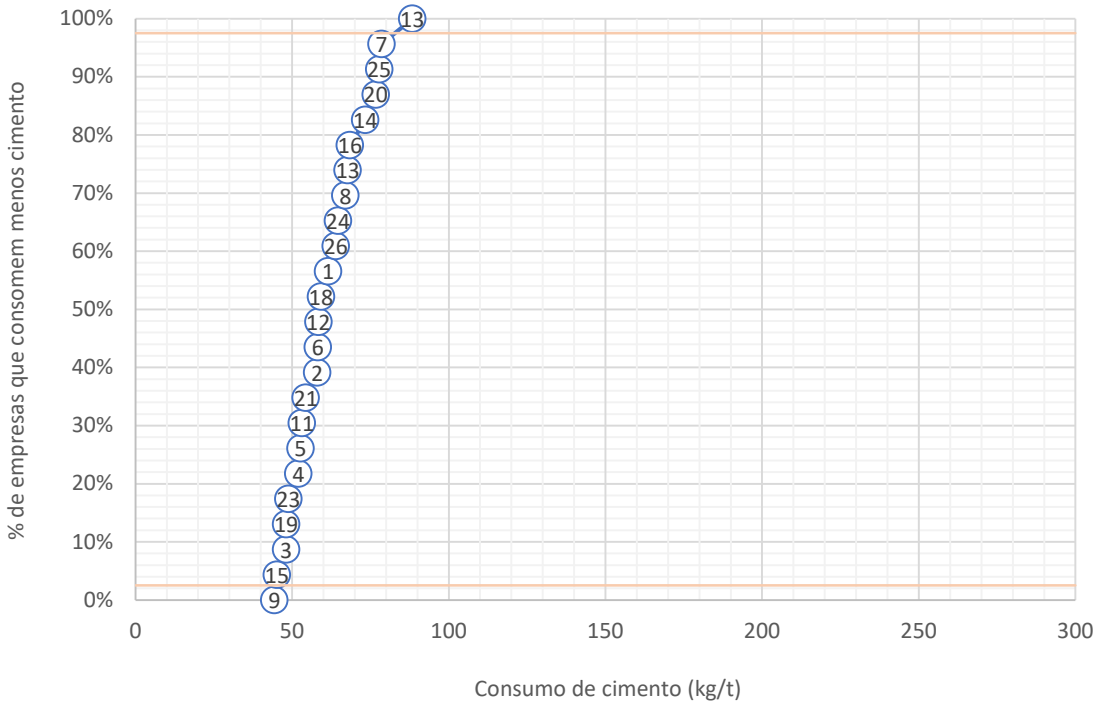


Figura 28: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 3 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja. A empresa 13 produz dois tipos de bloco de 3 MPa.*

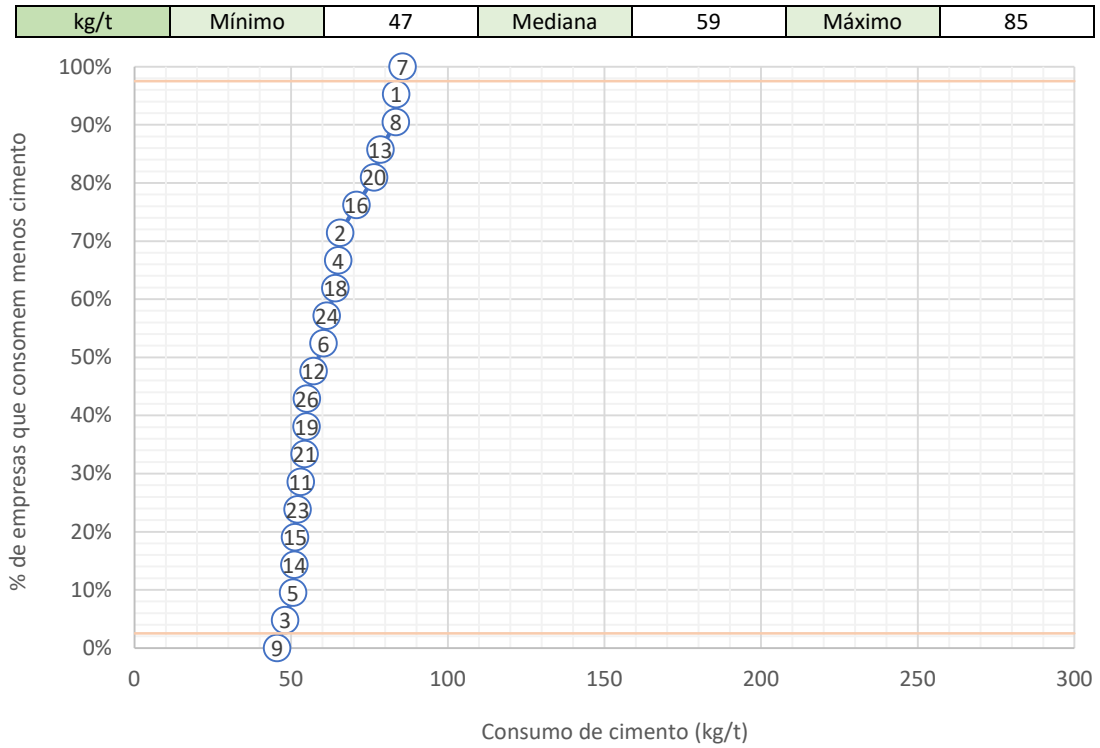


Figura 29: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 4 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

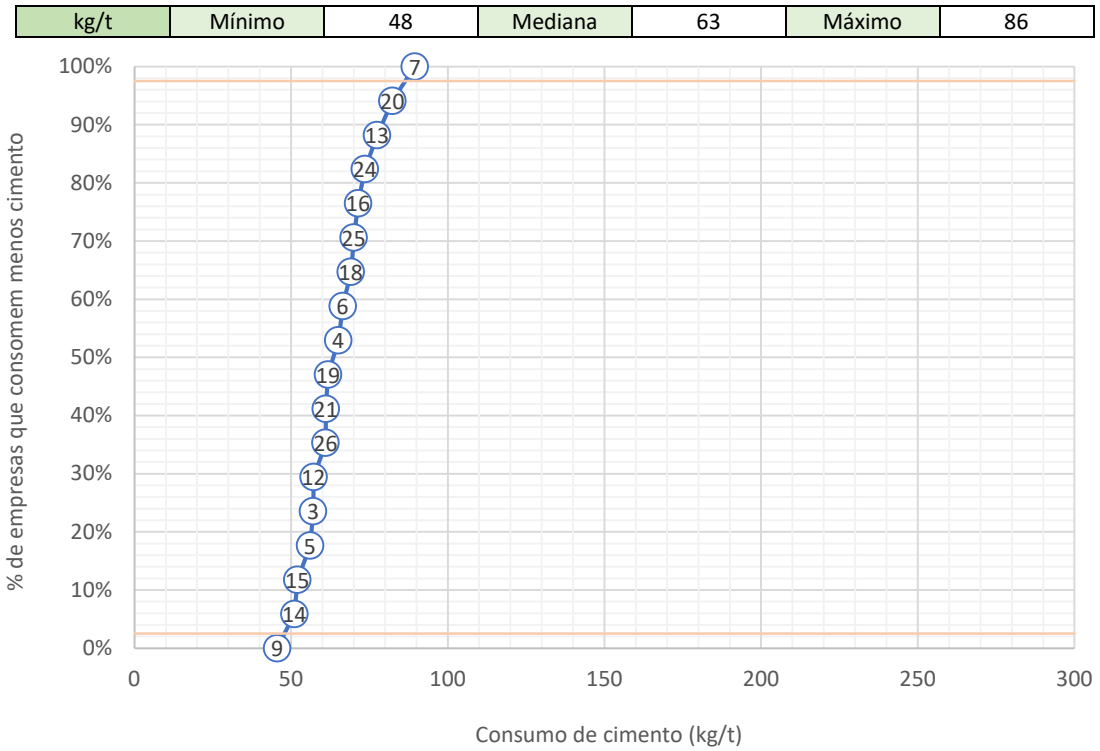


Figura 30: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 6 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

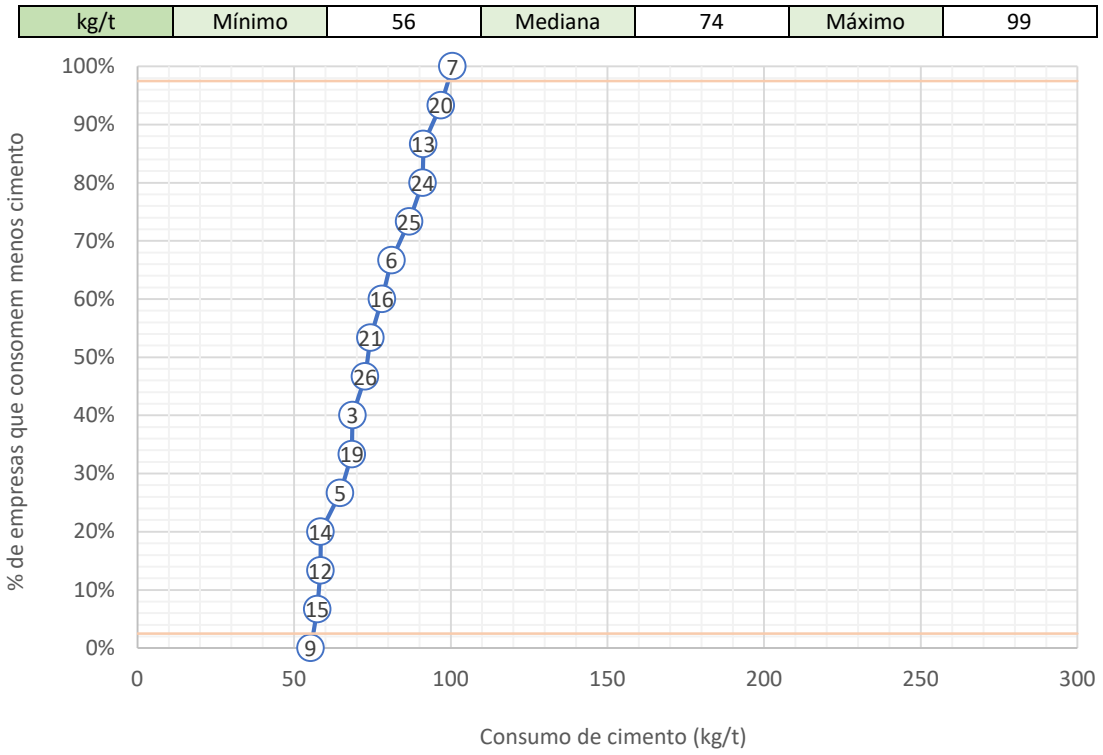


Figura 31: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 8 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

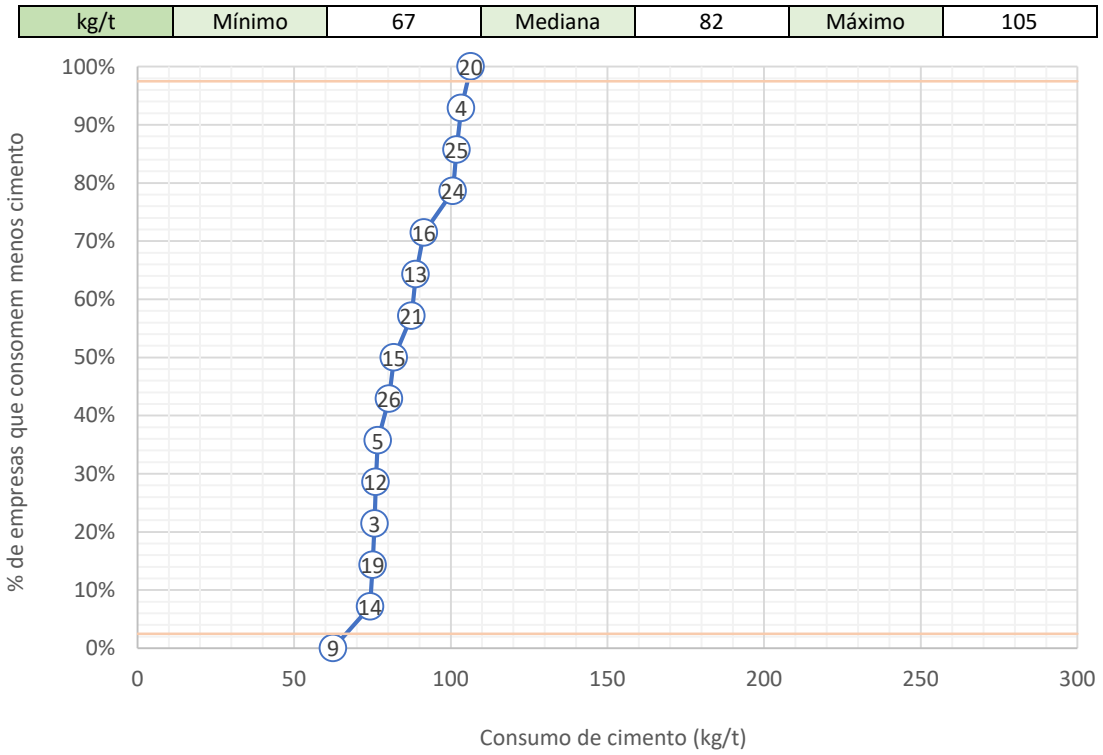


Figura 32: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 10 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

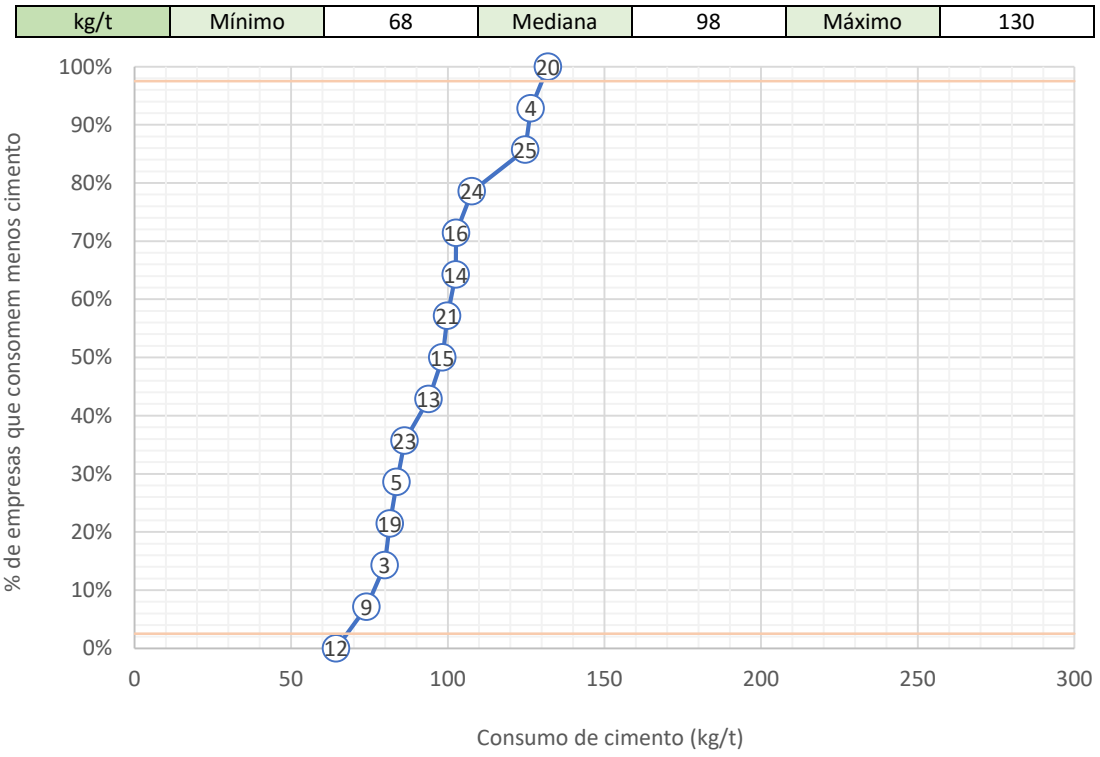


Figura 33: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 12 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

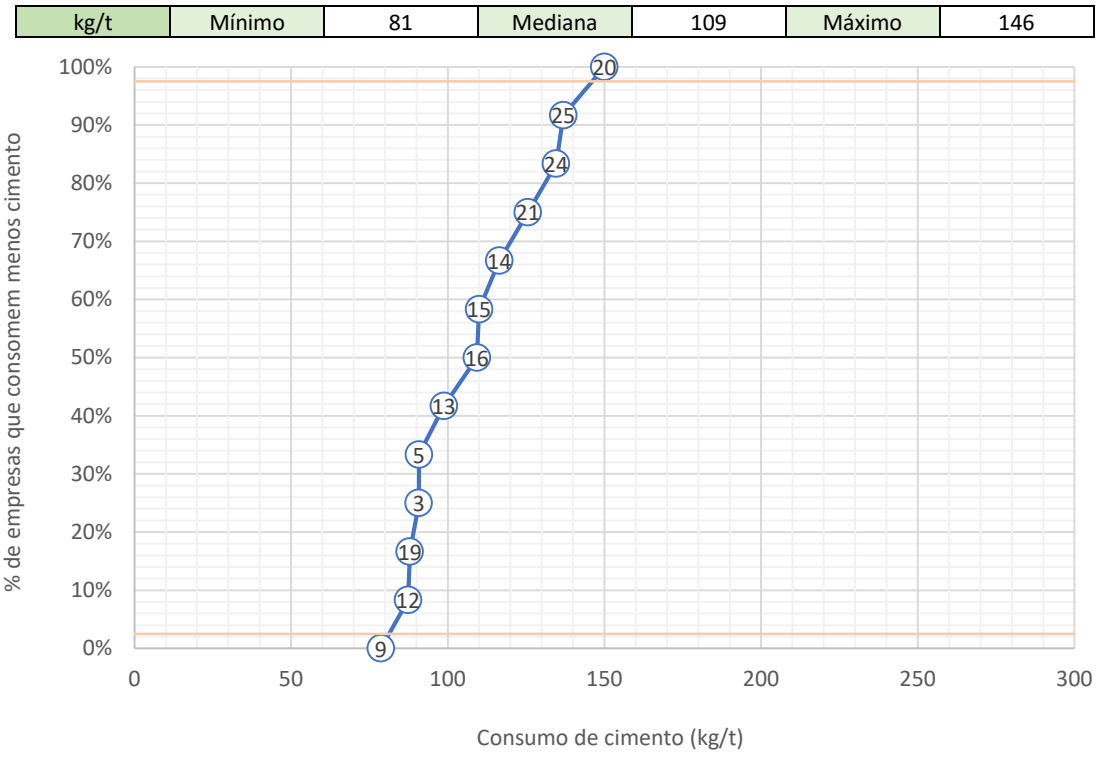


Figura 34 ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 14 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

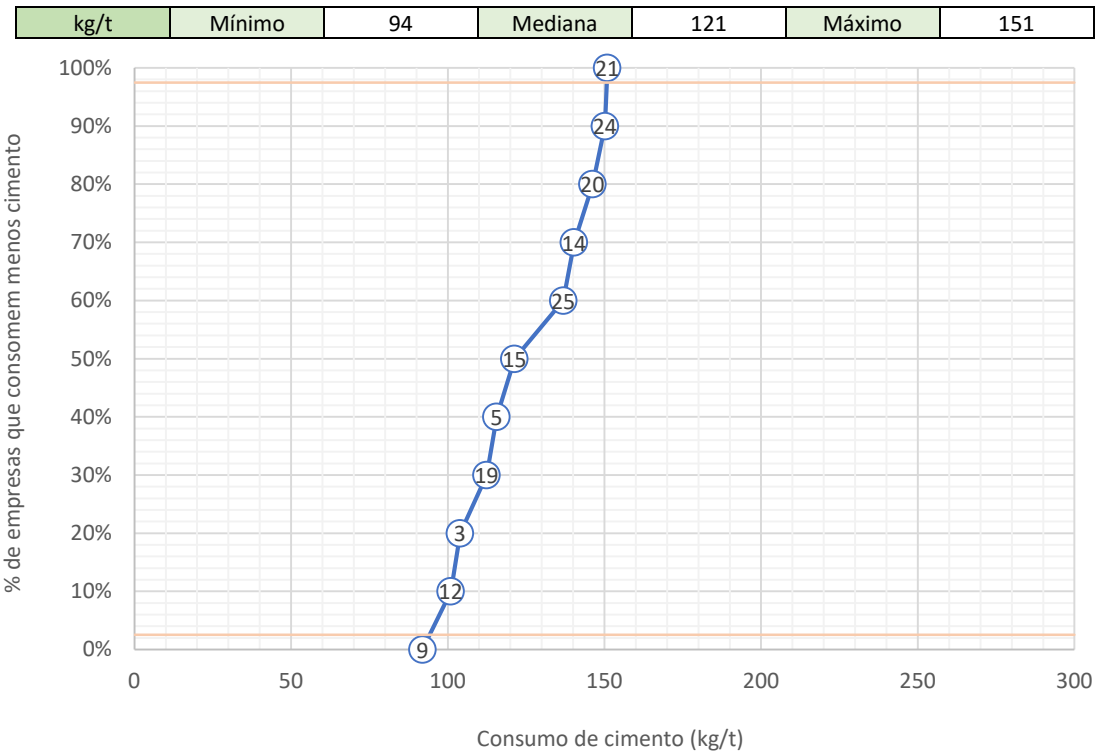


*Figura 35: **Benchmark do consumo de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **Blocos de 16 MPa** das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

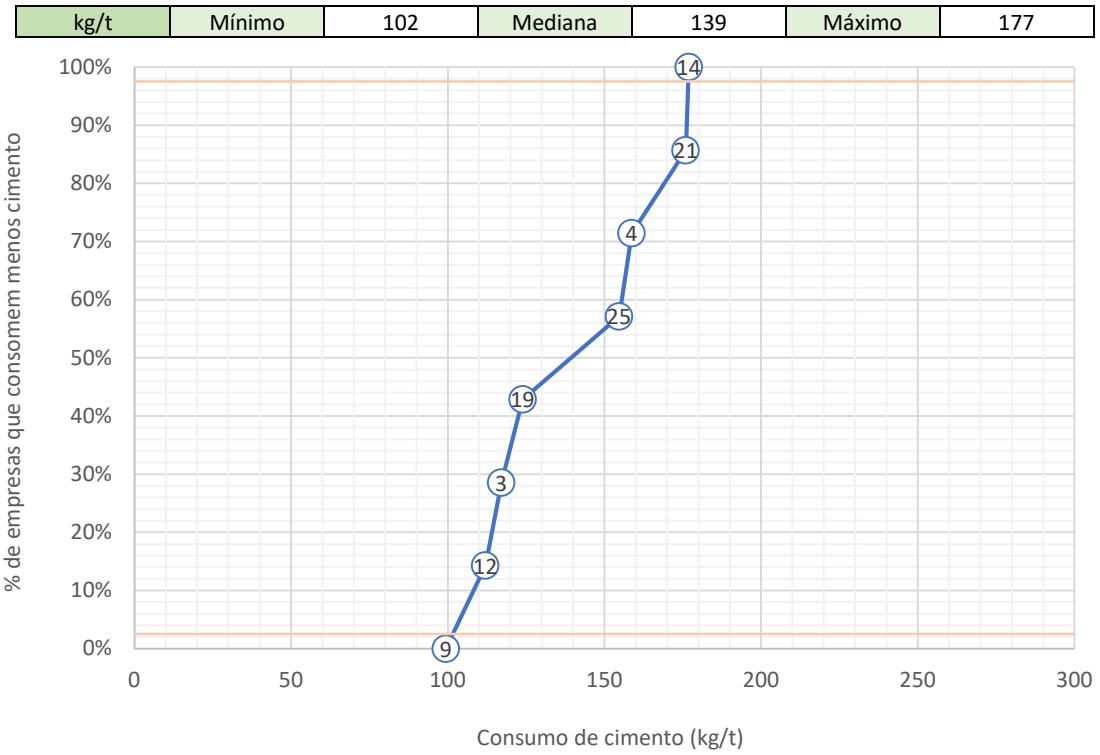


*Figura 36: **Benchmark do consumo de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **Blocos de 18 MPa** das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	116	Mediana	149	Máximo	191

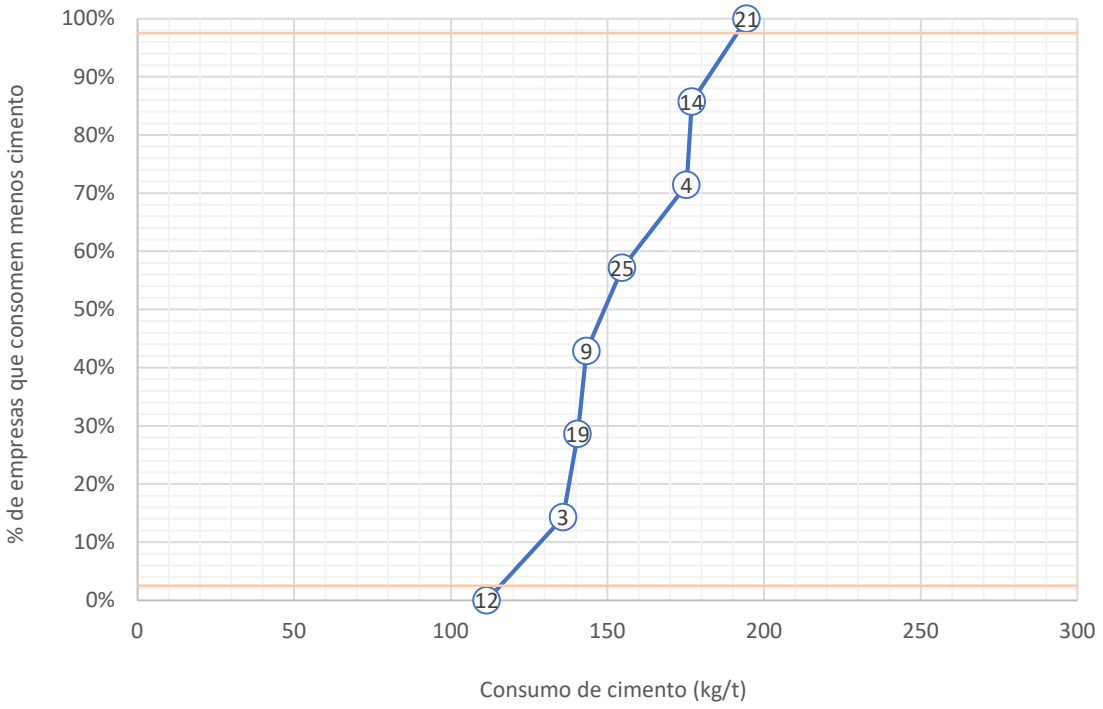


Figura 37: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 20 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	131	Mediana	149	Máximo	219

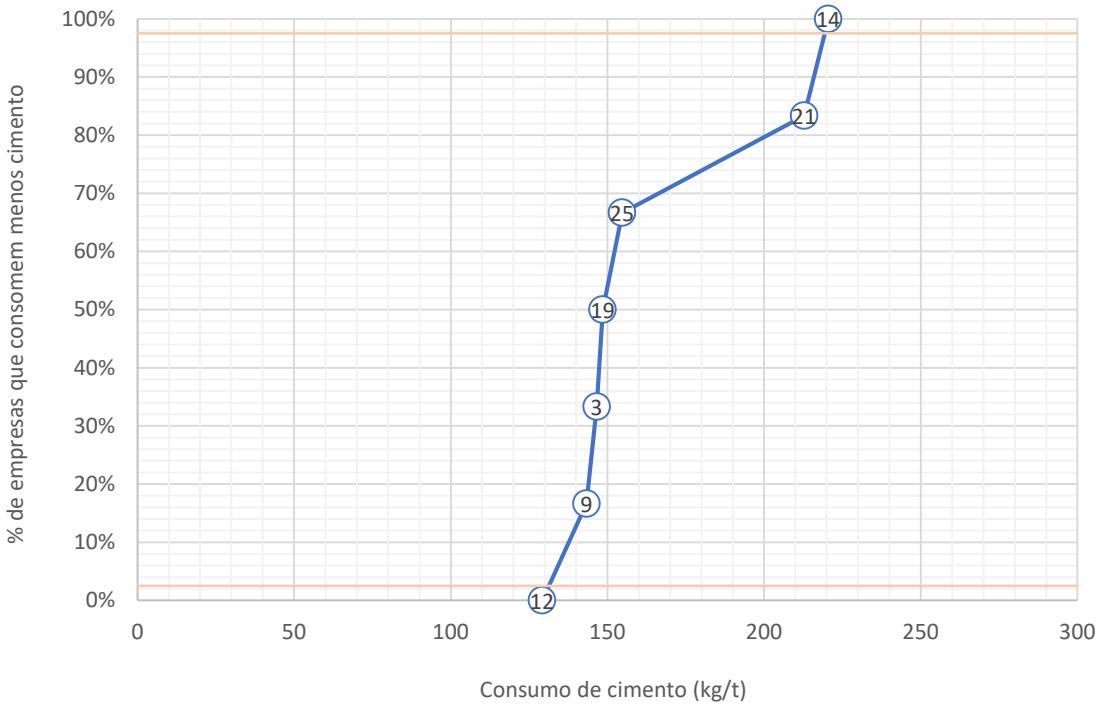


Figura 38: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 22 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

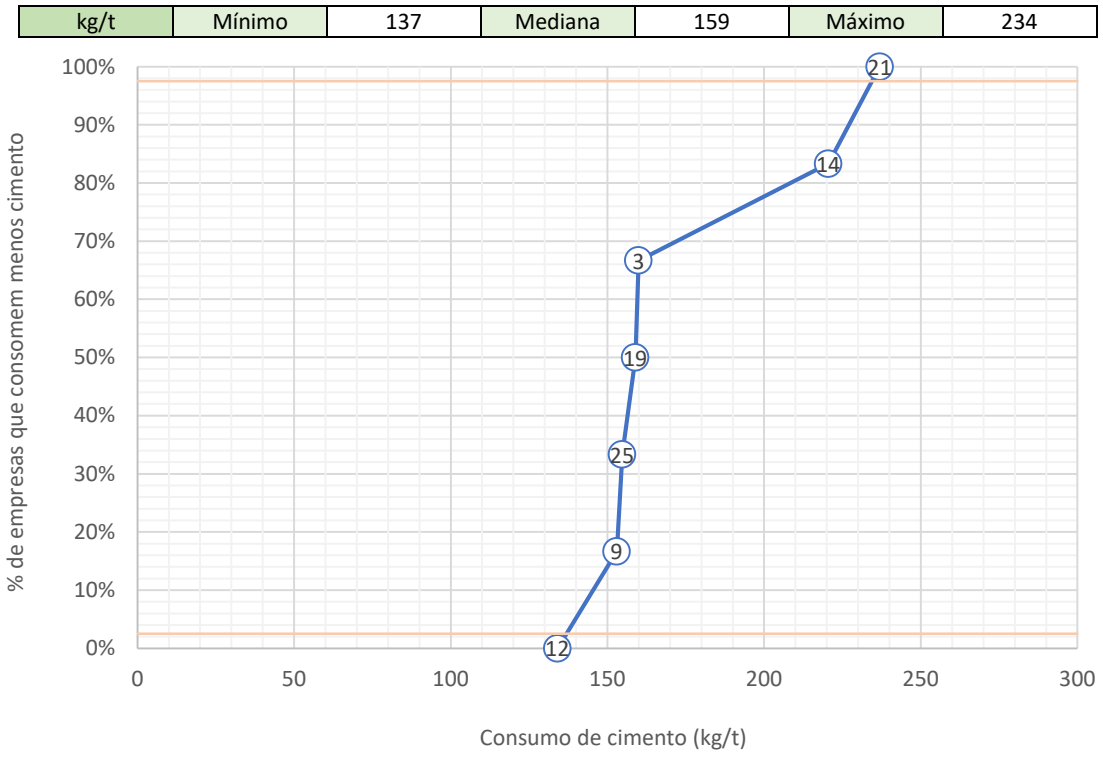


Figura 39: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 24 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

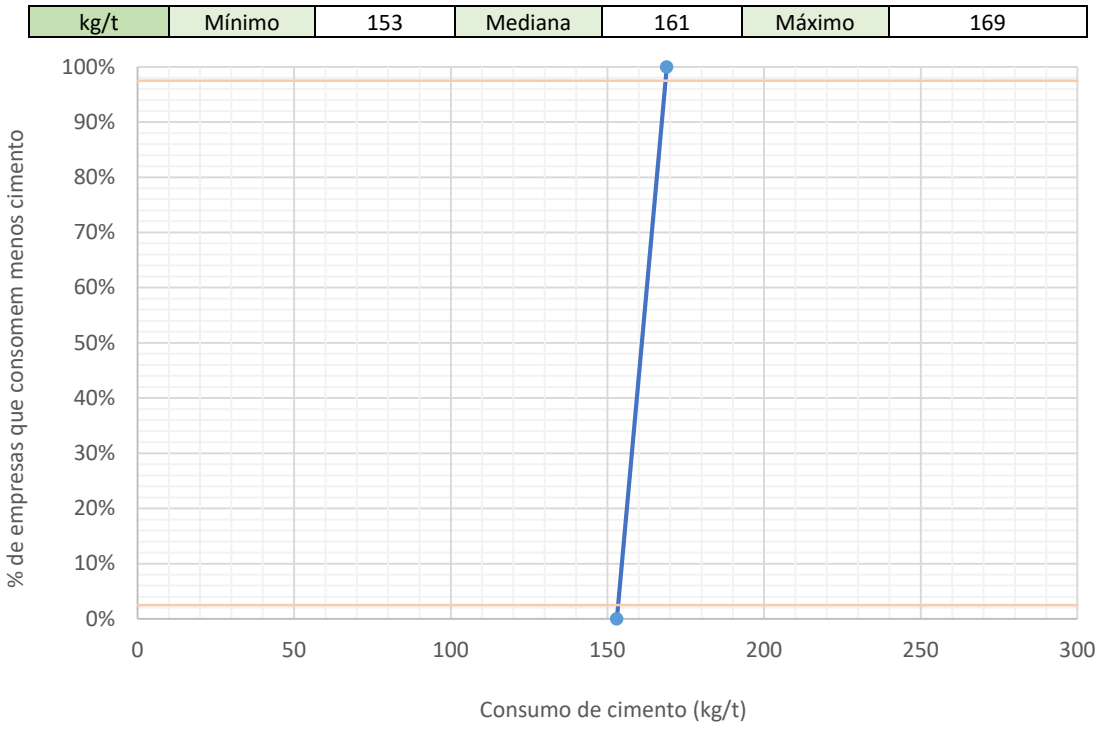


Figura 40: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***Blocos de 26 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja. As empresas não estão identificadas para preservar o sigilo dos dados.*

A Figura 41 mostra a influência da resistência característica dos blocos de concreto no consumo de cimento, dado para valores máximos, mínimos e medianos. Os dados dos blocos de 3 MPa e 4 MPa não foram considerados na regressão por serem geralmente produzidos com concretos de resistência maiores que a resistência indicada, com o objetivo de garantir resistência mínima de manuseio nas primeiras horas após a moldagem e por isso apresentam consumos maiores. Os dados dos blocos de 26 MPa também não foram considerados na regressão por não serem representativos, visto que são referentes somente a duas empresas. O gráfico mostra que para blocos de 6 a 24 MPa o comportamento do consumo de cimento em função de f_{bk} é linear. É possível notar que o impacto da resistência característica do bloco é maior para o consumo máximo do que para o consumo mínimo, uma vez que o coeficiente angular da reta de consumo máximo é 1,5 vezes maior do que o coeficiente angular da reta do consumo mínimo. Isso significa que para blocos de 6 MPa, por exemplo, o consumo de cimento pode chegar a ser 2,5 vezes maior de um fabricante para outro. Portanto, existe no setor um potencial significativo de melhoria na eficiência do uso de cimento e, consequentemente, potencial de redução das emissões de CO_2.

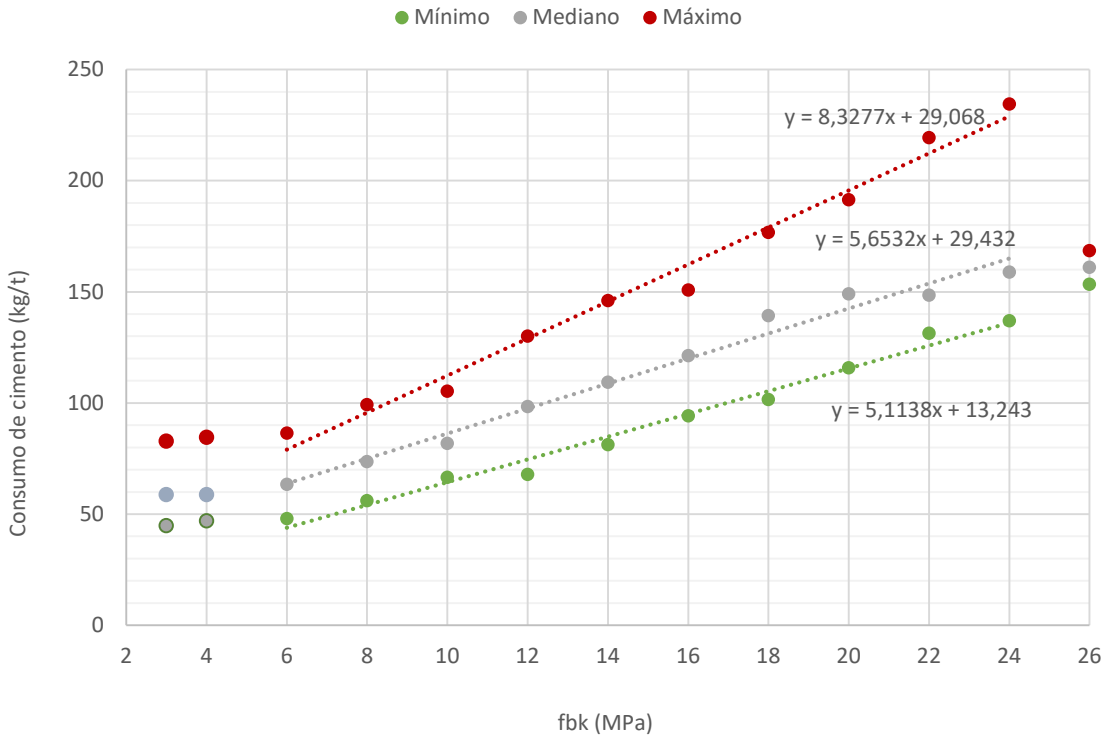


Figura 41: Influência da resistência característica dos blocos de concreto (fbk) no consumo de cimento. Os blocos de 3 MPa, 4 MPa e 26 MPa não foram considerados na regressão.

5.2 Peças para pavimentação

O *benchmark* das peças para pavimentação está apresentado da Figura 42 à Figura 47. O consumo de cimento da guia de 15 MPa não está apresentada em gráfico pois somente uma empresa a produz. O mesmo acontece com o piso de 20 MPa Impermeável pigmentado. O consumo de cimento dos pisos varia de 98 a 217 kg/t de concreto, e das guias varia de 62 a 134 kg/t, dependendo da resistência e do fabricante. No entanto, analisando cada resistência de peça, o valor máximo chega a ser aproximadamente 2 vezes maior do que o valor mínimo.

kg/t	Mínimo	110	Mediana	132	Máximo	158

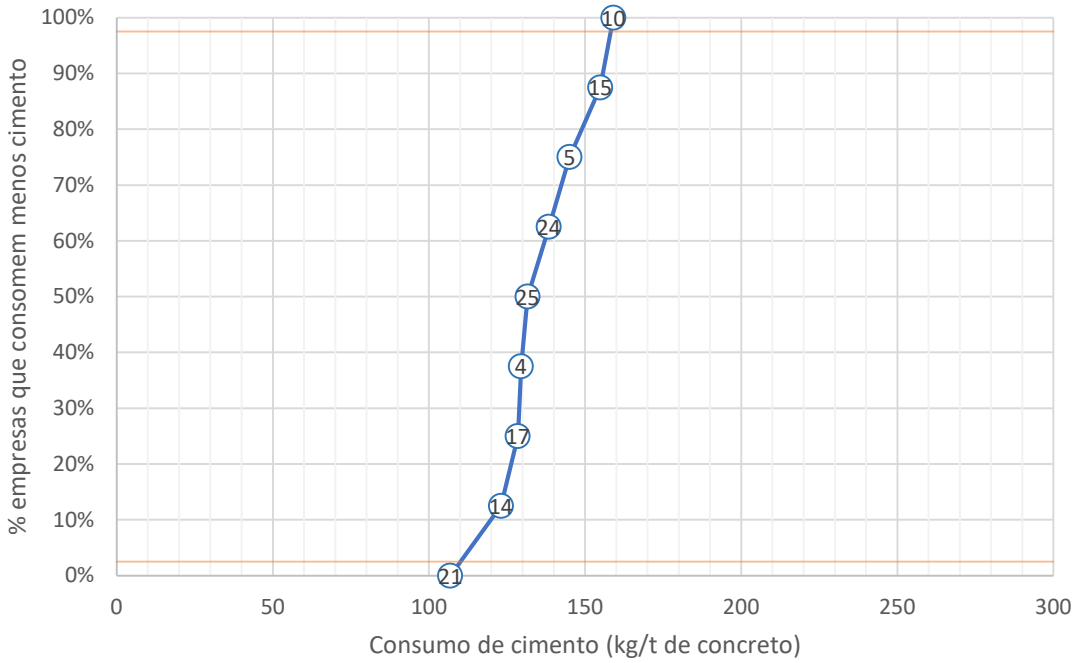


*Figura 42: **Benchmark do consumo de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 20 MPa permeável** das empresas participantes**.** Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	103	Mediana	121	Máximo	167

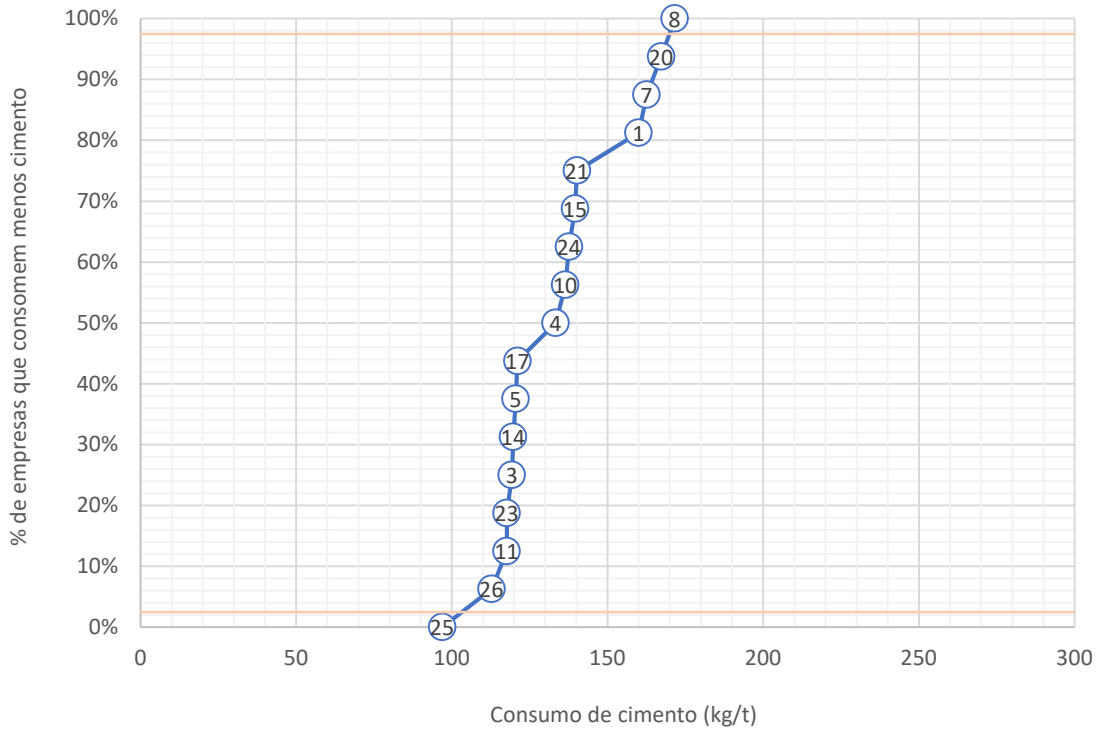


*Figura 43: **Benchmark do consumo de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 35 MPa Natural** das empresas participantes**.** Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	112	Mediana	138	Máximo	169

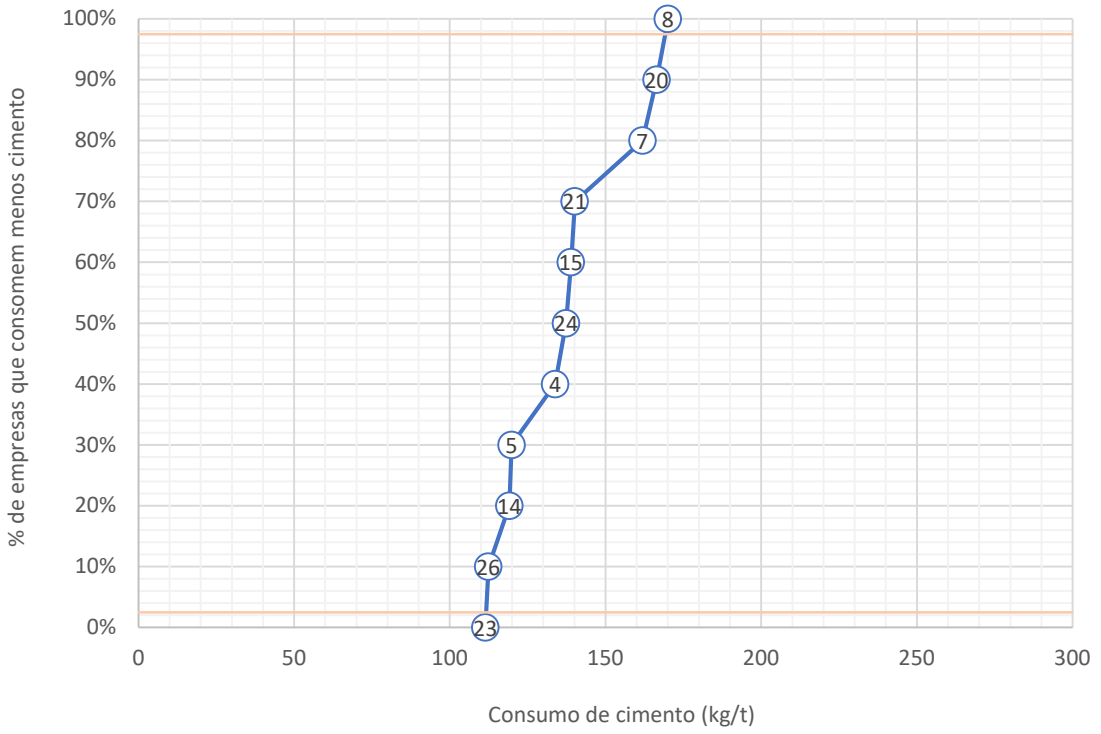


*Figura 44: **Benchmark do consumo de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 35 MPa Pigmentado** das empresas participantes**.** Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	98	Mediana	127	Máximo	137

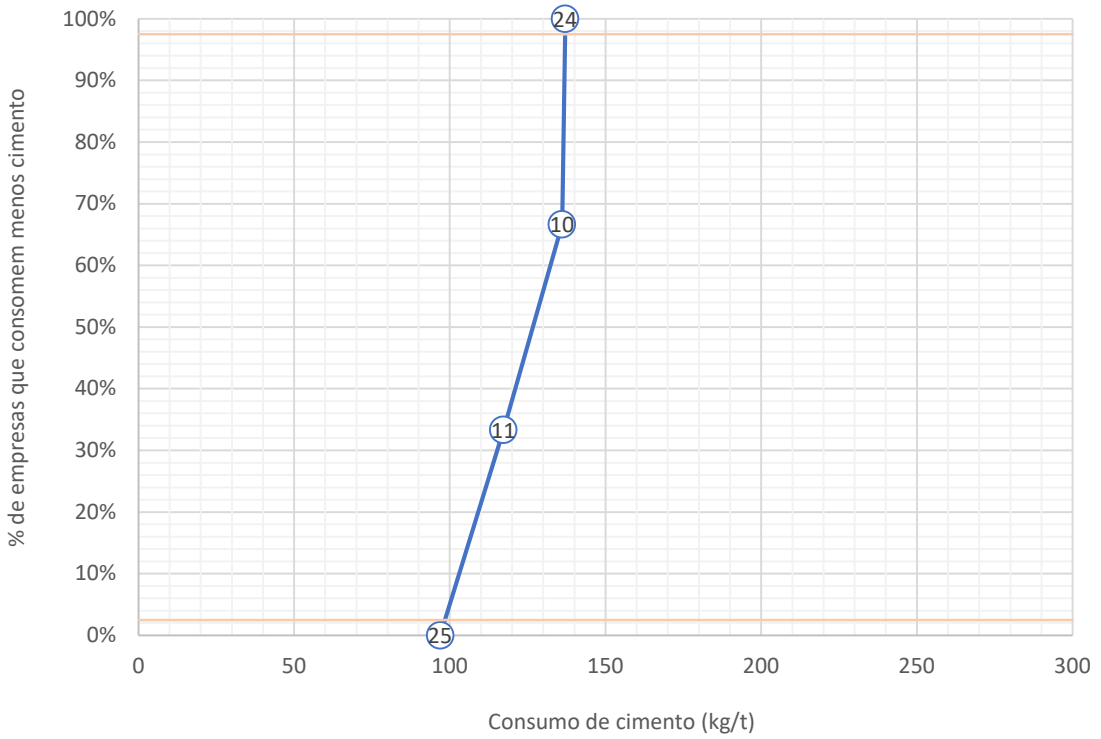


*Figura 45: **Benchmark do consumo de cimento** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 35 MPa Pigmentado Dupla Camada** das empresas participantes**.** Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	155	Mediana	185	Máximo	219

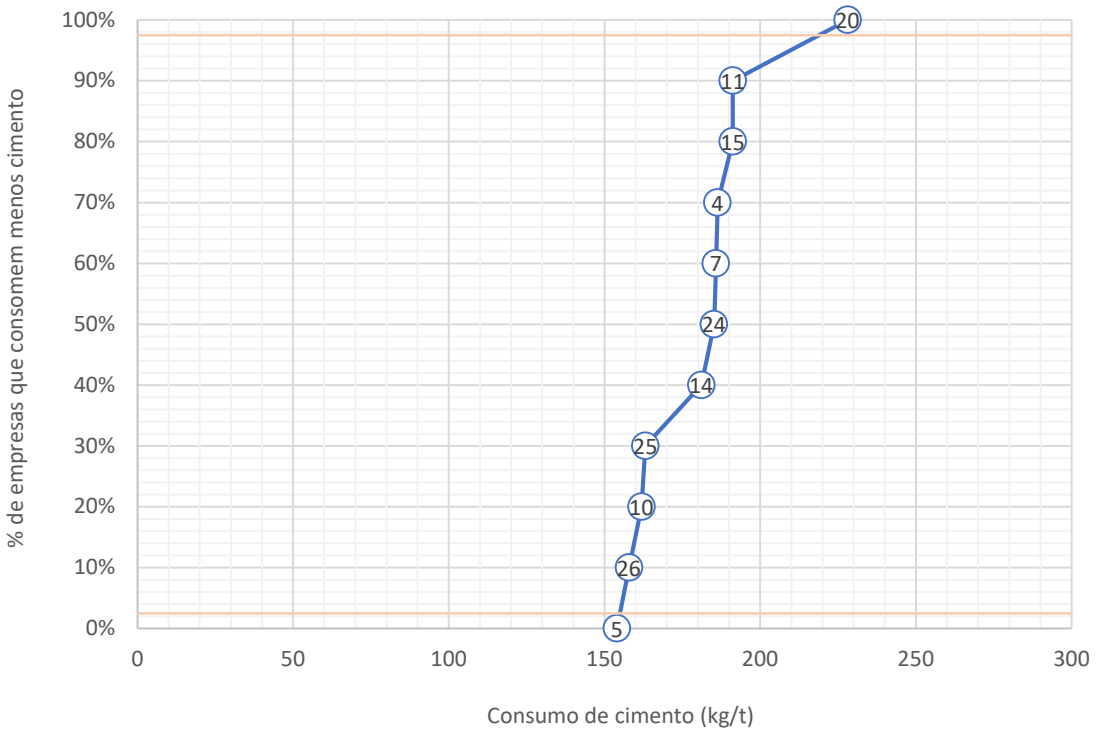


Figura 46: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção dos* ***pisos de 50 MPa Natural*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

kg/t	Mínimo	65	Mediana	101	Máximo	134

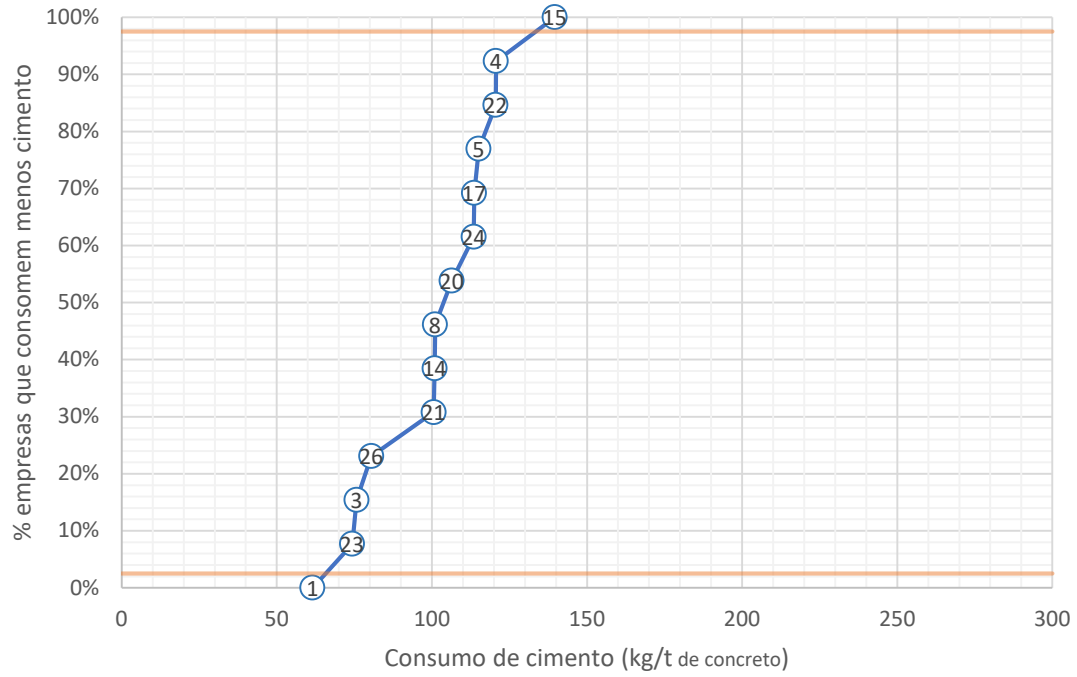


Figura 47: ***Benchmark do consumo de cimento*** *dos concretos utilizados na produção das* ***guias de 25 MPa*** *das empresas participantes. Intervalo de confiança de 95% delimitado pelas linhas de cor laranja.*

6 Indicadores de Desempenho Ambiental

Os indicadores de desempenho ambiental considerados dessa Jornada, assim como no Sidac, foram o de **demanda de energia primária** e o de **emissão de CO_2**. Esses indicadores estão apresentados neste relatório por tonelada de concreto, a depender da resistência do componente.

6.1 Metodologia de cálculo

6.1.1 Indicadores adotados para os insumos

Os indicadores de energia incorporada e emissão de CO_2 dos insumos consumidos no processo de produção dos componentes de concreto considerados são aqueles apresentados no Sidac (MME; CBCS, 2022), visto que são dados nacionais, representativos e atuais. Foram considerados os indicadores da brita para a areia artificial e para o pó de pedra por serem produtos decorrentes do mesmo processo produtivo. Os dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Indicadores de energia incorporada e emissão de CO_2 dos insumos genéricos do Sidac (MME; CBCS, 2022).

Insumo	Unidade	Energia (MJ/unidade)		Emissão de CO_2 (kg CO_2/unidade)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Matéria-prima					
Cimento CP II-E	kg	2,489	5,622	0,4433	0,9348
Cimento CP II-F	kg	3,096	5,527	0,6520	0,8734
Cimento CP IV	kg	2,405	5,303	0,4061	0,8627
Cimento CP V	kg	3,534	6,278	0,7764	0,9943
Areia natural	kg	0	0,1934	0	0,01251
Brita	kg	0,002051	0,09613	0	0,00467
Agregado reciclado	kg	0	0,05849	0,00025	0,00127
Resíduos de concreto	kg	0	0	0	0

O consumo energético e a emissão de CO_2 decorrentes do transporte dos insumos de sua origem até a fábrica foram calculados por t.km (tonelada.quilômetro), seguindo a metodologia e os indicadores do Sidac (MME; CBCS, 2022) e os indicadores por tipo de veículo, conforme dados da Tabela 4. Para insumos como aditivos e pigmentos que são entregues na fábrica via transportadora terceirizada, que faz diferentes entregas e trajetos, foi feita uma aproximação no cálculo, considerando que uma Van fazia a entrega direta do fornecedor à fábrica.

Tabela 4: Indicadores de energia incorporada e emissão de CO_2 de transporte do Sidac (MME; CBCS, 2022).

Tipo de veículo	Energia (MJ/t.km)	Emissão de CO_2 (kg CO_2/t.km)
Barcaça	0,1761	0,01145
Navio	0,08833	0,006842
Trem (diesel)	0,1479	0,009618
Bitrem 7 eixos (Cap. 57 t)	0,5845	0,03801
Bitrem 9 eixos (Cap. 74 t)	*	*
Carreta (4 eixos, Cap. 33 t)	1,014	0,06595
Carreta (5 eixos, Cap. 41 t)	0,9366	0,06091
Carreta (6 eixos, Cap. 48 t)	**	**
Caminhão toco (2 eixos. Cap. 6 t)	1,503	0,09778
Caminhão *truck* (3 eixos, Cap. 14 t)	1,046	0,06801
Van	7,51	0,4885

* Considerados indicadores do Bitrem 7 eixos; **Considerados indicadores da Carreta de 5 eixos.

6.1.2 Indicador de demanda energia

Foi calculado um indicador de energia para cada resistência característica de componente de concreto (f_{bk}) das empresas, dado em MJ por tonelada de concreto. A demanda de energia foi calculada conforme Equação 7 e contempla (i) o consumo de combustíveis e eletricidade na unidade fabril (conforme informado na parte "Insumos" da Ferramenta), (ii) a energia incorporada nas matérias-primas (calculada conforme Equação 8) e (iii) os combustíveis consumidos para o transporte da matéria-prima da origem até a fábrica (calculado conforme Equação 9).

Equação 7

$$Energia_{fbk} = \frac{E_{fabr}}{Massa\ de\ produtos} + Emp_{fbk} + Etransp.mp_{fbk}$$

Onde: *fbk = resistência característica k do bloco de concreto (MPa);*

$Energia_{fbk}$ = Indicador de consumo de energia para fbk (MJ/kg)

E_{fabr} = Consumo de combustíveis e eletricidade na fábrica no período de inventário (MJ);

Massa de produtos = Massa total dos componentes produzidos no período do inventário (tonelada);

Emp_{fbk} = Energia incorporada das matérias-primas para fbk (MJ/kg);

$Etransp.mp_{fbk}$ = Energia incorporada do transporte das matérias-primas para fbk (MJ/kg).

A energia incorporada das matérias-primas (*Emp_{fbk}*) é calculada a partir da Equação 8, sendo que a massa das matérias-primas (Mmp_i) foi obtida a partir dos dados contidos na parte "Concretos" da Ferramenta, e dos indicadores de energia incorporada das matérias-primas (Imp_i) apresentados da Tabela 3 deste relatório. Os resultados estão apresentados em faixa de valores visto que os indicadores de energia incorporada dos insumos também são dados em faixa de valores.

Equação 8

$$Emp_{fbk} = \sum_{i=1}^{n} (Mmp_i \times Imp_i)$$

Onde: *Emp_{fbk} = Energia incorporada das matérias-primas para fbk (MJ/kg);*

fbk = resistência característica k do bloco de concreto (MPa);

Mmp_i = Massa da matéria-prima i consumida no concreto fbk (kg);

Imp_i = Indicador de energia da matéria-prima i (kg)

A energia de transporte das matérias-primas (*$Etransp.mp_{fbk}$*) é obtida a partir da Equação 9. A distância de transporte dos insumos foi informada na parte "Insumos" da Ferramenta. Os dados de distância de transporte e tipo de veículo foram informados na parte "Insumos" da Ferramenta.

Equação 9

$$Etranp.mp_{fbk} = \sum_{i=1}^{n} [Mmp_i \times Imp_i \times DTmp_i]$$

Onde: *$Etransp.mp_{fbk}$ = Energia do transporte das matérias-primas para fbk (MJ/kg);*

fbk = resistência característica k do bloco de concreto (MPa);

Mmp_i = Massa da matéria-prima i consumida *no concreto fbk (kg);*

Imp_i = Indicador de energia da matéria-prima i (kg);

DTmpi = Distância de transporte da matéria-prima i (kg).

6.1.3 Indicador de emissão de CO_2

O cálculo do indicador de emissão de CO_2 é realizado de forma similar ao do indicador de energia incorporada, porém aqui são utilizados os indicadores de emissão de CO_2 para todos os insumos.

6.2 Resultados dos blocos de concreto

Tanto os indicadores de demanda de energia como de emissão de CO_2 estão agrupados em faixa de valores para cada resistência característica dos componentes de concreto, demonstrando um *benchmark* coeso e coerente.

Pode ser observado que para os blocos de 6 MPa a 24 MPa os valores são crescentes, justificado pelo aumento do consumo de cimento. Os blocos de 3 MPa e 4 MPa são produzidos com concretos de maiores resistências, devido à necessidade de uma resistência de manuseio mínima que garanta sua integridade logo após a moldagem, o que justifica seus valores próximos aos dos blocos de 6 MPa. Por serem poucas as empresas fabricantes de blocos de 26 MPa, a faixa de valores ficou reduzida comparada aos outros produtos, porém os dados estão coerentes quando analisados individualmente por empresa.

6.2.1 Demanda de energia

Os dados obtidos de energia incorporada dos concretos utilizados na produção de blocos de concreto estão apresentados na Figura 48. O consumo de energia varia de 0,212 a 1,796 MJ/kg, dependendo da resistência e do fabricante. No entanto, analisando cada resistência de bloco, o valor máximo chega a ser aproximadamente 3,9 vezes maior do que o valor mínimo.

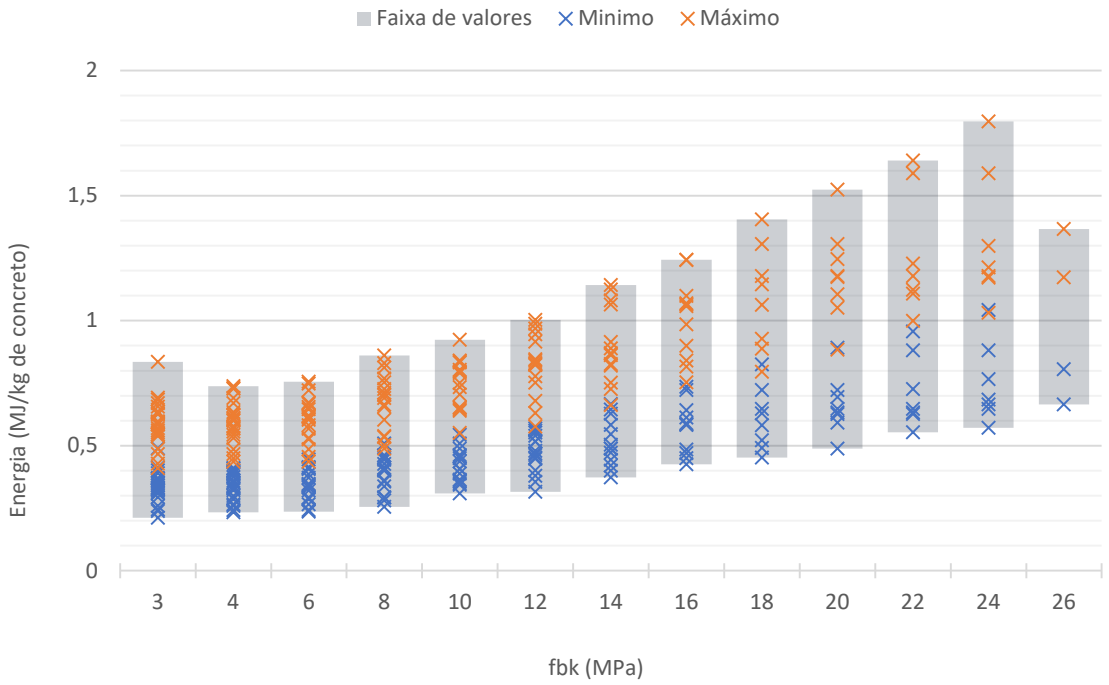


*Figura 48: Faixa de valores dos indicadores de **demanda de energia primária** dos concretos utilizados na produção dos **blocos**. Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

6.2.2 Emissão de CO2

Os dados obtidos de emissão de CO_2 de concretos utilizados na produção de blocos de concreto estão apresentados na Figura 49. A emissão de CO_2 varia de 0,043 a 0,253 kg CO_2/kg, dependendo da resistência e do fabricante. No entanto, analisando cada resistência de bloco, o valor máximo chega a ser aproximadamente 3,8 vezes maior do que o valor mínimo.

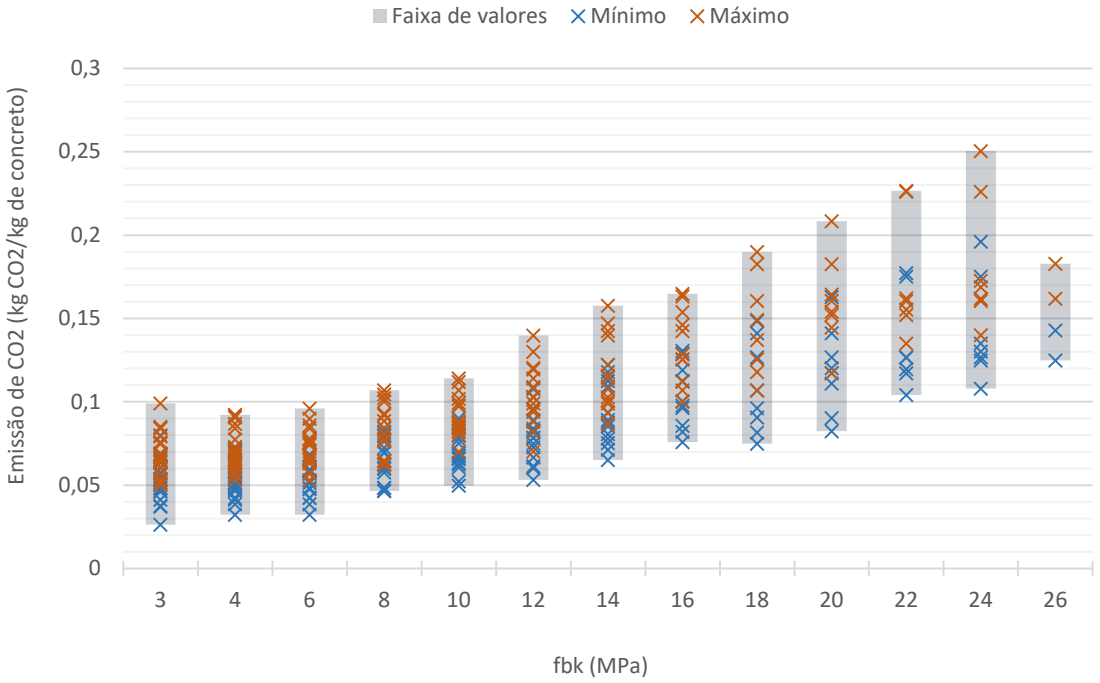


*Figura 49: Faixa de valores dos indicadores de **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção dos **blocos.** Valores dados por resistência característica do componente de concreto.*

6.2.2.1 Benchmark por resistência característica de bloco

O *benchmark* da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção de blocos está apresentado em função da resistência característica dos blocos (f_{bk}) e por faixa de valores, conforme mostrado da Figura 50 à Figura 62. O *ranking* das empresas foi definido a partir do indicador mediano de cada empresa. Pode ser observado que as faixas de valores da Empresa 4 se ampliam na medida em que a resistência dos blocos aumenta, explicado pelo tipo de cimento utilizado que apresenta dados com maiores incertezas no Sidac.

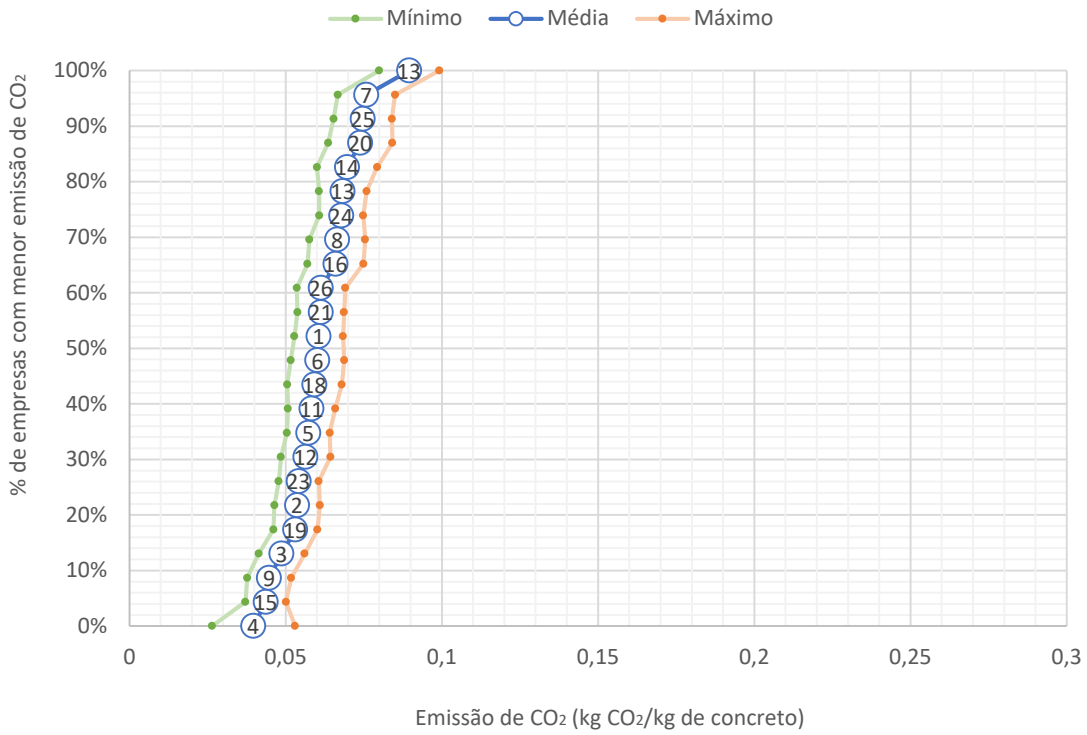


*Figura 50: Benchmark da **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 3 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. A empresa 13 possui dois tipos de bloco de 3 MPa, o padrão e o aparente. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

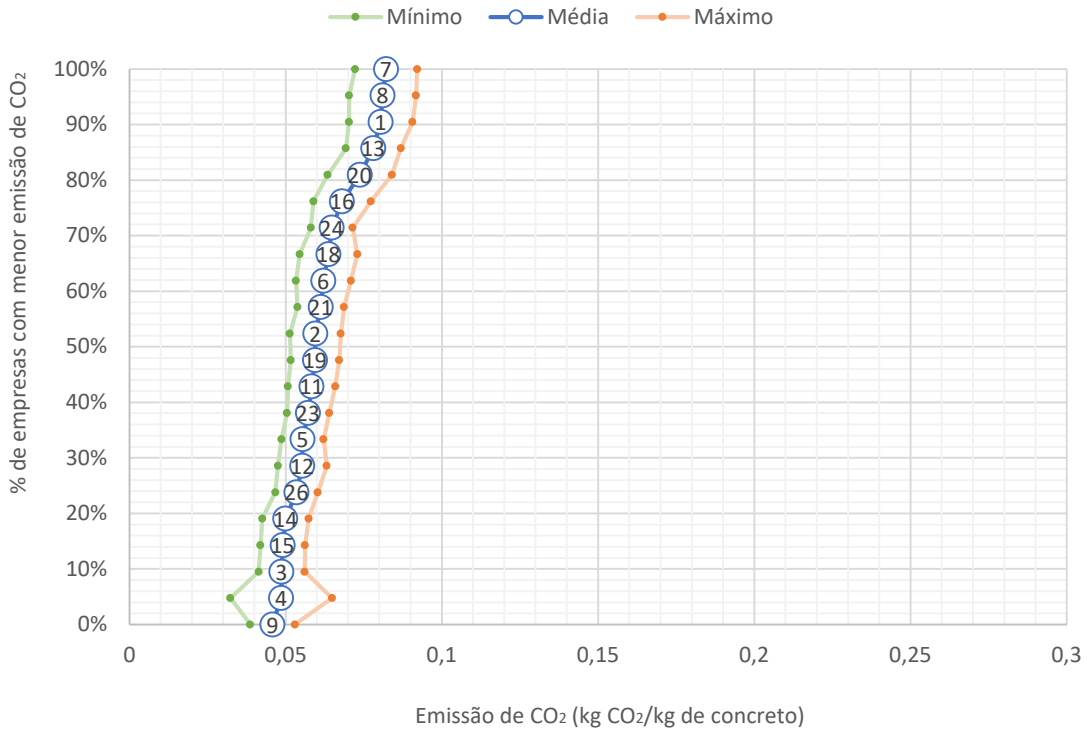


*Figura 51: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 4 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

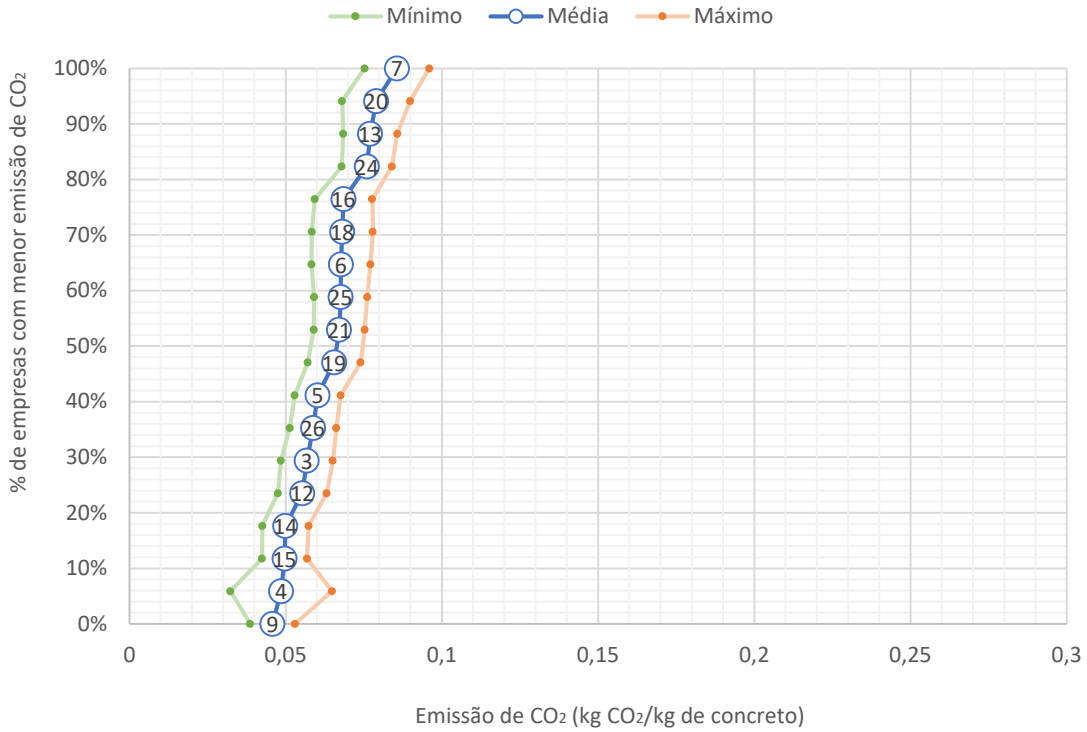


*Figura 52: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 6 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

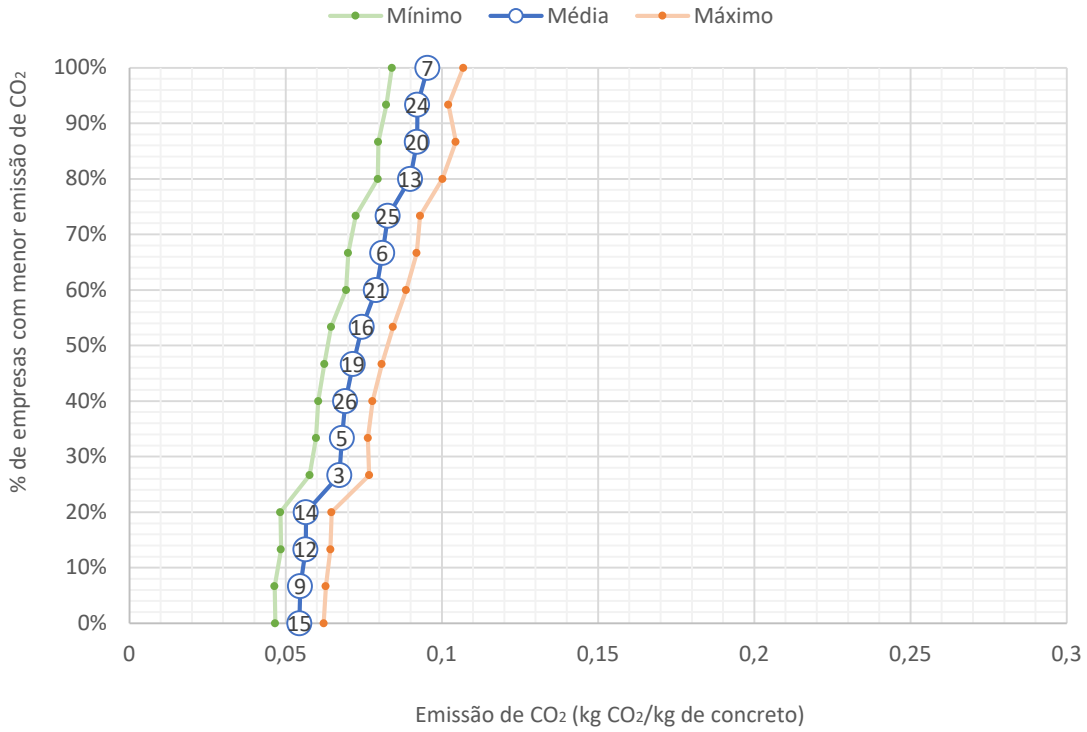


*Figura 53: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 8 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

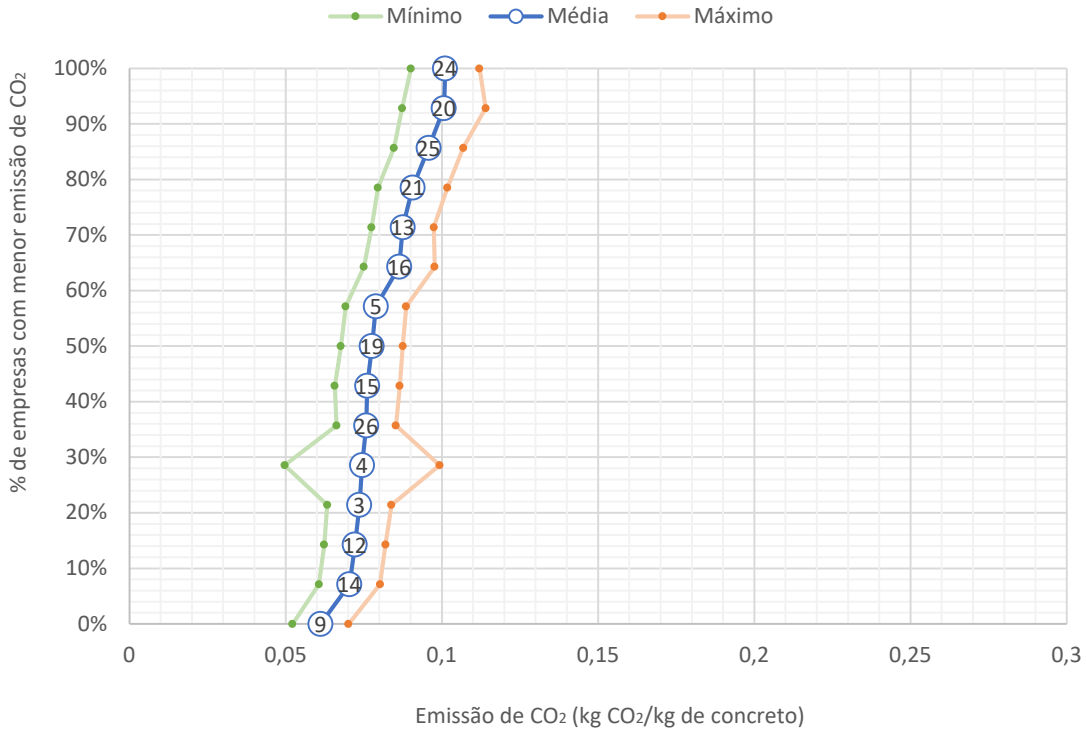


*Figura 54: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 10 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

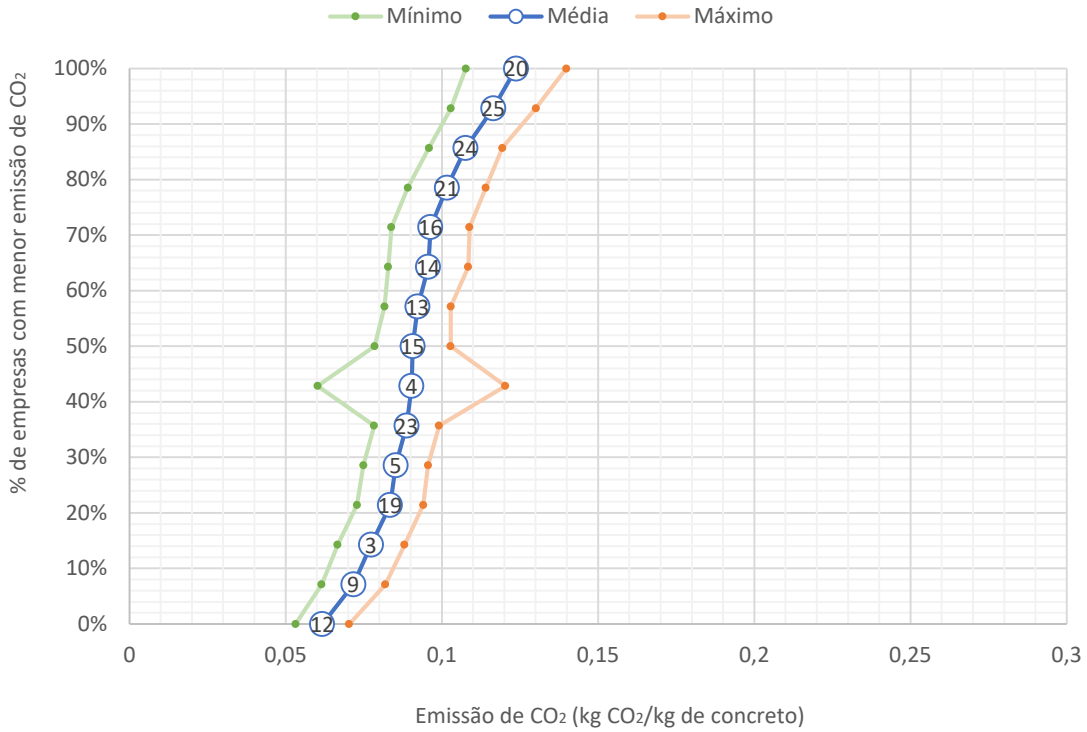


*Figura 55: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 12 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

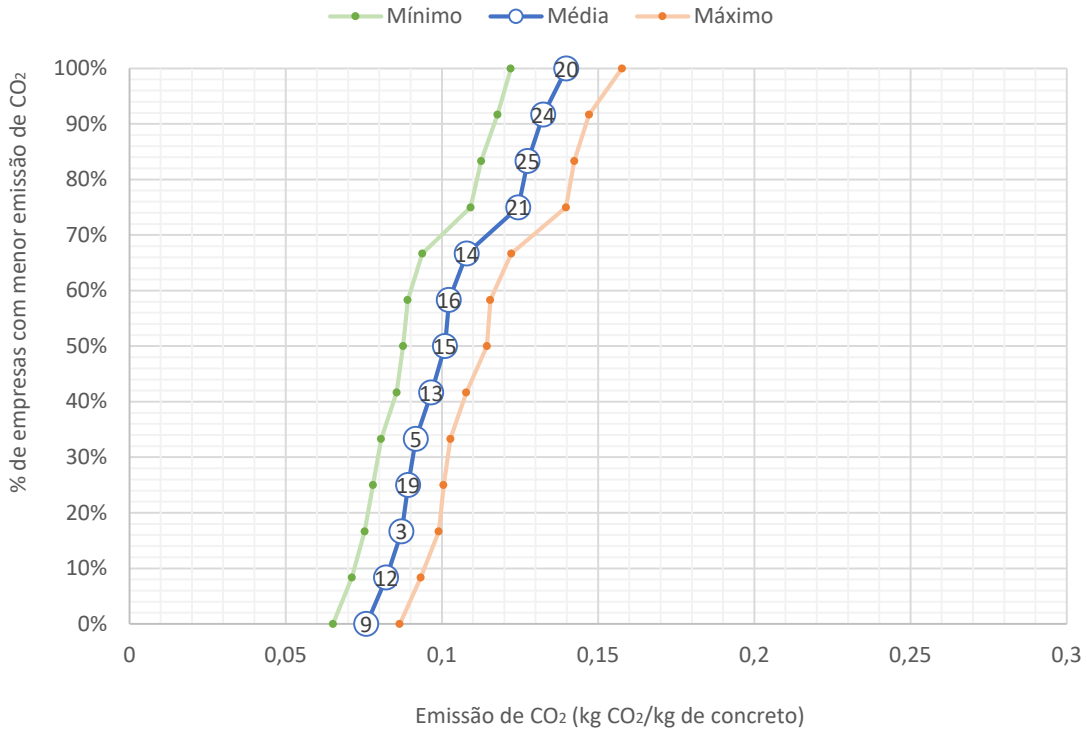


*Figura 56: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 14 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

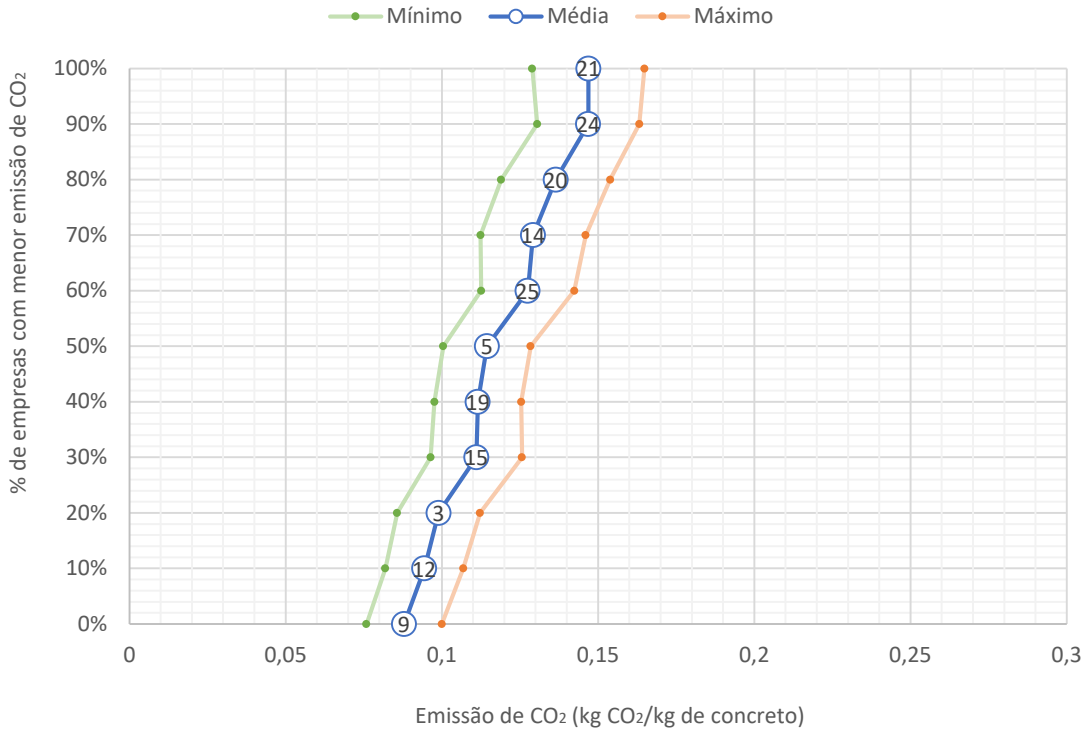


*Figura 57: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 16 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada.*

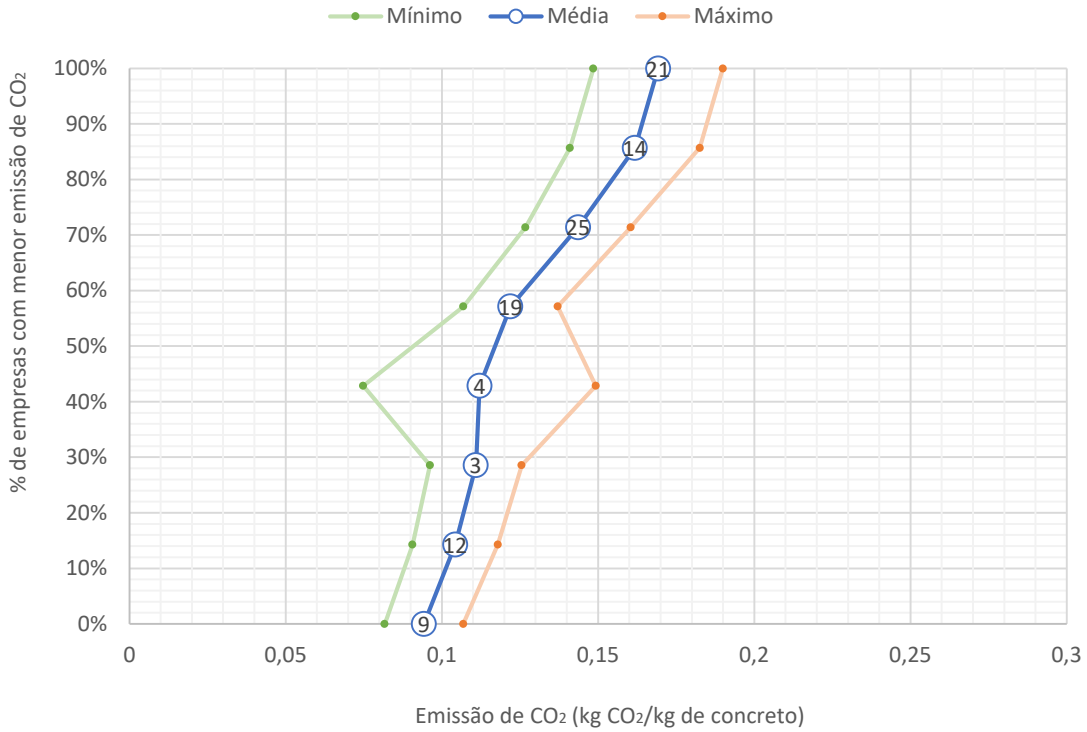


*Figura 58: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 18 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

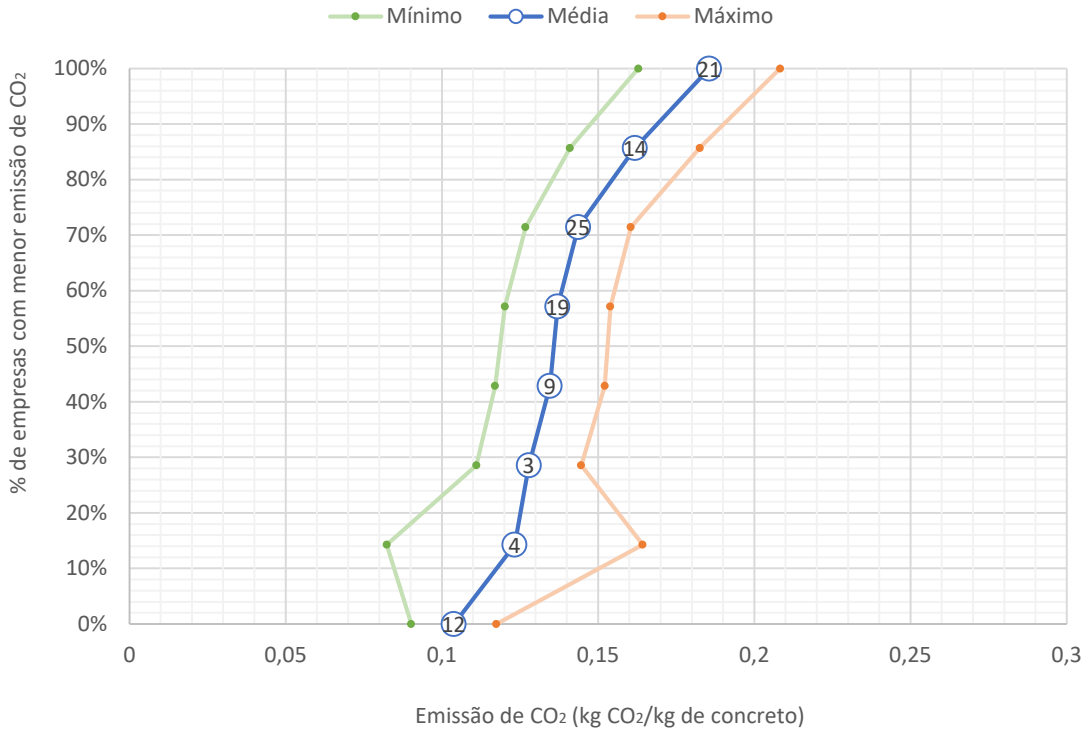


*Figura 59: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 20 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

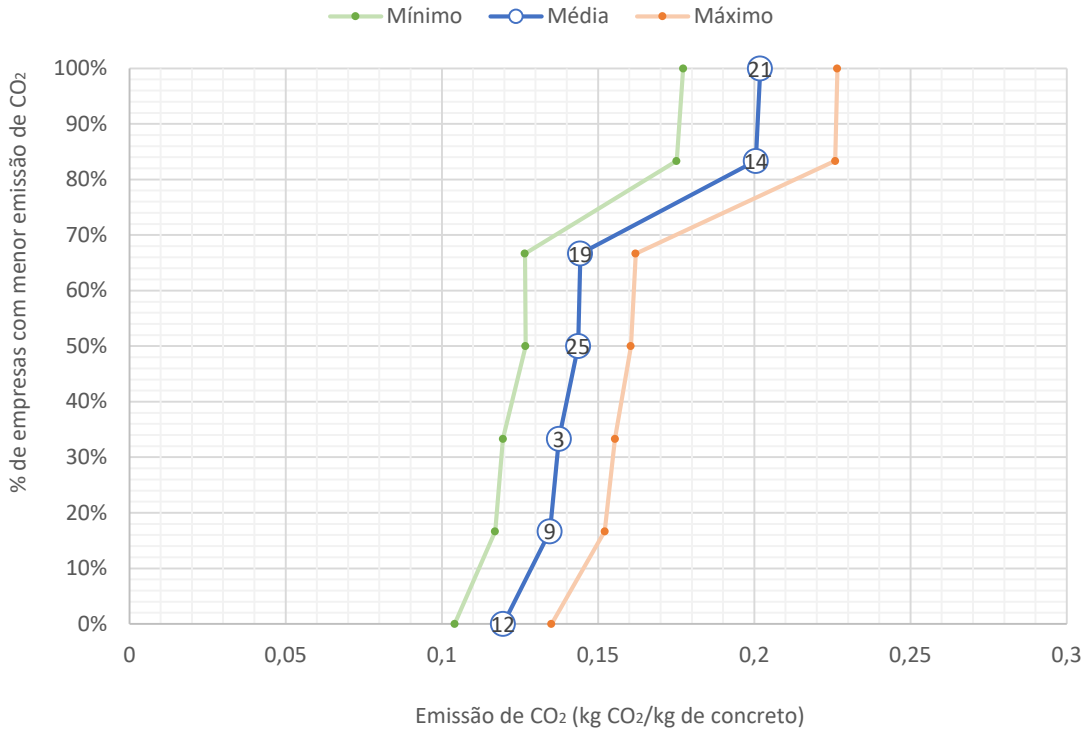


*Figura 60: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 22 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

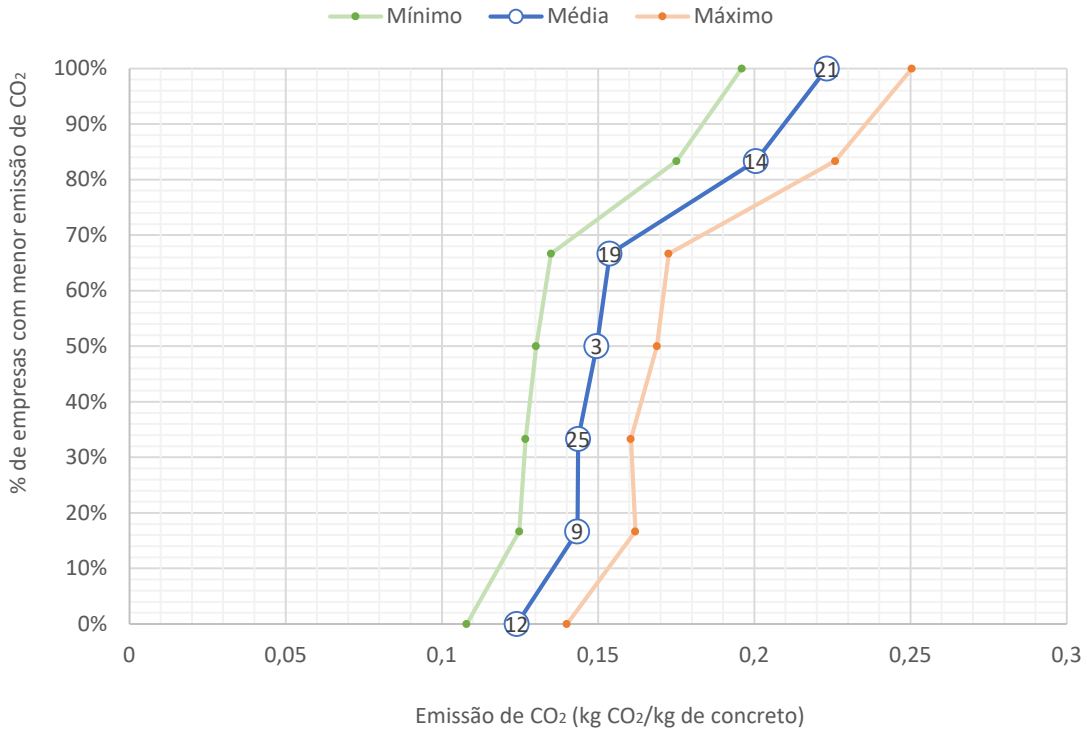


*Figura 61: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 24 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

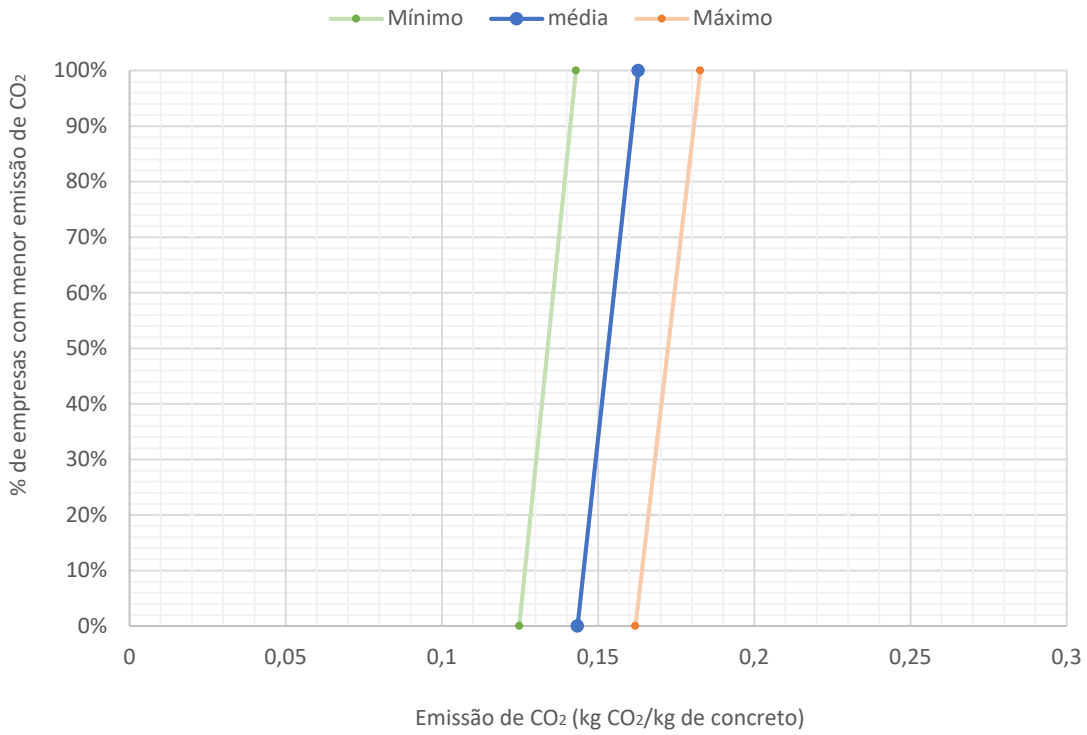


*Figura 62: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos de 26 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa. As empresas nãos estão identificadas para preservar o sigilo dos dados.*

6.2.3 Tabela resumo dos resultados dos blocos de concreto

Para facilitar a consulta, os indicadores apresentados na Figura 48 e na Figura 49 estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Indicadores ambientais de Demanda de energia primária e Emissão de CO_s dos blocos de concreto referente aos benchmarks apresentados na Figura 48 e Figura 49.

Bloco fbk	Energia (MJ/ Kg de concreto)			Emissão de CO_2 (kg CO_2/ Kg de concreto)		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
3 MPa	0,212	0,524	0,836	0,026	0,063	0,099
4 MPa	0,234	0,486	0,738	0,032	0,062	0,092
6 MPa	0,237	0,496	0,756	0,032	0,064	0,096
8 MPa	0,256	0,558	0,861	0,046	0,077	0,107
10 MPa	0,309	0,616	0,923	0,050	0,082	0,114
12 MPa	0,316	0,659	1,002	0,053	0,097	0,140
14 MPa	0,373	0,757	1,142	0,065	0,111	0,158
16 MPa	0,425	0,834	1,244	0,076	0,120	0,165
18 MPa	0,453	0,928	1,404	0,075	0,132	0,190
20 MPa	0,489	1,006	1,523	0,082	0,145	0,208
22 MPa	0,554	1,097	1,641	0,104	0,165	0,227
24 MPa	0,572	1,184	1,796	0,108	0,179	0,250
26 MPa	0,665	1,016	1,366	0,125	0,154	0,183

6.3 Resultados das peças para pavimentação

Os indicadores de demanda de energia e emissão de CO_2 das peças de concreto para pavimentação estão apresentados nos itens subsequentes.

6.3.1 Demanda de energia

Os dados obtidos de energia incorporada dos concretos utilizados na produção de peças de concreto para pavimentação estão apresentados na Figura 63. O consumo de energia varia de 0,325 a 1,642 MJ/kg, dependendo da resistência e do fornecedor. No entanto, analisando cada resistência de piso, o valor máximo chega a ser aproximadamente 3,3 vezes maior do que o valor mínimo.

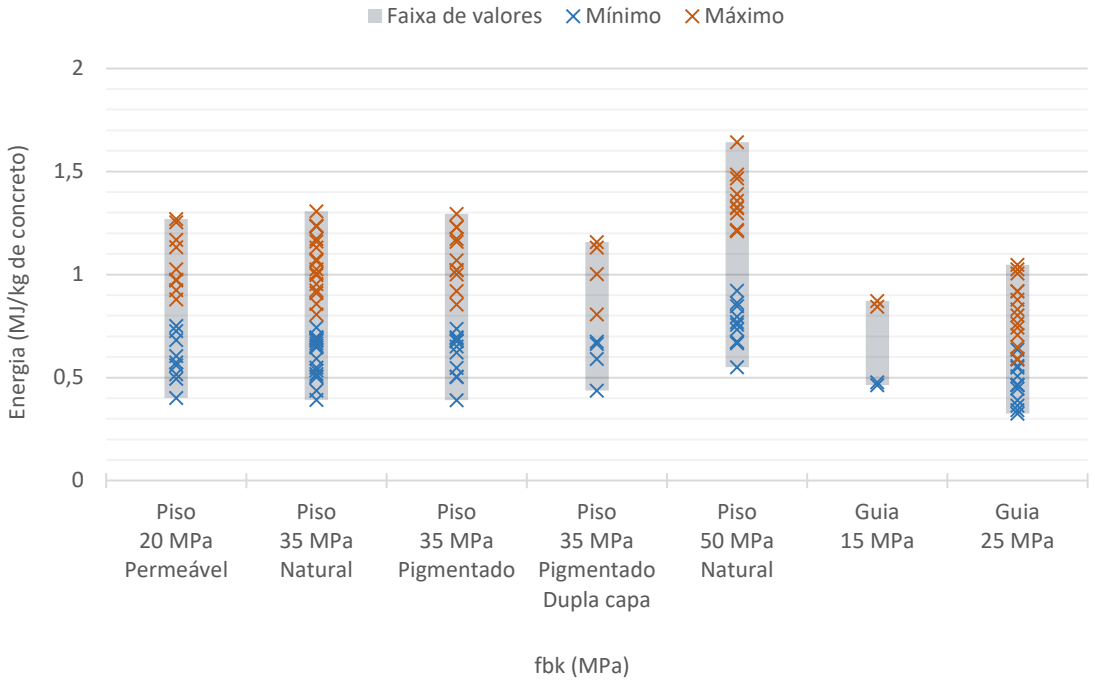


*Figura 63: Faixa de valores dos indicadores de **demanda de energia primária** dos concretos utilizados na produção de **peças para pavimentação**. Valores dados por resistência característica das peças.*

6.3.2 Emissão de CO_2

A Figura 64 apresenta as faixas de valores para os indicadores de emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção de peças para pavimentação. A emissão de CO_2 varia de 0,048 a 0,237 kg CO_2/kg, dependendo da resistência e do fabricante. No entanto, analisando cada resistência de piso, o valor máximo chega a ser aproximadamente 3,2 vezes maior do que o valor mínimo.

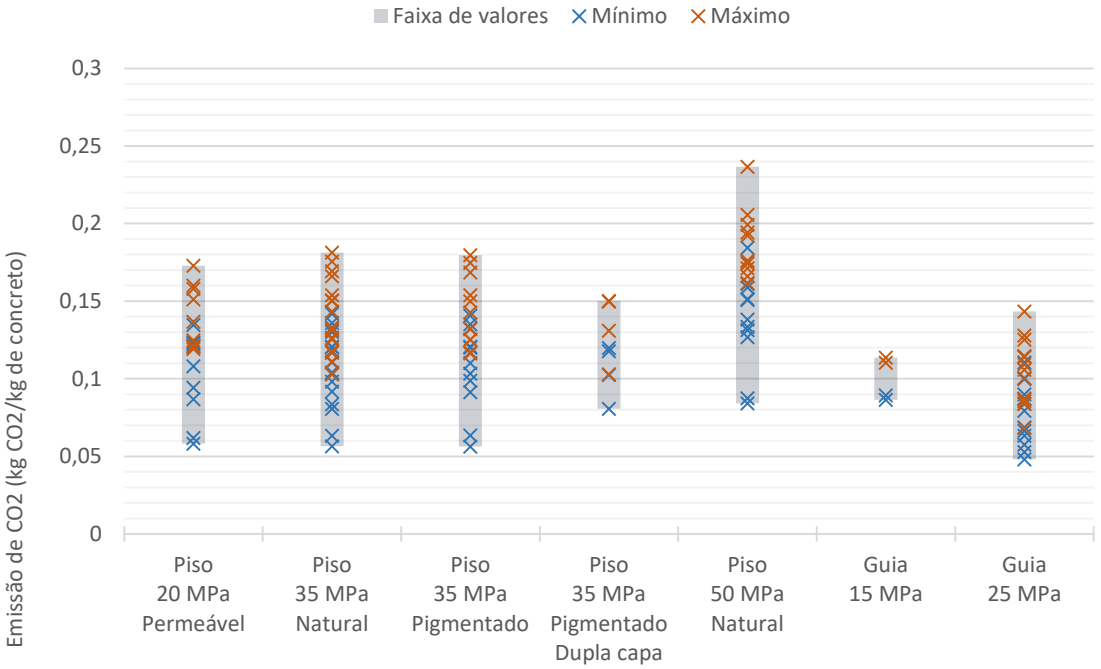


*Figura 64: Faixa de valores dos indicadores de **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção de **peças para pavimentação**. Valores dados por resistência característica das peças de concreto.*

6.3.2.1 Benchmark por resistência característica de peça

O *benchmark* da emissão de CO_2 das peças de concreto está apresentado por resistência característica dos blocos (f_{bk}) e em faixa de valores, conforme demonstrado na Figura 65 à Figura 70. Não consta gráfico da guia de 15 MPa pois somente uma empresa a produz. Assim como para os blocos, os pisos da Empresa 4 apresentam faixas de valores mais amplos, explicado pelos dados de insumos com maiores incertezas no Sidac.

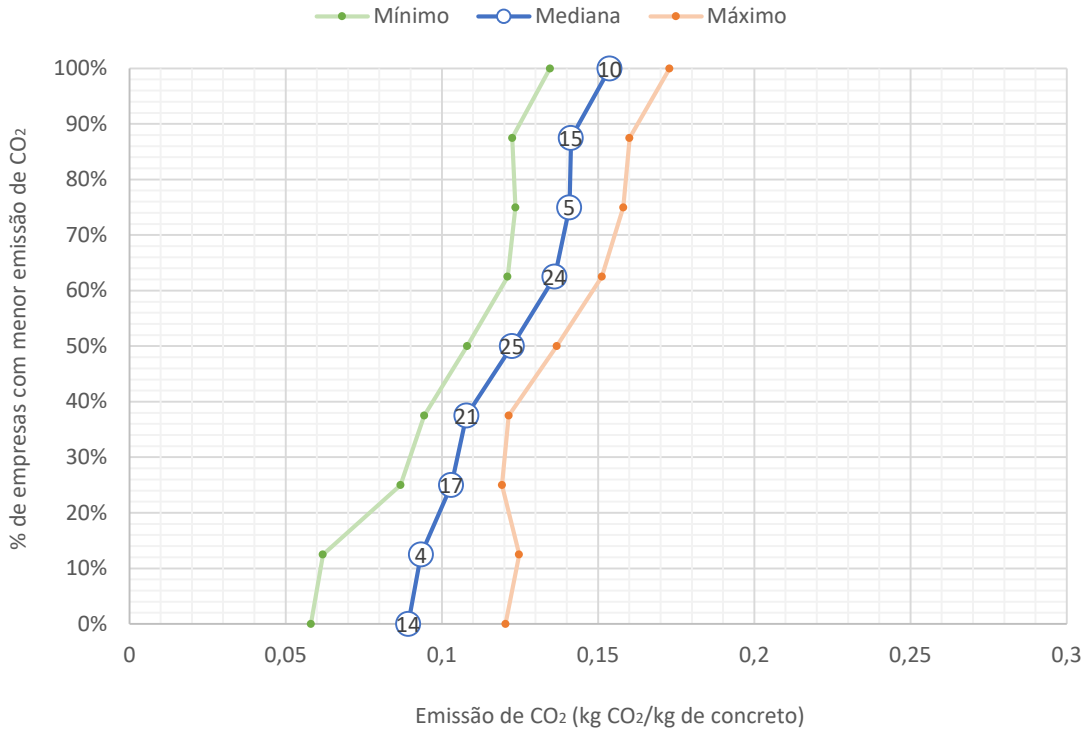


*Figura 65: Benchmark da **emissão de CO2** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 20 MPa Permeáveis**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa*.

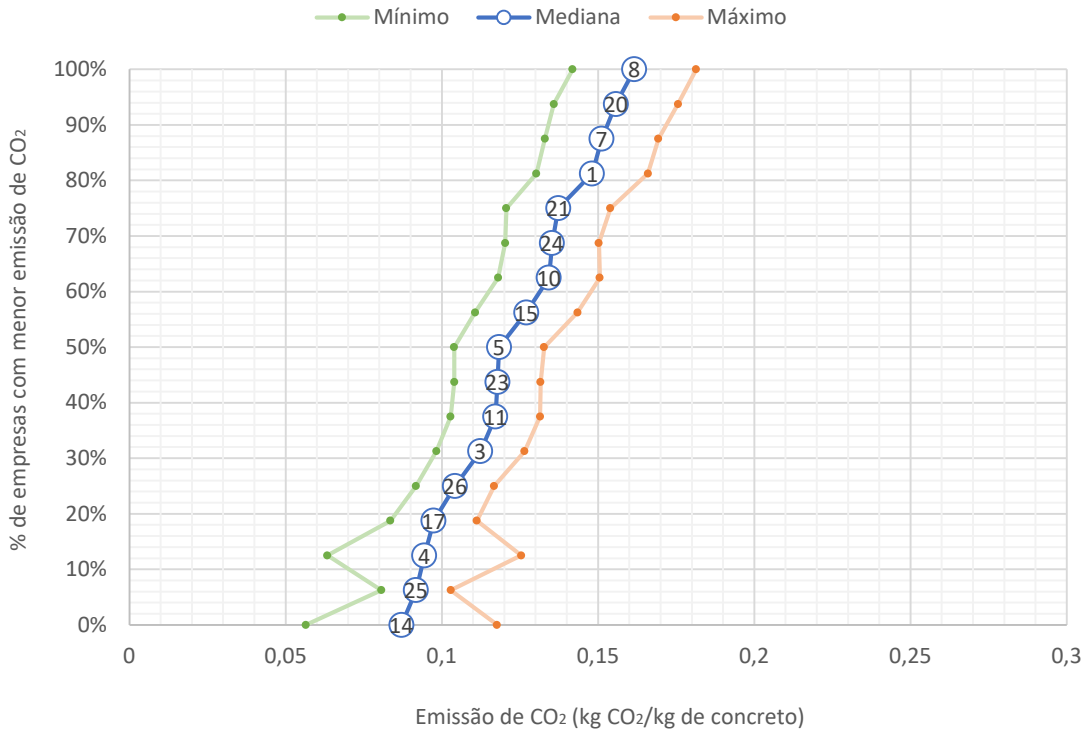


*Figura 66: Benchmark da **emissão de CO2** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 35 MPa Natural**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

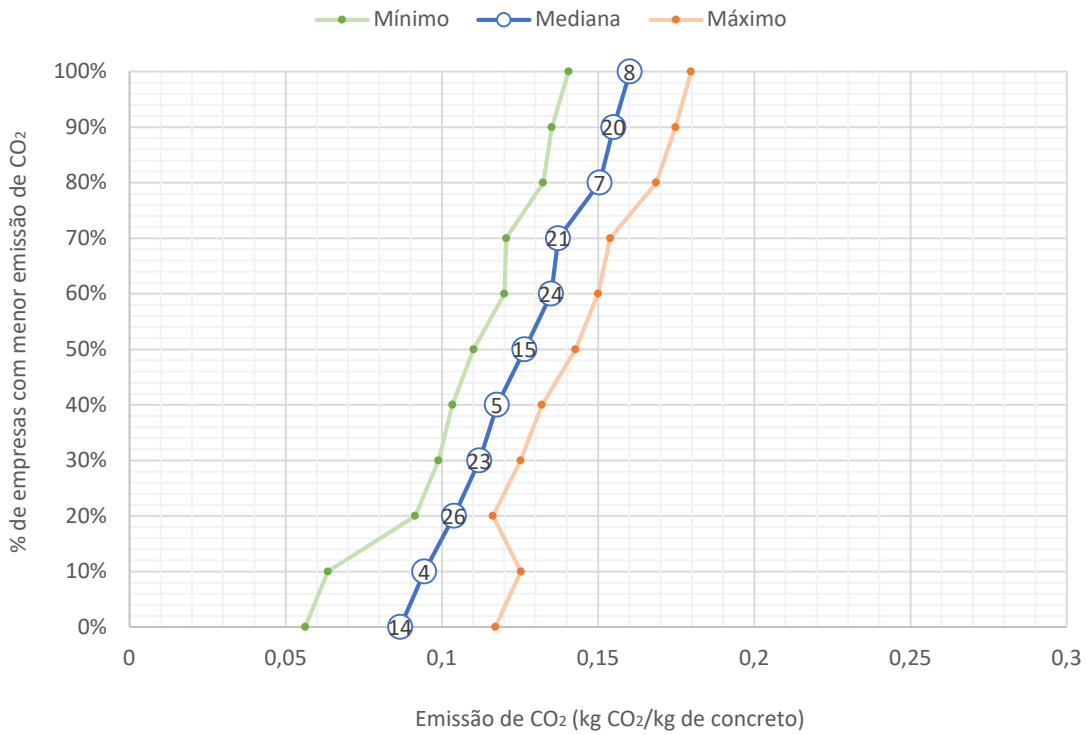


*Figura 67: Benchmark da **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 35 MPa Pigmentado**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

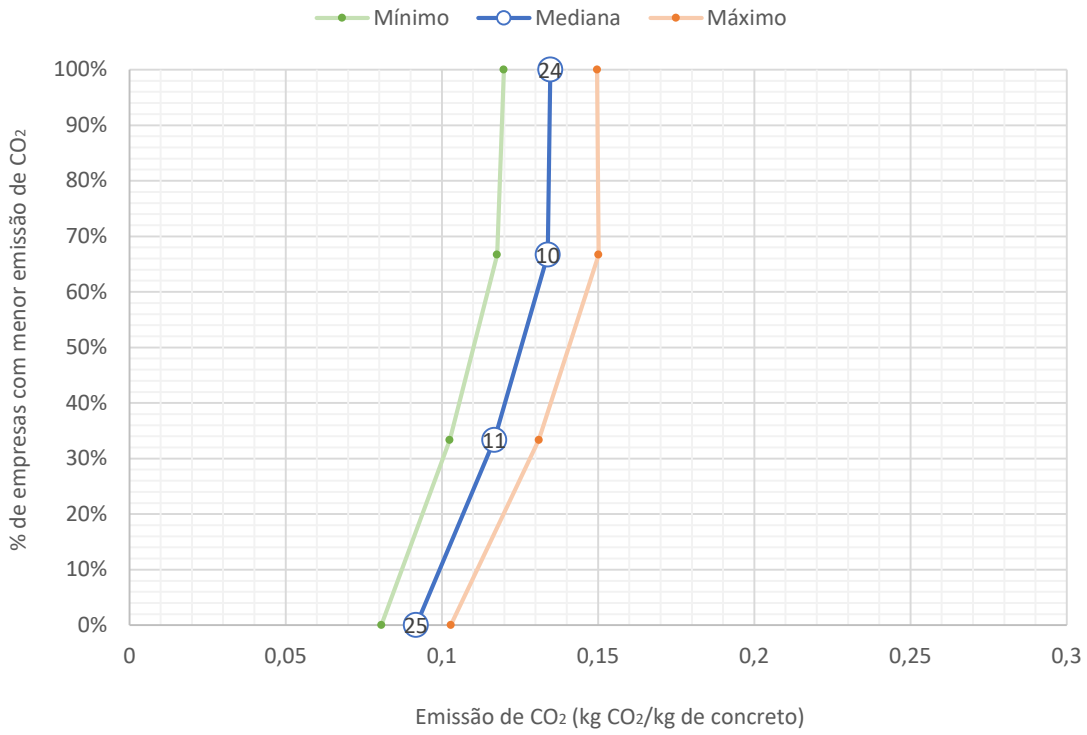


*Figura 68: Benchmark da **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 35 MPa Pigmentado Dupla camada**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

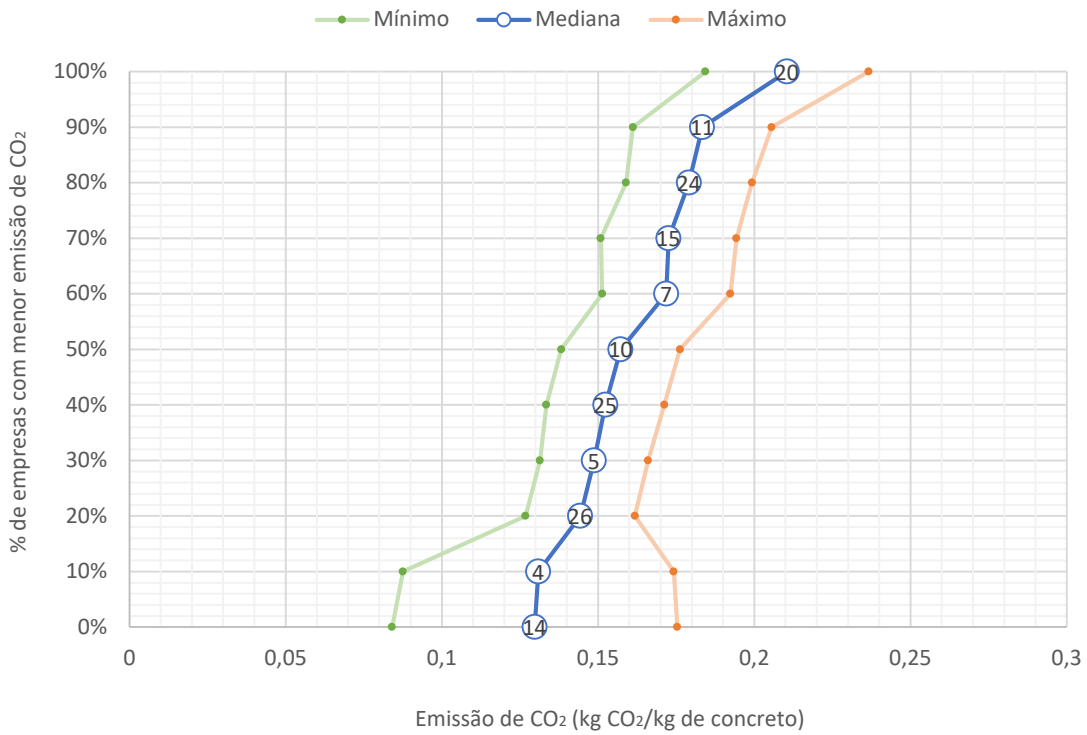


*Figura 69: Benchmark da **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção dos **pisos de 50 MPa Natural**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

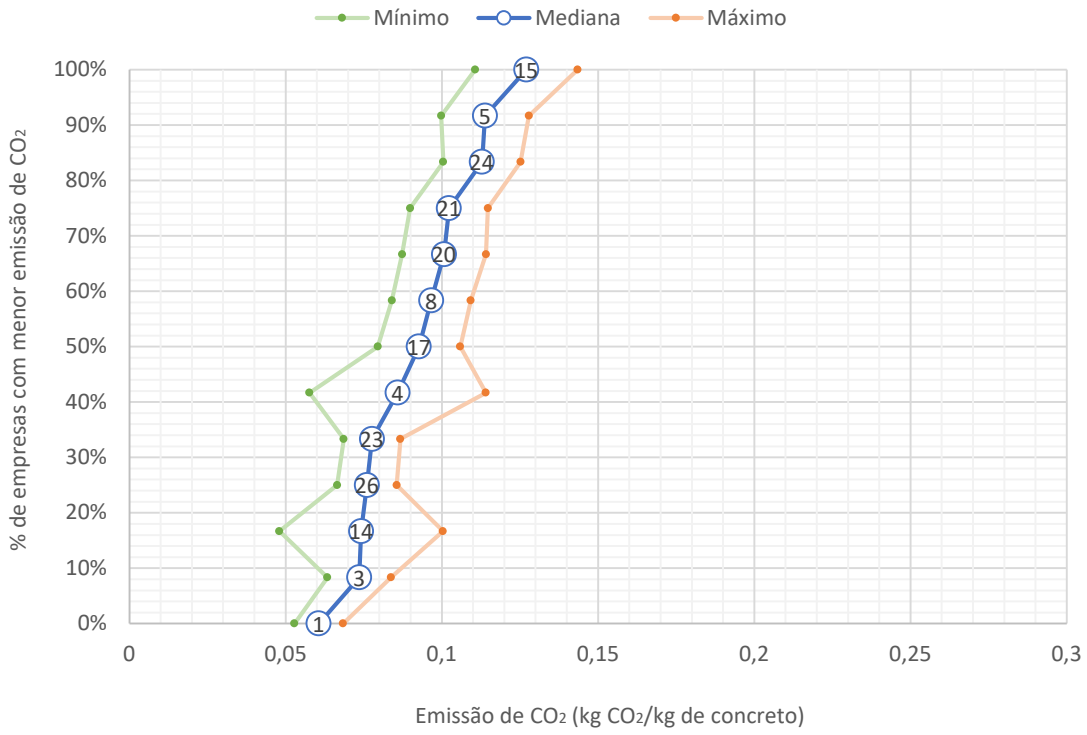


*Figura 70: Benchmark da **emissão de CO_2** dos concretos utilizados na produção das **guias de 25 MPa**. Cada número representa uma empresa e cada fabricante conhece apenas o número com o qual sua empresa é representada. Ranking a partir do indicador mediano de cada empresa.*

6.3.3 Tabela resumo dos resultados das peças para pavimentação

Para facilitar a consulta, os indicadores apresentados na Figura 63 e na Figura 64 estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Indicadores ambientais de Demanda de energia primária e Emissão de CO_s das peças para pavimentação referente aos benchmarks apresentados na Figura 63 e Figura 64.

Peça para pavimentação fbk	Energia (MJ/ Kg de concreto)			Emissão de CO_2 (kg CO_2/ Kg de concreto)		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
Piso 20 MPa Permeável	0,401	0,835	1,269	0,058	0,115	0,173
Piso 35 MPa Natural	0,391	0,849	1,307	0,056	0,119	0,181
Piso 35 MPa Pigmentado	0,390	0,843	1,295	0,056	0,118	0,180
Piso 35 MPa Pigmentado Dupla capa	0,438	0,798	1,158	0,081	0,115	0,150
Piso 50 MPa Natural	0,550	1,096	1,642	0,084	0,160	0,237
Guia 15 MPa	0,464	0,668	0,871	0,086	0,100	0,114
Guia 25 MPa	0,325	0,686	1,047	0,048	0,096	0,143

6.4 *Benchmark* de CO_2 e a incerteza dos fatores de emissão

Os rankings das empresas apresentados nos gráficos anteriores foram elaborados utilizando os valores medianos da faixa de incerteza. Na prática, os fatores de emissão de CO_2 das diferentes empresas se distribuem dentro dos valores máximos e mínimos, ou seja, das faixas representadas pelas curvas verde e laranja. A real emissão de CO_2 de cada empresa depende da escolha dos fornecedores e de suas variáveis na produção/extração das matérias-primas fornecidas, o que restringirá a emissão a uma faixa de valores mais precisa.

Como o Sidac ainda não disponibiliza os dados específicos dos fabricantes das matérias- primas, é necessário neste momento utilizar indicadores de pegada de CO_2 e energia genéricos, que refletem a diferença de pegada de CO_2 esperada entre diversos fornecedores do mercado e/ou decorrentes de variações de normas técnicas (John et al., 2021; MME; CBCS, 2022). Portanto, mesmo se o processo inventariado na fábrica não apresentar incertezas – o que nem sempre ocorre – os seus indicadores de desempenho ambiental incorporam as incertezas dos processos que os precedem, ou seja, os processos de extração e produção das matérias-primas.

Na prática, cada fornecedor de cimento e de agregados terá uma emissão de CO_2 específica, o que provavelmente irá resultar em novo valor de pegada de CO_2 e energia, que pode afetar as posições relativas das empresas, gerando um novo ranking.

Para exemplificar o exposto anteriormente foram criados dois cenários hipotéticos com cinco fabricantes **fictícios** de um determinado tipo de componente de concreto não especificado. Foram considerados indicadores de CO_2 hipotéticos e os rankings foram calculados considerando os valores medianos. A Figura 71 representa o **Cenário 1**, onde os indicadores de emissão de CO_2 dos concretos foram calculados a partir de fatores de emissão de CO_2 de cimentos genéricos disponibilizados pelo Sidac (Tabela 3). No **Cenário 2**, representado na Figura 72, considerou-se que os fornecedores de cimento das empresas teriam suas dDAPs emitidas, ou seja, o Sidac disponibilizaria os dados específicos dessas cimenteiras, restringindo a faixa de variação em comparação com os dados genéricos. Neste cenário é possível calcular o indicador de emissão de CO_2 de cada empresa fictícia utilizando os dados específicos do fornecedor de

cimento, o que resultará numa faixa de indicadores de emissão mais precisa, e consequentemente, um novo ranking das empresas. Ao comparar os Cenários 1 e 2 (Figura 71 e Figura 72) pode ser observado que (i) no Cenário 2 a faixa dos fatores é mais precisa, e (ii) os fabricantes mudam de posição no ranking: as empresas C e E melhoram seu desempenho enquanto as empresas A e D apresentam uma piora no ranking.

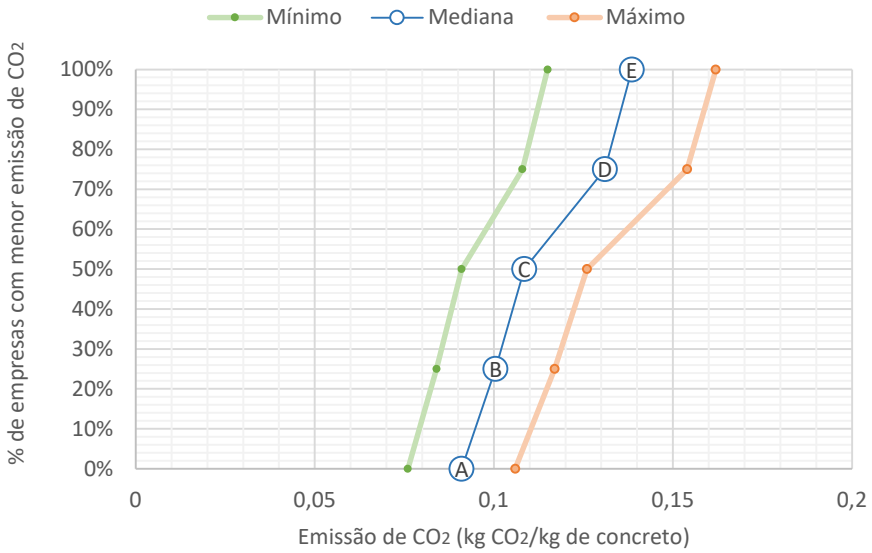


*Figura 71: Benchmark da emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção de blocos de empresas fictícias no **Cenário 1**. Os valores são calculados a partir de indicadores de cimento genéricos do Sidac.*

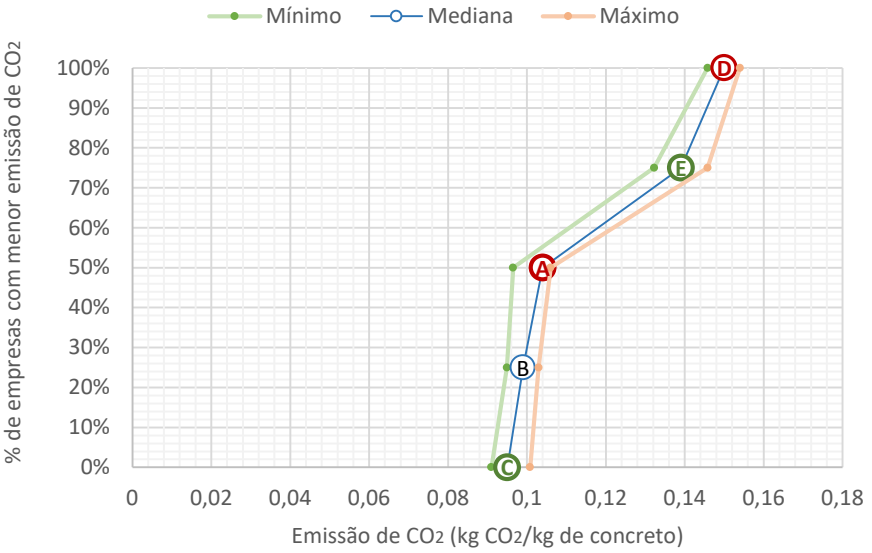


*Figura 72: Benchmark da emissão de CO2 dos concretos utilizados na produção de blocos de empresas fictícias no **Cenário 2**. Os valores são calculados a partir de indicadores de cimento específicos e fictícios. Está destacado em verde as empresas que se posicionaram melhor no ranking e, em vermelho as que caíram de posição.*

6.5 Como mitigar CO_2

A pegada de CO_2 dos componentes de concreto é associada à produção e ao transporte dos insumos, bem como pelas emissões diretas na fábrica. Os dados revelam que aproximadamente 95% das emissões provêm dos materiais.

A Figura 73 e a Figura 74 mostram o percentual da emissão de CO_2 do cimento em relação ao total de emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção de blocos e peças para pavimentação, respectivamente. Nota-se que a pegada de CO_2 do cimento representa entre 79 e 92% da pegada de CO_2 dos concretos, a depender da resistência e do fabricante. Isso é explicado quando observadas as emissões das matérias-primas, enquanto a emissão de CO_2 do cimento varia de 0,4061 a 0,9943 kg CO_2/kg, a dos agregados varia entre 0 e 0,00467 kg CO_2/kg (Tabela 3). Portanto, a mitigação de CO_2 pode ser obtida através da racionalização do uso do cimento, podendo, inclusive, resultar em significativa redução de custo.

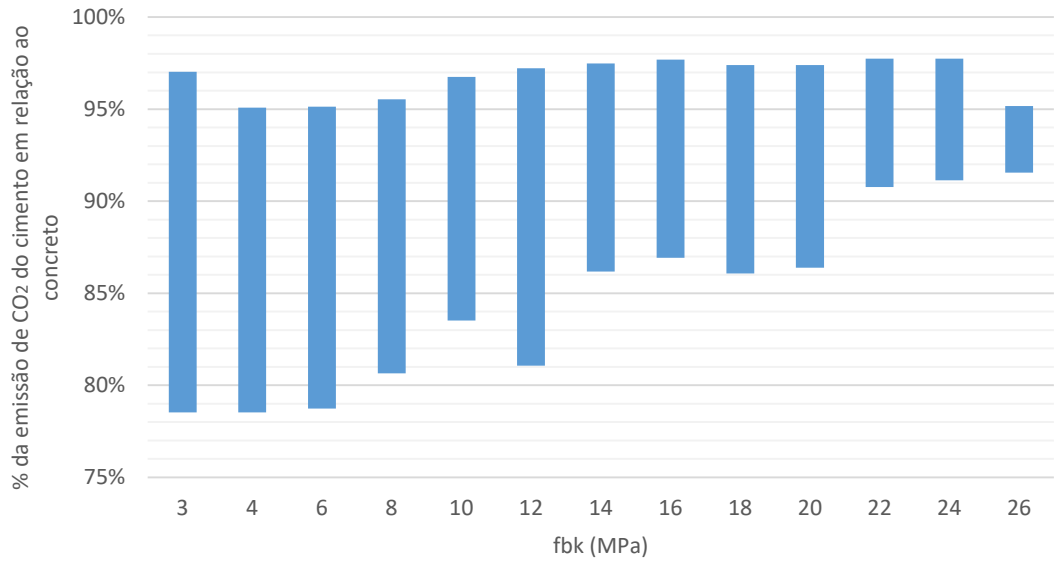


*Figura 73: Percentual da emissão de CO_2 do cimento em relação ao total de emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção dos **blocos**. Valores por resistência característica do bloco de concreto.*

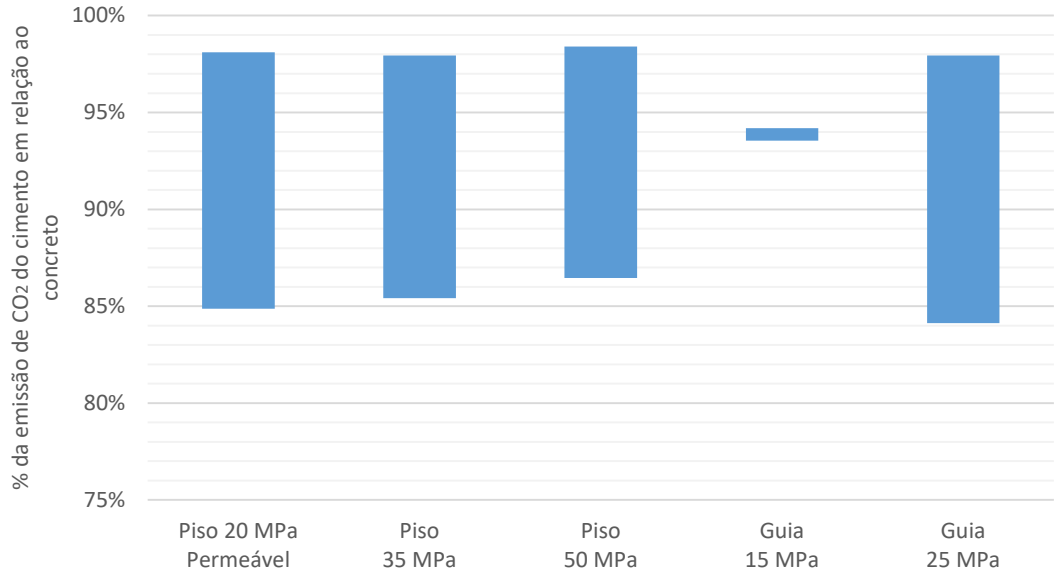


*Figura 74: Percentual da emissão de CO_2 do cimento em relação ao total de emissão de CO_2 dos concretos utilizados na produção das **peças para pavimentação**. Valores por tipo de componente. A guia de 15 MPa é produzida somente por fabricante, o que explica a faixa estreita.*

7 Considerações Finais

O consumo de cimento variou de 45 a 83 kg/t para os blocos, já para as peças de pavimentação o consumo de cimento variou de 98 a 217 kg/t para os pisos e de 62 a 140 kg/t para as guias, a depender da resistência e do fabricante. Mesmo para uma determinada resistência de bloco, foram observadas diferenças relevantes nas formulações dos concretos entre os fabricantes, evidenciadas pela variação do consumo de cimento, visto que o valor máximo chega ser aproximadamente 1,8 vezes maior do que o valor mínimo no caso dos blocos e 2,2 vezes no caso dos pisos, mesmo considerando intervalo de confiança de 95%. Na prática, existe relevante potencial de melhoria na eficiência do uso de cimento para a maioria das empresas. A análise dos gráficos de *benchmark*, em especial a Figura 41, permite que fabricantes, inclusive aqueles que não participaram da *Jornada*, se posicionem no setor quanto ao consumo de cimento de seus produtos, impulsionando a otimização do seu consumo, e consequentemente, a redução das emissões de CO_2, da energia incorporada e, inclusive, dos custos.

A variação do consumo de cimento impacta tanto a demanda de energia quanto as emissões de CO_2. A demanda de energia para a produção de blocos variou de 0,212 a 1,796 MJ por quilograma de concreto, enquanto, para as peças de pavimentação, a variação foi de 0,325 a 1,642 MJ/kg. Isso significa que o valor máximo pode ser até 3,9 vezes superior ao valor mínimo, a depender da resistência e do fabricante. No caso da pegada de carbono, a variação observada para os blocos foi de 0,043 a 0,253 kg CO_2/kg, e, para as peças de pavimentação, de 0,048 a 0,237 kg CO_2/kg. Assim, a pegada de carbono máxima pode ser até 3,8 vezes maior do que a mínima.

Este estudo mostrou que as incertezas da pegada de carbono dos componentes de concreto – evidenciadas pelo percentual da pegada de carbono do cimento em relação ao total da pegada de carbono do concreto, que varia de 79 a 98% – devem-se, principalmente, à ausência de dados específicos dos fabricantes dos cimentos consumidos. Portanto, à medida que os fornecedores de matérias-primas disponibilizarem esses dados, as faixas de valores das pegadas ambientais dos componentes de concreto se tornarão mais precisas, o que contribuirá para a melhoria da qualidade dos dados. Isso reforça a importância da emissão De dDAPs de toda a cadeira produtiva no propósito de uma mitigação efetiva das emissões de CO_2.

A análise dos balanços de massas das empresas revela um grande potencial de melhoria nos controles de estoque de matérias-primas, bem como no monitoramento da quantidade de produtos fabricados. Além disso, destaca-se a necessidade de implementar medições regulares da massa de todos os componentes fabricados no período, para que a massa média do componente seja representativa, refinando os dados de inventário, além de permitir a verificação e posterior correção das perdas incorporadas devidas ao desgaste de formas ao longo do tempo, por exemplo. Foi observado que 28% das empresas apresentaram dados consistentes de balanço de massas, dentro do erro admissível de 5%, e estão aptas a emitir dDAPs de seus produtos. O aprimoramento desses controles é crucial para que as demais empresas (72%) também possam emitir suas dDAPs e atender às futuras exigências do mercado.

Para avançar na implementação de indicadores de consumo de água é essencial que as empresas instalem hidrômetros em suas fábricas. Atualmente, esses dispositivos medem, em grande parte, o consumo de água proveniente da rede pública. No entanto, sua utilização pode ser ampliada para monitorar também a água extraída de poços, captada da chuva, proveniente de sistemas de reúso e retirada de fontes superficiais, como rios e lagos. Os controles de geração de resíduos também precisam ser aprimorados ou implementados nas empresas para que o setor possa incluir também este indicador em seus inventários.

Referências

ABNT. **ABNT NBR 9781 Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. *[S.l.: S.n.]*.

ABNT. **ABNT NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto: requisitos e procedimentos**. *[S.l.]*: Abnt, 2015.

ABNT. **ABNT NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos**. *[S.l.]*: Abnt, 2016.

ABNT NBR 16697: cimento Portland: requisitos. *[S.l.]*: Abnt, 2018.

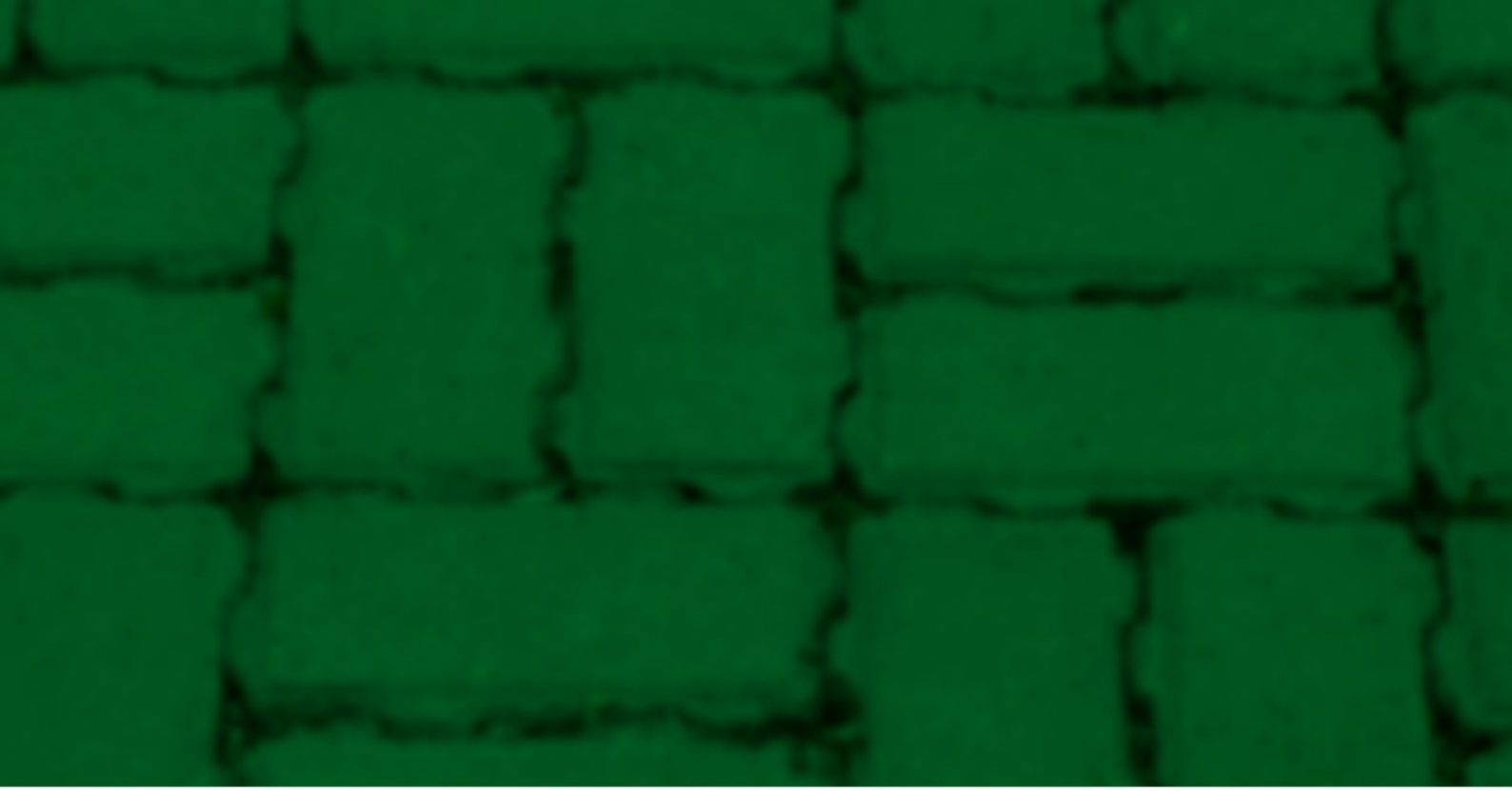
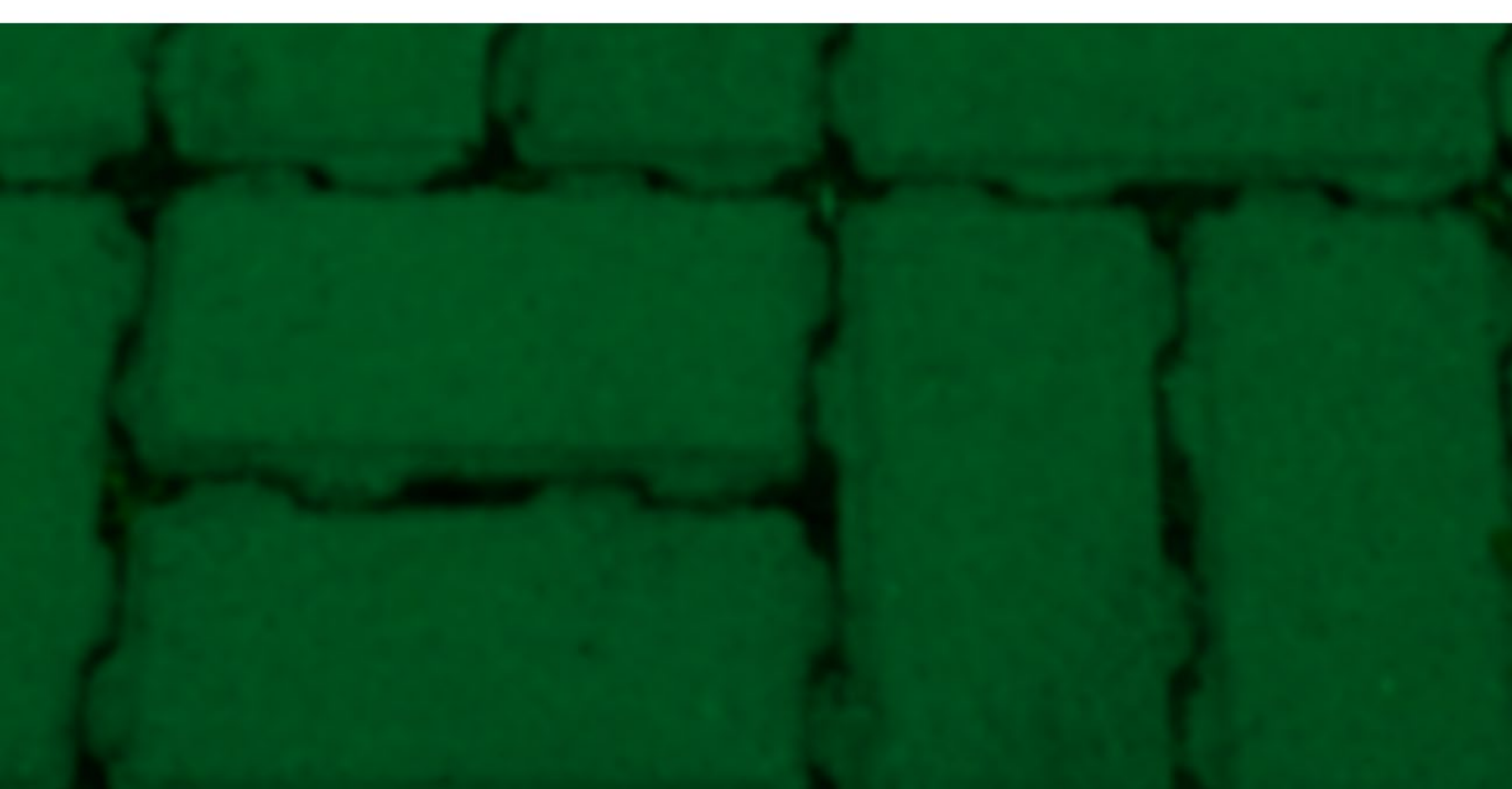
BELIZARIO-SILVA, Fernanda *et al.* **Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção - Metodologia - 1a. edição**. Sidac, , 2022. Disponível em: <https://sidac.org.br/conteudo_tecnico>. Acesso em: 21 jan. 2025

DEGANI, Clarice *et al.* Jornadas Setoriais para um futuro de baixo carbono na construção civil brasileira. n. 116, dez. 2024.

JOHN, Vanderley *et al.* **Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto Avaliação de Ciclo de Vida Modular**. *[S.l.: S.n.]*.

JOHN, Vanderley *et al.* **Metodologia do sistema de informação do desempenho ambiental da construção**. , 2021.

MME; CBCS. **Sidac - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção**. , 2022. Disponível em: <https://sidac.org.br>

SILVA, Fernanda Belizário *et al.* The Sidac system: Streamlining the assessment of the embodied energy and CO2 of Brazilian construction products. **Journal of Cleaner Production**, v. 421, p. 138461, out. 2023.

SNIC. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050**. *[S.l.]*: SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento), ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), mar. 2019. Disponível em: <http://www.lme.pcc.usp.br/wp-content/uploads/sites/275/2019/04/Roadmap-Tecnol%C3%B3gico-do-Cimento_Brasil.pdf>.