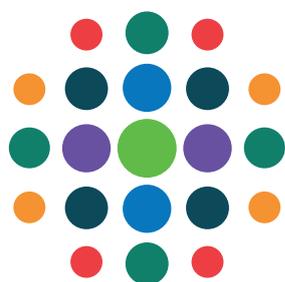


sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados
CONCRETO



sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados

CONCRETO

Apoio



Cooperação técnica



Coordenação



Essa publicação foi organizada com o apoio financeiro do Instrumento de Parceria da União Europeia com o Ministério Federal Alemão para o Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) no contexto da Iniciativa Climática Internacional (IKI). O conteúdo dessa publicação é de inteira responsabilidade dos seus organizadores e não necessariamente reflete a visão dos financiadores.

SUPERVISÃO DA COLETA DE DADOS

Me. Lidiane Santana Oliveira (USP)

Me. Fernanda Belizario Silva (IPT/USP)

Dr. Daniel Costa Reis (USP)

EQUIPE RESPONSÁVEL PELA COLETA DE DADOS DO CONCRETO¹

Dr. Daniel Costa Reis (USP): Levantamento de dados, análise dos dados, inserção dos dados no sistema, relatório

Prof. Dr. Vanderley John: Supervisão, análise dos dados

Como citar este documento:

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

¹ Declaração de crédito dos autores: levantamento de dados: levantamento de dados de inventário de ciclo de vida dos produtos (primários ou secundários); análise dos dados: compilação e análise dos dados de inventário de ciclo de vida dos produtos; inserção dos dados no sistema: cadastro dos processos elementares no Sidac; relatório: elaboração do relatório de coleta de dados; supervisão: supervisão da coleta e análise dos dados de inventário de ciclo de vida dos produtos; apoio: apoio às atividades do projeto.

Sumário

1	Introdução	1
2	Elaboração dos processos elementares	1
2.1	Descrição do produto	1
2.2	Fluxograma do processo unitário	1
2.3	Descrição dos processos elementares	3
2.4	Fonte dos dados	4
2.5	Alocação	5
3	Métodos de cálculos.....	5
3.1	Concreto dosado em central	5
3.2	Concreto dosado em obra	10
3.3	Itens desconsiderados	11
4	Inventário dos processos elementares.....	11
5	Análise dos indicadores	16
6	Referências	19

1 Introdução

O objetivo desse relatório é apresentar os procedimentos adotados na coleta e no processamento dos dados genéricos do inventário do ciclo de vida dos concretos dosados em central e em obra no Brasil. Serão apresentados os fluxogramas dos processos elementares da produção dos concretos, considerando a fronteira do portão ao portão (*gate to gate*), dados qualitativos e quantitativos (fluxos de entrada e saída) que descrevem esses processos, bem como todas as conversões realizadas para adequação dos dados ao Sidac e elaboração do inventário do ciclo de vida dos produtos.

2 Elaboração dos processos elementares

2.1 Descrição do produto

O concreto é um material isotrópico obtido através da mistura de cimento, agregados (areia e brita) e água. Outros componentes minoritários, como aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, entre outros podem ser adicionados ao concreto. O cimento, ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos agregados formando um bloco monolítico de elevada resistência a compressão. A proporção entre os materiais – também conhecida como dosagem – influencia as características do concreto, tais como resistência e consistência. A Figura 1 ilustra a composição de um concreto típico.

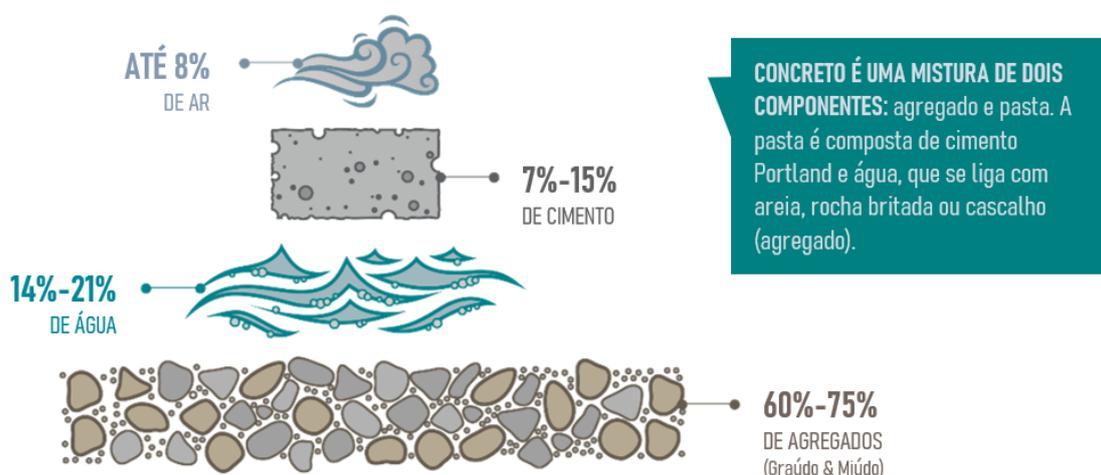


Figura 1 – Composição do concreto em volume. Fonte: autores a partir de (PCA, 2022)

O concreto pode ser produzido utilizando duas rotas tecnológicas: dosado em central ou dosado em obra. Concreto dosado em central, como definido pela norma (ABNT-NBR 7212, 2021), é o concreto dosado em instalações específicas e sua entrega é feita antes do início de pega. Já o concreto dosado em obra é aquele cuja mistura é realizada na própria obra.

2.2 Fluxograma do processo unitário

A Figura 2 apresenta os fluxogramas dos processos elementares de produção de concreto dosado em central e a Figura 3 de concreto dosado em obra.

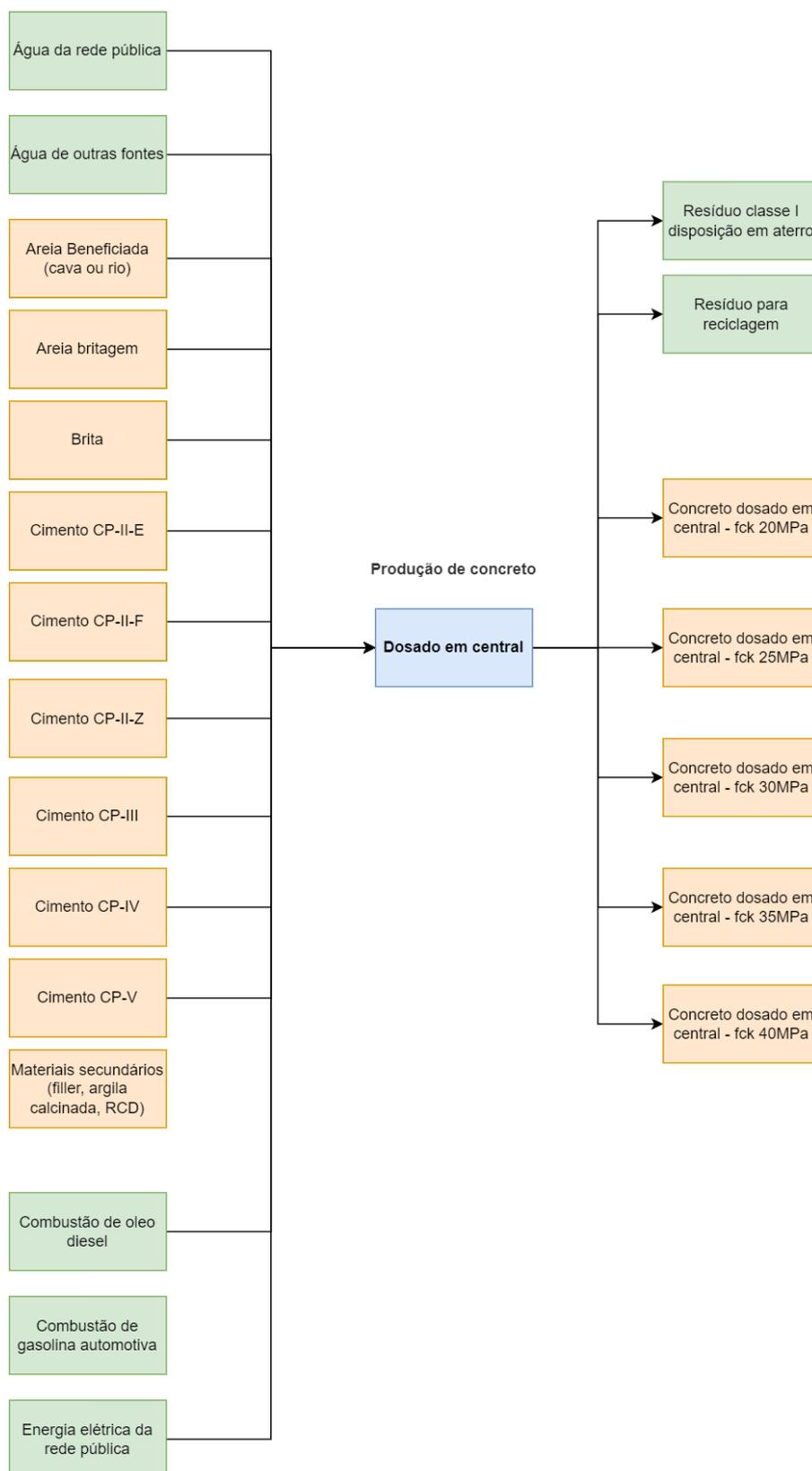


Figura 2 – Processo elementar de produção de concreto dosado em central. Cor verde representa fluxo elementar, cor azul o processo elementar, cor laranja o fluxo de produto.

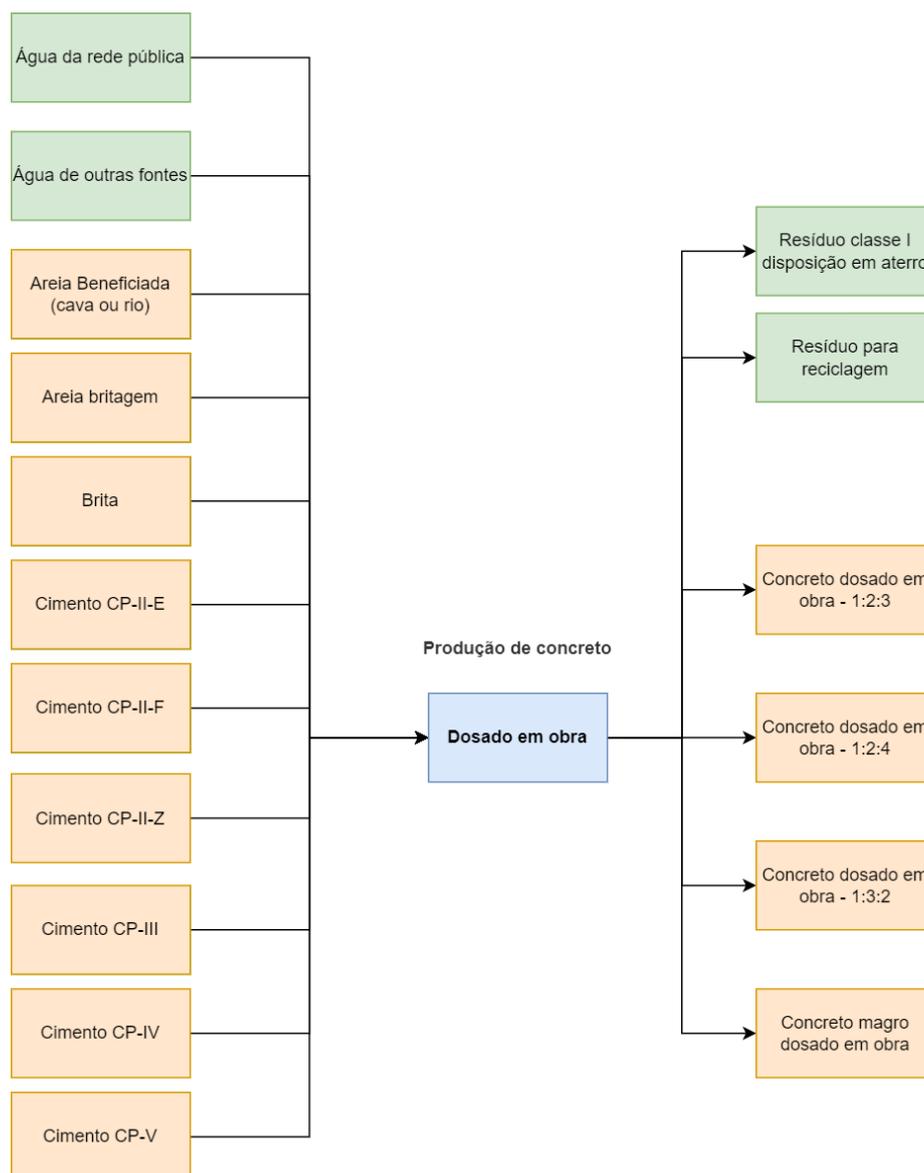


Figura 3 Processo elementar de produção de concreto dosado em obra. Cor verde representa fluxo elementar, cor azul o processo elementar, cor laranja o fluxo de produto.

2.3 Descrição dos processos elementares

No caso do concreto dosado em central, o processo inicia-se com o recebimento das matérias-primas principais (cimento, areia e brita), bem como de outros componentes minoritários, como aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, entre outros. O cimento é armazenado em silos e os agregados são armazenados em pilhas em baias localizadas na central. A preparação do concreto na central começa com a pesagem e dosagem dos materiais, a do cimento em balança própria junto ao silo, enquanto os agregados são transportados por pá carregadeira (ou equipamento similar) até a balança para pesagem. Os agregados podem ser dosados separadamente ou de forma cumulativa. Depois de pesados, os materiais são colocados no caminhão betoneira juntamente com água de dosagem, onde ocorre a mistura. Após a mistura inicial no caminhão betoneira, que ocorre dentro da central, o concreto está pronto para entrega imediata. Parte da água de mistura pode ser adicionada no momento da entrega do concreto na obra. As centrais de concreto dispõem de procedimentos de dosagem otimizados

para atender de forma mais eficiente os parâmetros do concreto pretendido (REIS; MACK-VERGARA; JOHN, 2019). A Figura 4 ilustra a produção de concreto em central.



Figura 4 – Exemplo de concreto dosado em central. Fonte: (PORTAL DO CONCRETO, 2022).

No caso do concreto dosado em obra, a mistura é realizada de forma manual (ex.: através de uma enxada) ou utilizando uma betoneira. O transporte dos materiais é manual que pode ser realizada com carrinho de pedreiro. Ao contrário do concreto dosado em central, o concreto dosado em obra é definido com base em um traço genérico. A água de mistura é adicionada até se obter uma consistência adequada ao uso. A Figura 5 ilustra procedimento de concreto dosado em obra.



Figura 5 – Exemplo de concreto dosado em obra. Fonte: (WE CIVIL ENGINEERS, 2018).

2.4 Fonte dos dados

Os dados relativos ao consumo de matérias-primas para produção de concreto dosado em central foram obtidos junto a um fabricante de concreto usinado no Brasil. Em relação ao concreto dosado em obra, o consumo de materiais foi obtido através de informações coletadas na literatura tais como manuais de obra, relatórios técnicos, entre outros. Para complementação e consolidação dos dados levantados, fontes adicionais de informação que focam no mercado brasileiro foram utilizadas (SILVA et al., 2019).

A distância de transporte das matérias-primas até à central (no caso do concreto dosado em central) ou até à obra (no caso de concreto dosado em obra) devem ser consideradas. No Brasil, a maioria do transporte das matérias-primas ocorre por via rodoviária. As distâncias de transporte das matérias-primas (cimento, areia e brita) utilizadas na produção do concreto dosado em central e em obra foram obtidas através de informações fornecidas por empresa atuante no mercado nacional e do (SNIC, 2013).

Em relação aos consumos de combustíveis e energia elétrica, foram adotados os dados primários levantados no desenvolvimento do inventário do ciclo de vida da indústria de concreto brasileira (SILVA et al., 2018).

2.5 Alocação

Como a produção de concreto não produz coprodutos, não possuem fatores de alocação associados aos processos elementares.

3 Métodos de cálculos

Considerou-se duas abordagens diferentes para o cálculo dos indicadores dos concretos em função do processo produtivo – dosado em obra e dosado em central. Para facilitar a leitura dos relatórios separou-se os dois processos produtivos em dois subcapítulos 3.1 e 3.2.

3.1 Concreto dosado em central

O concreto dosado em central foi dividido em função da resistência característica, visto que afeta o consumo de cimento – resistências mais altas tendem a consumir mais cimento. As classes de resistência adotadas foram de 20 MPa a 40MPa que, de acordo com o relatório da União Europeia, são as mais utilizadas (Figura 6).

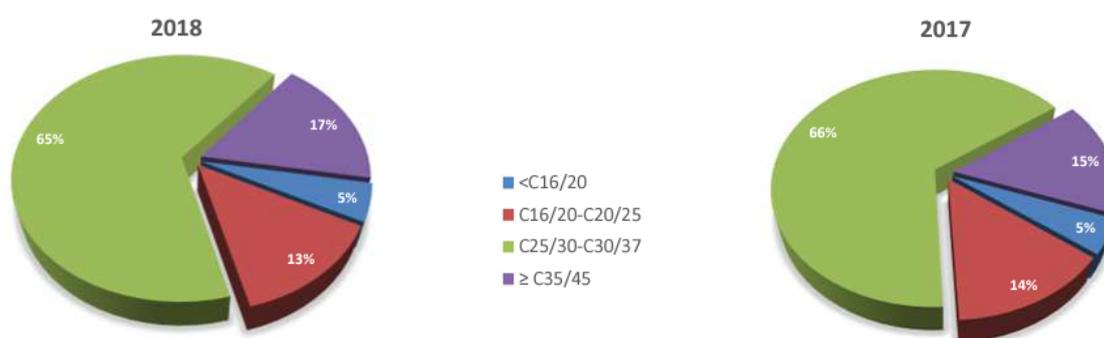


Figura 6 – Market share do concreto usinado produzido pelos membros da Organização Europeia de Concreto Usinado (sigla ERMCO em inglês) em função da classe de resistência. A maioria dos concretos possuem entre 16 e 40 MPa (provetes cilíndricos). Fonte: (ERMCO, 2019)

A Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 apresentam o consumo de cimento, areia, brita e água na produção de concreto usinado, respetivamente, considerando diversas classes de resistência e tipos de cimento.

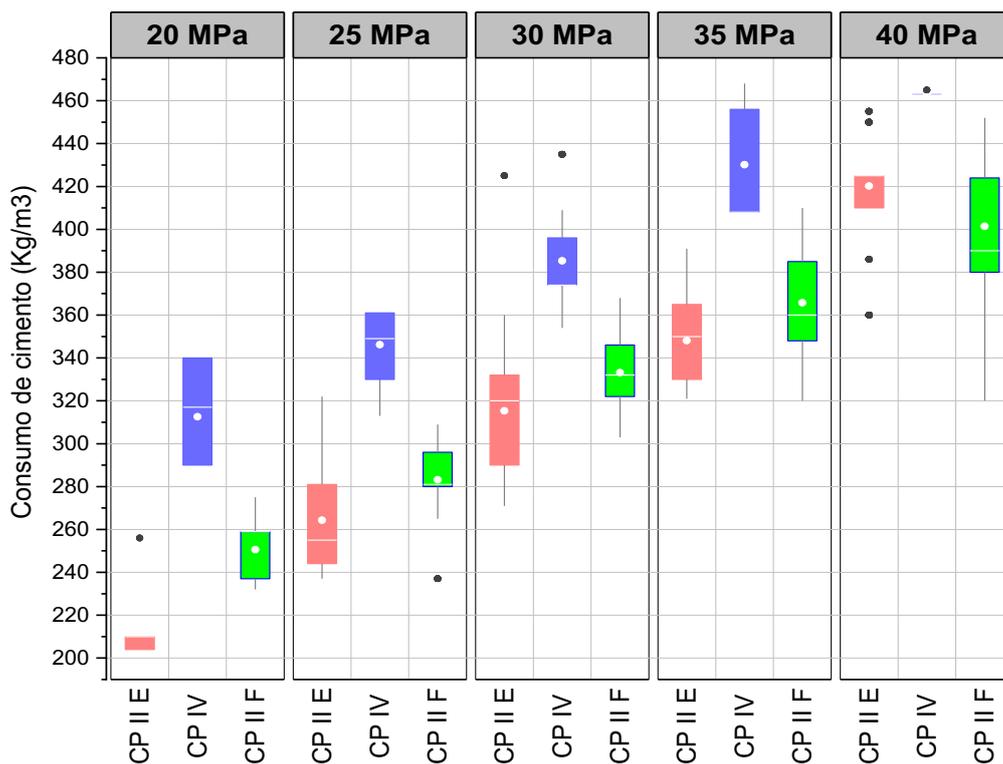


Figura 7 – Consumo de cimento para produzir um metro cúbico de concreto discriminado por diferentes tipos de cimentos e para resistências entre 20 e 40 MPa.

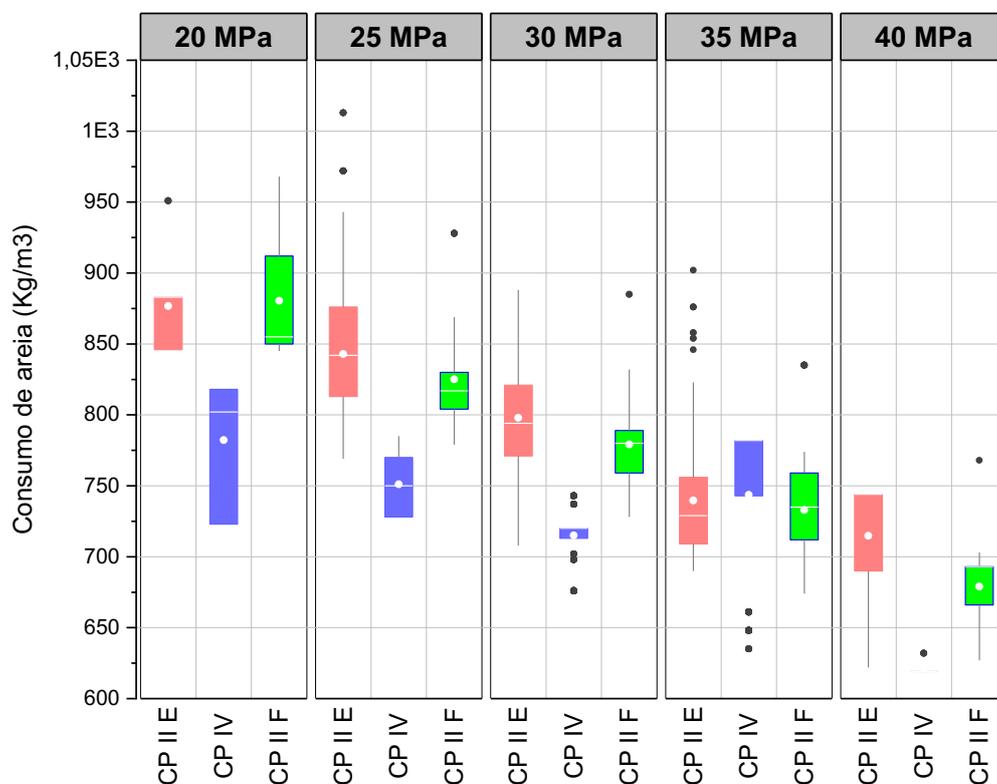


Figura 8 – Consumo de areia para produzir um metro cúbico de concreto discriminado por diferentes tipos de cimentos e para resistências entre 20 e 40 MPa.

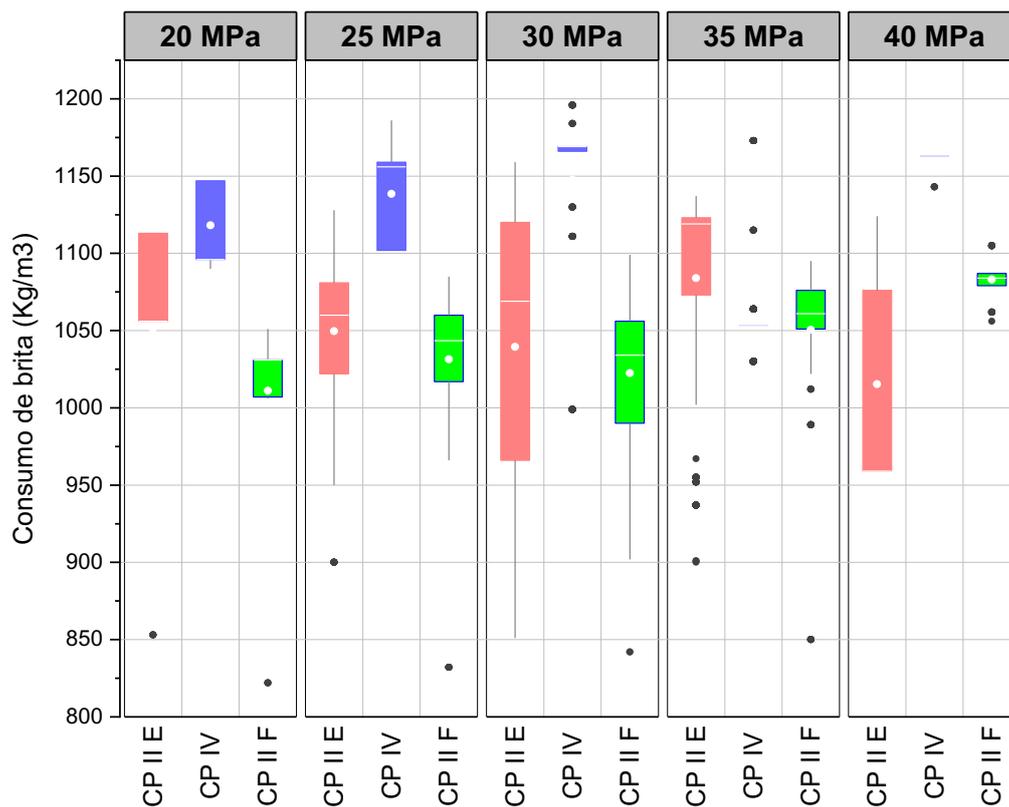


Figura 9 – Consumo de brita para produzir um metro cúbico de concreto discriminado por diferentes tipos de cimentos e para resistências entre 20 e 40 MPa.

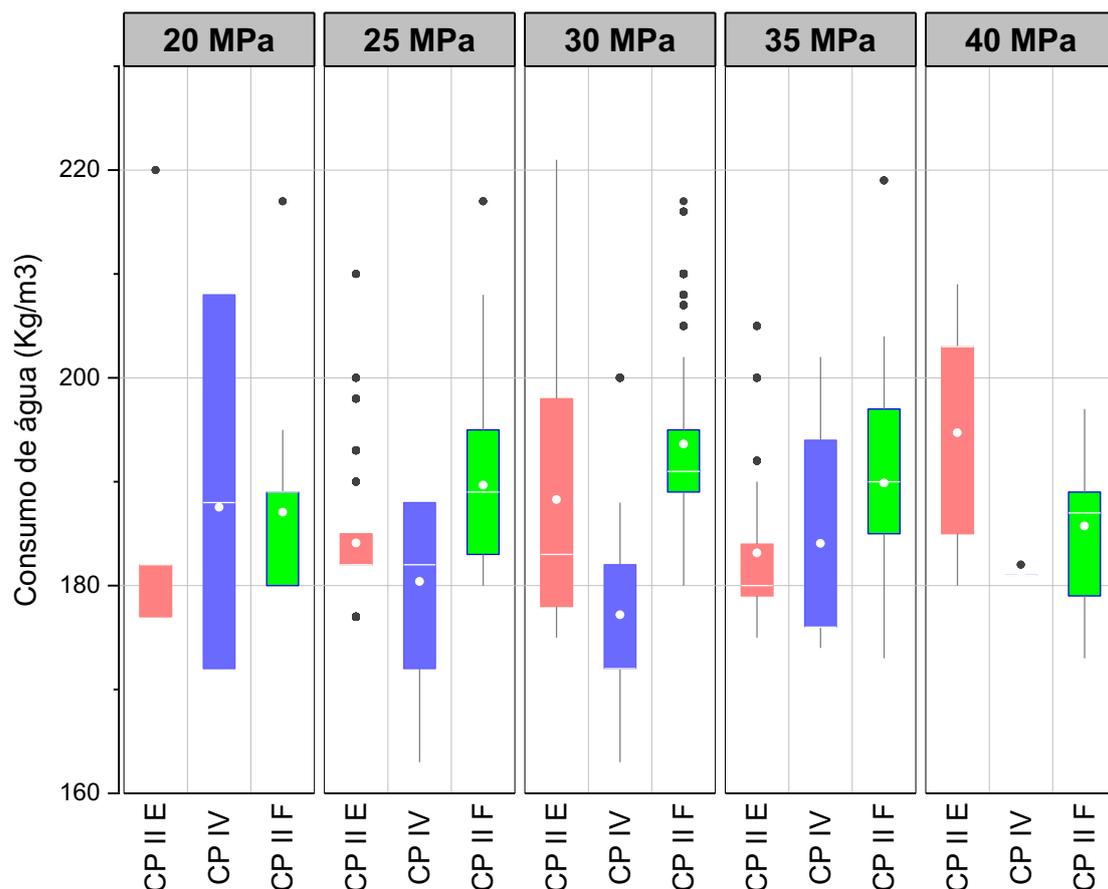


Figura 10 – Consumo de água para produzir um metro cúbico de concreto discriminado por diferentes tipos de cimentos e para resistências entre 20 e 40 MPa.

Verifica-se que o consumo de cimento varia entre 7-20%, areia entre 26-42%, brita 36-49%, água de 7 a 10%. Comparando estes resultados com outras fontes bibliográficas internacionais, por exemplo, declarações ambientais de produto (Tabela 1), verifica-se que as faixas de valores são compatíveis. As incertezas adotadas para o inventário do Sidac incluem a variação dos valores mais prováveis representados pela distribuição estatística. Os *outliers* não foram incluídos.

Tabela 1 – Consumo de matérias-primas para produção de concreto usinado. Dados obtidos em declarações ambientais de produto.

Região	Fck (MPa)	Cimento (%)	Água (%)	Areia (%)	Brita (%)	Densidade (kg/m ³)	Referência
New Zealand	18-50	12	7	82		2340-2430 ²	(ALLIED CONCRETE, 2019)
UK	80	15-25	5-10	20-30	40-50	2385	(DIAMONDCRETE CONCRETE, 2016)
UK	40	5-15	1-15	30-45	25-40	2332	(AGILIA CONCRETE, 2017)
Egypt	17-110	10-20	3-12	25-40	35-50	1750-2400	(SIAC CONCRETE, 2019)
Brazil	30	9-14	5-10	32-38	43-39	–	(VOTORANTIM CONCRETE, 2016)
UK	37	13	6	81		2380	(BRMCA CONCRETE, 2018)

Em relação ao *market share* do consumo de cimento, foi utilizado estudo desenvolvido pelo Me. Pedro Abrão e Prof. Vanderley John (LME-POLI-USP) e do SNIC (Sindicato Nacional da Indústria Cimenteira) sobre consumo de mercado. Porém, optou-se por retirar o CP V, visto que não foram encontradas o uso desse tipo de cimento em concreto usinado. A Tabela 2 apresenta o *market share* utilizado para concreto.

Tabela 2 – Estimativa do *market share* por tipo de cimento. Coluna do lado esquerdo são os dados obtidos no laboratório (LME), coluna central os dados obtidos no relatório do SNIC, coluna do lado direito os dados adotados no Sidac.

Tipo de cimento	Market share do consumo de cimento por tipo		
	LME (POLI-USP, 2022) (%)	(SNIC, 2020) (%)	Adotado no Sidac (%)
CP-II-E	16	63	19,5
CP-II-Z	9		11,5
CP-II-F	35		41,4
CP III	9	9	10,3
CP IV	15	15	17,2
CP V	15	12	–

As informações de transporte das matérias-primas foram obtidas em empresa atuante no mercado brasileiro de concreto dosado em central conforme apresentado na Tabela 3. Como os valores apresentados apenas se referem ao transporte dos materiais até a central de concreto, as mesmas foram multiplicadas por dois para representarem o retorno do caminhão.

² Densidade tende a aumentar com a resistência.

Tabela 3 – Distância de transporte das matérias-primas. Os valores apresentados representam o transporte até à central. O retorno do caminhão não está incluído.

Matéria-prima	Distâncias de transporte		
	Mínima (km)	Mais provável (Km)	Máxima (Km)
Cimento	378	564	886
Areia	200	300	400
Brita	20	40	60

Em relação ao consumo de energia (óleo diesel e eletricidade), foram utilizadas as informações disponibilizadas no relatório (SILVA et al., 2018). O consumo de energia elétrica variou entre 0,9 e 6,1 kWh/m³. O consumo de óleo diesel foi de 3 a 5 l/m³.

3.2 Concreto dosado em obra

Em relação ao concreto dosado em obra, foi utilizado o mesmo *market share* do tipo de cimento apresentado na Tabela 2. Nesse tipo de concreto, o traço é usualmente fornecido em volume. Realizando uma pesquisa no Google, constatou-se que os traços mais citados são 1:2:3, 1:2:4 e 1:3:2, conforme ilustrado na Figura 11.

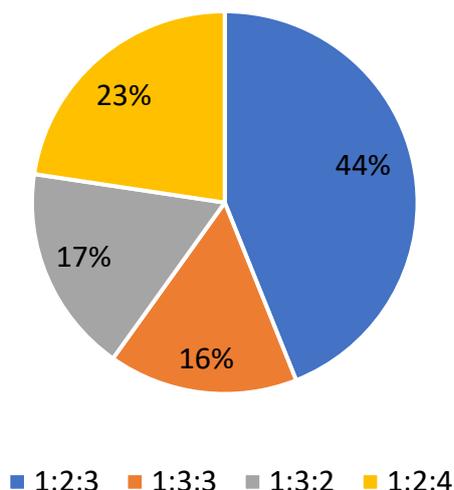


Figura 11 – Traços mais citados no mercado Fonte: Google

Os traços mais citados – 1:2:3, 1:3:2 e 1:2:4 – foram incluídos no Sidac e para cada um deles foi estimado o consumo de materiais. Como o consumo de água não é informado, adotou-se um consumo de 9% para os traços de 1:2:3 e 1:3:2; enquanto para o traço 1:2:4 foi adotado consumo de água de 8%. Esta redução no consumo de água para o último traço foi para compensar os parâmetros necessários à resistência e consistência do concreto, bem como parâmetros normativos incluindo a relação água/cimento (a/c). Foi incluída uma incerteza de 10% para compensar variações no teor umidade da areia. A resistência característica (fck) esperada para este tipo de concreto varia entre 8 MPa e 25 MPa, dependendo da classe de resistência do cimento (32 ou 40 MPa), desvio padrão de dosagem (sd) e da relação água/cimento.

Para os traços mais citados foi estimado o consumo de materiais conforme ilustrado na Tabela 4. Foi igualmente incluído o concreto magro com um traço menos rico em cimento e que não

tem funções estruturais, ao contrário dos demais, que pode ser utilizado, por exemplo, em radier. Neste caso, algumas composições foram adotadas da literatura, tais como 1:4:8 e 1:4:11.

Tabela 4 – Consumo de materiais para os traços mais citados na literatura.

	Cimento			Areia			Brita			Água		
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.
1:2:3	364	372	380	629	643	657	1140	1165	1190	178	196	213
1:3:2	375	383	391	971	992	1014	782	799	817	178	196	213
1:2:4	315	322	329	544	556	569	1315	1344	1375	159	178	196
Magro	135	174	212	615	697	780	1279	1380	1485	153	158	163

Em relação às distâncias de transporte, foram adotadas as distâncias conforme Tabela 6.

Tabela 5 Distância de transporte das matérias-primas. Os valores apresentados representam o transporte até à obra. O retorno do caminhão não está incluído.

Matéria-prima	Distâncias de transporte		
	Mínima (km)	Mais provável (Km)	Máxima (Km)
Cimento	640	800	960
Areia	160	200	240
Brita	64	80	96

3.3 Itens desconsiderados

Os aditivos químicos não foram considerados no inventário do Sidac, pois usualmente representam menos que 0,2% da massa do concreto e, por este motivo, entram na regra do *cut-off*. A geração de resíduos na produção de concreto não foi incluída devido à ausência de dados para ambos os tipos de concreto – dosados em central e em obra.

4 Inventário dos processos elementares

As tabelas seguintes apresentam o inventário dos processos elementares na produção de concreto dosado em central e em obra. No caso do concreto dosado em obra, o inventário do processo elementar está dividido em função da resistência característica (fck) para corpos de prova cilíndricos, enquanto no dosado em obra os dados estão divididos em função do traço.

Tabela 6 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em central com fck 20 MPa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	190	10	-	-
Areia processada	kg	845	75	300	100
Brita	Kg	1060	65	80	40
Cimento – CP IV	kg	44,8	11,2	564	186
Cimento – CP III	kg	26,9	6,7	564	186
Cimento – CP II F	kg	107,6	26,9	564	186
Cimento – CP II Z	kg	29,9	7,5	564	186
Cimento – CP II E	kg	50,8	12,7	564	186
Óleo diesel	L	4	1	-	-
Eletricidade da rede pública	kWh	2,7	1,3	-	-
Saídas					
Concreto Fck 20MPa	m3	2355	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 7 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em central com fck 25 MPa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	185	10	-	-
Areia processada	kg	808	70	300	100
Brita	Kg	1073	70	80	40
Cimento – CP IV	kg	51,4	9,5	564	186
Cimento – CP III	kg	30,8	5,7	564	186
Cimento – CP II F	kg	123,3	22,8	564	186
Cimento – CP II Z	kg	34,3	6,3	564	186
Cimento – CP II E	kg	58,2	10,7	564	186
Óleo diesel	L	4	1	-	-
Eletricidade da rede pública	kWh	2,7	1,3	-	-
Saídas					
Concreto Fck 25MPa	m3	2364	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 8 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em central com fck 30 MPa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	185	15	-	-
Areia processada	kg	765	55	300	100
Brita	Kg	1070	100	80	40
Cimento – CP IV	kg	58,6	9,5	564	186
Cimento – CP III	kg	35,2	5,7	564	186
Cimento – CP II F	kg	140,7	22,8	564	186
Cimento – CP II Z	kg	39,1	6,3	564	186
Cimento – CP II E	kg	66,4	10,7	564	186
Óleo diesel	L	4	1	-	-
Eletricidade da rede pública	kWh	2,7	1,3	-	-
Saídas					
Concreto Fck 30MPa	m3	2360	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 9 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em central com fck 35 MPa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	185	10	-	-
Areia processada	kg	740	50	300	100
Brita	Kg	1065	60	80	40
Cimento – CP IV	kg	66,4	9,5	564	186
Cimento – CP III	kg	39,8	5,7	564	186
Cimento – CP II F	kg	159,3	22,8	564	186
Cimento – CP II Z	kg	44,3	6,3	564	186
Cimento – CP II E	kg	75,2	10,7	564	186
Óleo diesel	L	4	1	-	-
Eletricidade da rede pública	kWh	2,7	1,3	-	-
Saídas					
Concreto Fck 35MPa	m3	2375	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 10 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em central com fck 40 MPa

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	185	10	-	-
Areia processada	kg	680	60	300	100
Brita	Kg	1085	80	80	40
Cimento – CP IV	kg	72,4	7,8	564	186
Cimento – CP III	kg	43,4	4,7	564	186
Cimento – CP II F	kg	173,8	18,6	564	186
Cimento – CP II Z	kg	48,3	5,2	564	186
Cimento – CP II E	kg	82,1	8,8	564	186
Óleo diesel	L	4	1	-	-
Eletricidade da rede pública	kWh	2,7	1,3	-	-
Saídas					
Concreto Fck 40MPa	m3	2370	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 11 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em obra com traço 1:2:3. Fck esperada varia entre 10 MPa e 25 Mpa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	196	17	-	-
Areia processada	kg	643	14	300	100
Brita	Kg	1165	25	80	40
Cimento – CP IV	kg	64,1	1,6	564	186
Cimento – CP III	kg	38,5	0,8	564	186
Cimento – CP II F	kg	153,9	3,3	564	186
Cimento – CP II Z	kg	42,8	0,9	564	186
Cimento – CP II E	kg	72,7	1,6	564	186
Saídas					
Concreto traço 1:2:3	m3	2376	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 12 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em obra com traço 1:3:2. Fck esperada varia entre 8 MPa e 23 Mpa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	196	17	-	-
Areia processada	kg	992	22	300	100
Brita	Kg	799	18	80	40
Cimento – CP IV	kg	66,0	1,6	564	186
Cimento – CP III	kg	39,6	0,8	564	186
Cimento – CP II F	kg	158,5	3,3	564	186
Cimento – CP II Z	kg	44,0	0,9	564	186
Cimento – CP II E	kg	74,8	1,6	564	186
Saídas					
Concreto traço 1:3:2	m3	2370	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 13 – Inventário do processo elementar de produção de concreto dosado em obra com traço 1:2:4. Fck esperada varia entre 8 MPa e 23 Mpa.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	178	18	-	-
Areia processada	kg	556	13	300	100
Brita	Kg	1344	31	80	40
Cimento – CP IV	kg	55,5	1,2	564	186
Cimento – CP III	kg	33,3	0,7	564	186
Cimento – CP II F	kg	133,2	2,9	564	186
Cimento – CP II Z	kg	37,0	0,8	564	186
Cimento – CP II E	kg	62,9	1,4	564	186
Saídas					
Concreto traço 1:2:4	m3	2400	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

Tabela 14 – Inventário do processo elementar de produção de concreto magro dosado em obra

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte ^a	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Dist. média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Água da rede pública	L	158	5	-	-
Areia processada	kg	697	83	300	100
Brita	Kg	1380	105	80	40
Cimento – CP IV	kg	30,0	6,6	564	186
Cimento – CP III	kg	18,0	3,9	564	186
Cimento – CP II F	kg	72,0	15,7	564	186
Cimento – CP II Z	kg	20,0	4,4	564	186
Cimento – CP II E	kg	34,0	7,4	564	186
Saídas					
Concreto magro	m3	2409	-	-	-

^a Veículo de transporte considerado: carreta de 5 eixos. Distância de ida e volta.

5 Análise dos indicadores

Os inventários dos processos elementares foram cadastrados no Sidac. A Figura 12 apresenta os resultados das emissões de CO₂ e a Figura 13 a demanda de energia primária de concreto produzido em central. Em ambos os casos os resultados são apresentados em função da resistência característica (fck) do concreto considerando a fronteira do sistema do berço ao portão. Em relação ao concreto dosado em obra a Figura 14 representa as emissões de CO₂ para os traços adotados na metodologia e a Figura 15 a demanda de energia primária.

Comparando com alguns dados da literatura, verifica-se que a faixa encontrada para cada fluxo de produto encontra-se dentro do esperado (HAMMOND; JONES, 2011).

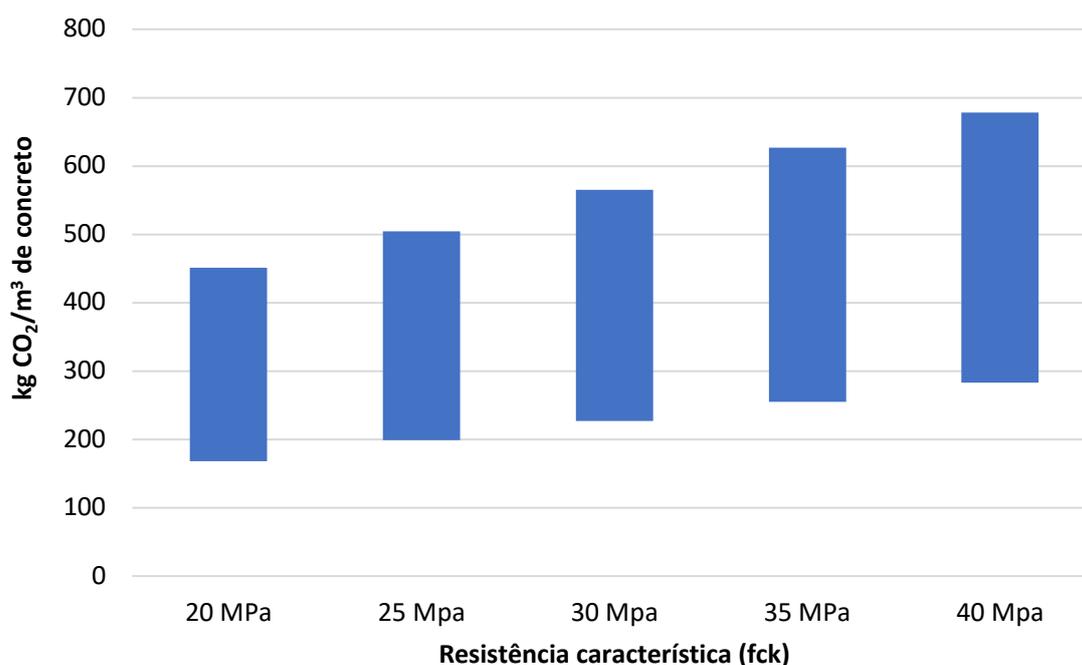


Figura 12 Emissões de CO₂ fóssil na produção de concreto dosado em central (kgCO₂/m³ concreto).

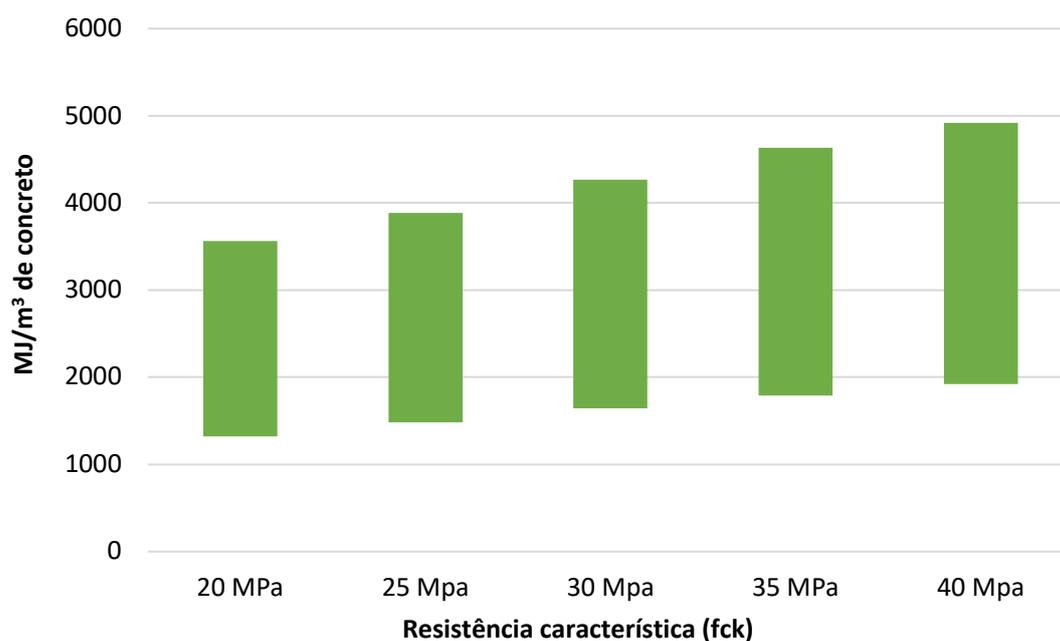


Figura 13 Demanda de energia primária concreto *dosado em central* (MJ/m³ de concreto).

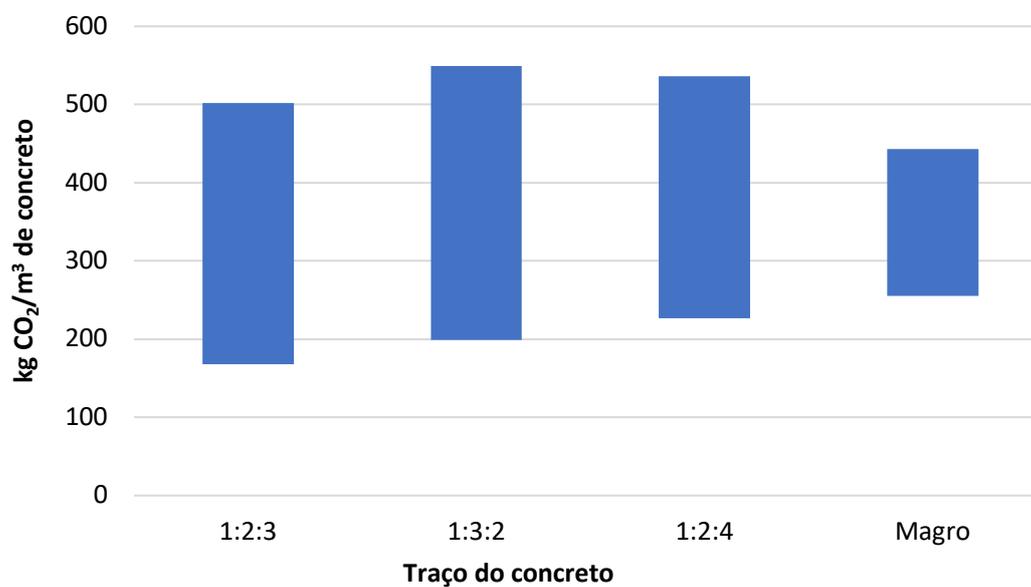


Figura 14 Emissões de CO₂ fóssil na produção de *concreto dosado em obra* (kg CO₂/m³ concreto).

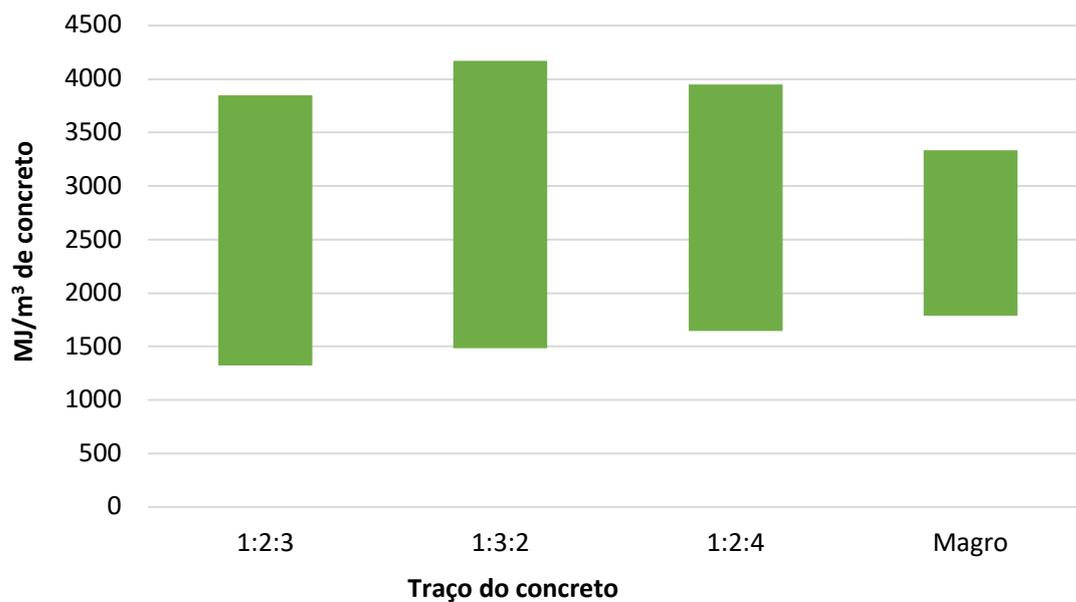


Figura 15 Demanda de energia primária concreto *dosado em obra* (MJ/m³ de concreto).

6 Referências

ABNT-NBR 7212. **Concreto dosado em central - preparo, fornecimento e controle**, 2021.

AGILIA CONCRETE. **Environmental Product Declaration. Agilia Ready-mix concrete. Aggregate Industries UK Limited**. UK: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., 2017.

ALLIED CONCRETE. **Environmental Product Declaration. Ready mixed concrete using Holcim supplied cement** Allied Concrete Limited, , 2019.

BRMCA CONCRETE. **Environmental Product Declaration. UK manufactured generic ready-mix concrete. Produced by members of the British Ready-Mixed Concrete Associations (BRMCA) part of the Mineral Products Association (MPA)**. UK: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., 2018.

DIAMONDCRETE CONCRETE. **Environmental Product Declaration. Diamondcrete R-Ready-mixed concrete. Aggregate Industries UK Limited**. UK: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., 2016.

ERMCO. **Ready-mixed concrete industry statistics year 2018**. Brussels, Belgium: European Ready-Mixed Concrete Organization., 2019.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Embodied carbon: the inventory of carbon and energy (ICE)**. [s.l.] BSRIA, 2011.

PCA. **How Concrete is Made** PCA - America's Cement Manufactures, 2022. Disponível em: <<https://www.cement.org/cement-concrete/how-concrete-is-made>>

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto Dosado em Central**. Disponível em: <<https://www.portaldoconcreto.com.br/concreto-dosado-em-central>>. Acesso em: 2 abr. 2022.

REIS, D.; MACK-VERGARA, Y.; JOHN, V. M. Material flow analysis and material use efficiency of Brazil's mortar and concrete supply chain. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 6, p. 1396–1409, dez. 2019.

SIAC CONCRETE. **Environmental Product Declaration Ready-Mix Concrete. SIAC Holding Building Materials**. Egypt: NSF Certification, LLC, 2019.

SILVA, F. et al. **Life Cycle Inventories of Cement, Concrete and Related Industries - Brazil**. [s.l.] SRI and Ecoinvent, 2018.

SILVA, F. B. et al. Variability of environmental impact of ready-mix concrete: a case study for Brazil. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 323, n. 1, p. 012132, ago. 2019.

SNIC. **Relatório Anual**. São Paulo. Brazil: [s.n.].

VOTORANTIM CONCRETE. **Environmental Product Declaration. Votorantim Cimentos**. Brazil: Quantis, 2016.

WE CIVIL ENGINEERS. **Difference between Ready mixed concrete and Normal concrete** we civil engineers, 2018. Disponível em: <<https://wecivilengineers.wordpress.com/2018/05/14/difference-between-ready-mixed-concrete-and-normal-concrete/>>. Acesso em: 2 abr. 2022