



sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados

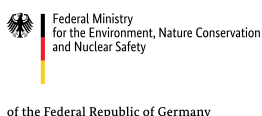
AGREGADO RECICLADO



Relatório de coleta de dados

AGREGADO RECICLADO

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 DE AGREGADO RECICLADO¹

Me. Lidiane Santana Oliveira (USP): levantamento de dados, análise dos dados, inserção dos dados no sistema, relatório

Dr. Marco Quattrone (USP): análise dos dados

Dr. Vanderley John (USP): análise dos dados, supervisão

Como citar este documento:

OLIVEIRA, L. S.; JOHN, V. M. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: agregado reciclado. 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 do processo elementar	1
2.1	Descrição do produto	1
2.2	Fluxograma do processo elementar	2
2.3	Descrição do processo elementar	3
2.4	Fontes de dados.....	3
2.5	Alocação	4
3	Métodos de cálculo e considerações.....	4
3.1	Considerações gerais	4
3.2	Métodos de cálculo	5
3.3	Itens desconsiderados	6
4	Inventário do processo	6
5	Análise dos indicadores	6
6	Considerações finais	7
7	Referências	7
8	Apêndice - Verificação das informações disponíveis nas referências consultadas	9

1 Introdução

O objetivo desse relatório é apresentar os procedimentos adotados na coleta e no processamento dos dados genéricos de inventário de ciclo de vida do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição (RCD), realizada com base em literatura nacional. Assim, aqui são apresentados o fluxograma do processo elementar da produção do agregado reciclado, considerando a fronteira do portão ao portão (*gate to gate*), dados qualitativos e quantitativos (fluxos de entrada e saída) que descrevem esse processo, bem como todas as conversões realizadas para adequação dos dados ao Sidac.

2 Elaboração do processo elementar

2.1 Descrição do produto

De acordo com a ABNT NBR 15116 (ABNT, 2021), o agregado reciclado é um material granular resultante do beneficiamento de resíduos de construção classe A, que são os resíduos de construção que podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados (Resolução CONAMA nº307 (CONAMA, 2002)), e devem possuir características técnicas que permitam sua aplicação em obras de engenharia. Ainda de acordo com a referida norma, o agregado reciclado pode ser:

- Cimentício (ARCI) – composto majoritariamente por materiais cimentícios; tais como concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto, entre outros; e que podem possuir baixos teores de cerâmica vermelha;
- De concreto (ARCO) – composto majoritariamente por resíduos de concreto;
- Misto (ARM) – composto por uma mistura de materiais cimentícios (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto, entre outros) e materiais cerâmicos (blocos e telhas de cerâmica vermelha, entre outros).

A Figura 1 ilustra os agregados reciclados mistos (compostos com cerâmica vermelha) e cinzas (composto com materiais cimentícios).



Figura 1 – Agregados reciclados mistos (duas primeiras fotos) e cinza com materiais cimentícios (última foto). Fonte: Pesquisa Setorial ABRECON 2020 (ANGULO; OLIVEIRA; MACHADO, 2021)

O agregado reciclado é utilizado como matéria-prima principalmente para pavimentação, mas também para uma série de materiais utilizados na construção civil, tais como concreto dosado em obra, artefatos pré-fabricados de concreto (por exemplo, blocos de concreto de alvenaria e

pisos intertravados), entre outros (ELAINE et al., 2020). A Figura 2 ilustra possíveis usos do agregado reciclado.



(a) Uso em pavimentação, nas camadas de base, sub-base ou reforço do subleito.



(b) Camada para assentamento de pavimento intertravado.



(c) Execução de passeios públicos.



(d) Execução de sarjetas e guias em concreto moldado in loco.



(e) Fabricação de blocos de vedação de concreto.

Figura 2 – Exemplos de aplicações do agregado reciclado. Fonte: MARE – Manual de Aplicação do Agregado Reciclado da ABRECON (ELAINE et al., 2020)

2.2 Fluxograma do processo elementar

A Figura 3 apresenta o fluxograma do processo elementar da produção de agregado reciclado.

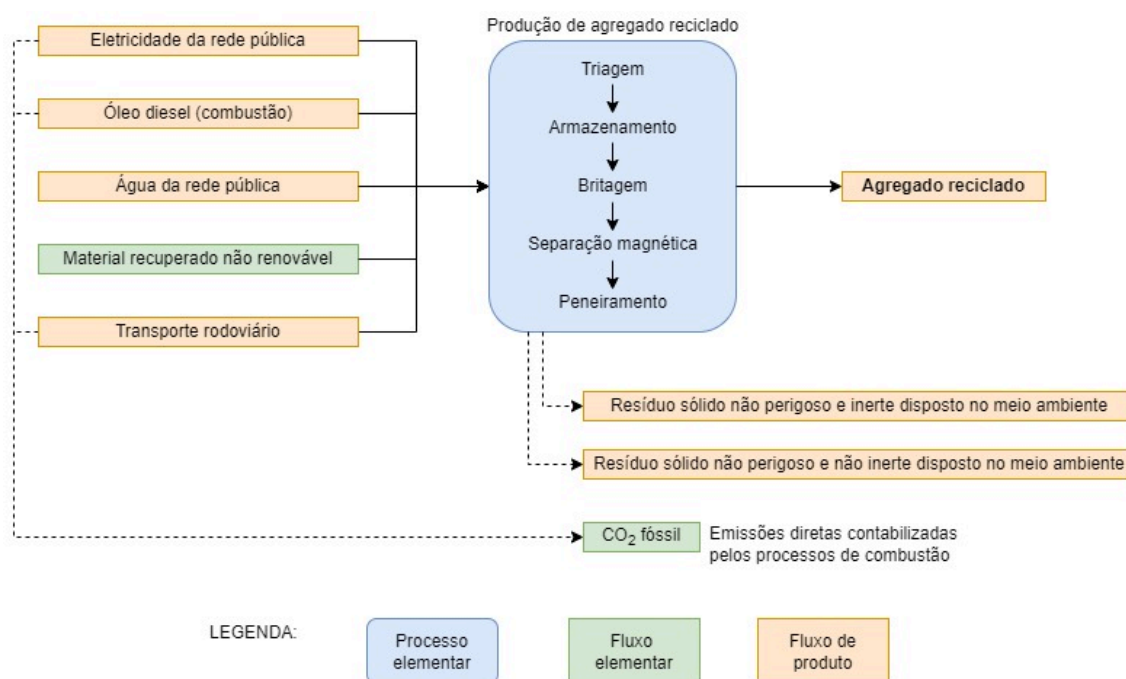


Figura 3 – Processo elementar da produção do agregado reciclado.

2.3 Descrição do processo elementar

O processo de produção do agregado reciclado se inicia com o recebimento dos resíduos de construção e demolição na usina de reciclagem. Em seguida, o RCD é triado, onde é separado o resíduo de construção classe A (ex.: concreto, argamassa, cerâmica vermelha) dos demais tipos de resíduos (ex.: madeira, plástico, papelão) (GRABASCK, 2016). Após a triagem, o material separado é estocado temporariamente para posterior processamento (classe A) ou encaminhamento para destino adequado (outros tipos), reciclagem ou aterro (BARRETO, 2014).

O resíduo é encaminhado para o alimentador do britador. Para reduzir a quantidade de poeira gerada durante sua trituração, o RCD pode ser levemente umedecido por aspersão de água (OLIVEIRA et al., 2013). Após ser britado, esse material é transferido para uma esteira rolante onde passa por um separador magnético, que retira os resíduos metálicos remanescentes (PAZ, 2020). Por fim, o material cominuído é separado em diferentes granulometrias por um conjunto de peneiras e transportadores de correias (ANGULO; OLIVEIRA; MACHADO, 2021). A depender do tamanho da planta e do tamanho de agregado que se deseja produzir, parte do material pode ser novamente processada (QUATTRONE; ANGULO; JOHN, 2014). A granulometria do agregado reciclado produzido irá depender da demanda local, podendo existir mercado para todas as frações produzidas (graúdas e miúdas) ou apenas para as graúdas (frações miúdas se tornam rejeito). O agregado reciclado fica estocado na usina de reciclagem até encaminhamento ao consumidor, sendo o resíduo/rejeito gerado encaminhado a aterro.

2.4 Fontes de dados

Os dados relativos à produção de agregado reciclado de RCD foram levantados em referências bibliográficas nacionais que apresentavam dados de consumo dos insumos necessários para sua produção. Os dados priorizados foram os consumos de insumos energéticos e de material

recuperado não renovável (o RCD), mas também foram levantados dados de consumo de água e geração de resíduos/rejeitos quando esses estavam disponíveis.

Poucas foram as referências encontradas com dados de ciclo de vida da produção de agregado reciclado que apresentasse dado primário referente ao Brasil. As referências consideradas apresentam dados de usinas localizadas apenas em cidades das regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Entre as referências levantadas, não foram consideradas aquelas que utilizaram informações de base de dados para compor seus inventários.

2.5 Alocação

O processo elementar de produção do agregado reciclado produz apenas agregado reciclado, mas que pode ter granulometria variada, como também gerar finos em seu processamento. Esses finos podem ter mercado ou não, ou seja, podem ser utilizados como agregado reciclado ou serem encaminhados para aterro. A alocação foi realizada considerando apenas a parcela utilizada como agregado (material útil), não a quantidade total de material processado.

3 Métodos de cálculo e considerações

3.1 Considerações gerais

Apenas informações referentes a usinas fixas foram consideradas. Entre as publicações levantadas, somente uma apresentava dados relativos ao processamento de usina móvel. Além disso, o processo produtivo é diferente, no caso da usina móvel é a própria usina que é transportada e geralmente é utilizado combustível como fonte energética.

Os dados levantados em literatura compõem uma amostra de 08 dados, que não é estatisticamente representativa em escala nacional. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON), o Brasil possui aproximadamente 360 unidades de reciclagem, estando 87% localizadas nas regiões Sul e Sudeste (ANGULO; OLIVEIRA; MACHADO, 2021). Assim, embora os dados sejam pouco representativos estatisticamente, os dados considerados no Sidac referem-se a usinas localizadas nas regiões onde há maior concentração de processamento de agregado reciclado no país.

Entre os estudos levantados, apenas um mencionou o tipo de agregado reciclado processado (misto, ARM de acordo com a ABNT NBR 15116 (ABNT, 2021)), os demais não classificam o tipo de agregado reciclado produzido. Por esse motivo, os dados do Sidac não fazem distinção do tipo de agregado reciclado, englobando todos. Além disso, como algumas referências não especificaram quais as granulometrias geradas ou não indicaram a geração de rejeitos, não foi considerada a geração de rejeito no processo, apenas a de resíduos.

Em relação ao consumo energético, apesar de possuímos poucos dados, algumas exclusões foram necessárias. Entre as quantidades de eletricidade levantadas, um dado se apresentou muito acima dos demais e, por isso, foi retirado da amostra. Já em relação ao consumo de óleo diesel, dois dados consideravam o consumo de combustível no transporte do resíduo até a usina, etapa que está fora da fronteira do sistema.

3.2 Métodos de cálculo

O cálculo das quantidades de cada fluxo para cada referência foi realizado dividindo o valor do fluxo pela quantidade de agregado reciclado produzido, obtendo-se os fluxos por kg de agregado. Todos os fluxos materiais levantados (entradas e saídas) foram informados em massa, não tendo sido necessária qualquer conversão (no máximo de tonelada para quilograma).

No caso dos insumos energéticos, uma das referências informou esse dado em Mega Joule (MJ), tendo sido necessário converter seus dados para quilowatt-hora (kWh), no caso da eletricidade, e para litro, no caso do óleo diesel. Para essas conversões foram adotados os fatores utilizados na própria referência; que para eletricidade foi de 3,25 MJ/kWh, e para o óleo diesel foi de 44,25 GJ/t. Ainda para o óleo diesel foi adotada a densidade de 0,825 kg/litro, informação também presente na própria referência.

Para calcular os fluxos inseridos no Sidac, embora a amostra não seja estatisticamente representativa, como a tecnologia empregada para o processamento do agregado reciclado é similar, foram calculados a média ($\bar{x}$) e o desvio padrão (dp) amostral de todos os fluxos, conforme indicado nas equações abaixo.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$dp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

No caso dos resíduos, como o processo pode gerar dois tipos (inerte e não inerte, ambos não perigosos), para poder fechar o balanço de massa (material recuperado = agregado reciclado + resíduos), foi necessário considerar a proporção de cada tipo a partir de seus valores médios. Para isso, as quantidades de cada tipo resíduo inseridas no Sidac foram calculadas a partir das equações dadas a seguir, sendo i referente às parcelas de cada tipo de resíduo (inerte e não inerte).

$$m_{\text{resíduo } i} = (m_{\text{RCD}} - m_{\text{AR}}) \times \%_{\text{resíduo } i}$$

$$\%_{\text{resíduo } i=\text{inerte}} = \frac{m_{\text{inerte}}}{m_{\text{inerte}} + m_{\text{não inerte}}}; \%_{\text{resíduo } i=\text{não inerte}} = \frac{m_{\text{não inerte}}}{m_{\text{inerte}} + m_{\text{não inerte}}}$$

Onde:

$m_{\text{resíduo } i}$: massa de resíduo calculada e inserida no Sidac referente às parcelas inerte e não inerte, ambos não perigosos;

m_{RCD} : massa média de material recuperado não renovável inserida no Sidac levantada em literatura;

m_{AR} : massa de agregado reciclado inserida no Sidac (unidade declarada = 1 kg);

$\%_{\text{resíduo } i}$: porcentagem referente ao resíduo i , que pode ser inerte ou não inerte, calculada a partir da quantidade média de cada tipo de resíduo levantada em literatura;

m_{inerte} : massa média de resíduo inerte e não perigoso levantada em literatura;

$m_{\text{não inerte}}$: massa média de resíduo não inerte e não perigoso levantada em literatura.

3.3 Itens desconsiderados

O seguinte item foi desconsiderado por se enquadrar nas regras de corte (*cut-off*) definidas para o Sidac: materiais auxiliares, tais como óleos, graxas e peças de reposição do maquinário industrial.

4 Inventário do processo

A tabela a seguir apresenta o inventário do processo elementares inserido no Sidac.

Tabela 1 – Inventário do processo elementar para a produção de 1 kg de agregado reciclado.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário	
		Qtde. (média)	Desvio padrão
Entradas			
Material recuperado não renovável	kg	1,1905	0,1327
Eletricidade da rede pública	kWh	0,00401	0,00285
Óleo diesel (combustão)	L	0,00021	0,00007
Água da rede pública	m ³	0,00041	0,00055
Saídas			
Agregado reciclado	kg	1	-
Vapor d'água	m ³	0,00041	0,00055
Resíduo sólido não perigoso e inerte para disposição final	kg	0,1357	0,1475
Resíduo sólido não perigoso e não inerte para disposição final	kg	0,0548	0,0255

5 Análise dos indicadores

Os indicadores obtidos no Sidac foram comparados aos valores de indicadores encontrados na literatura. Observa-se na Tabela 2 que entre as referências nacionais que foram utilizadas na coleta de dados para o Sidac, nem todas apresentam os indicadores de emissão de CO₂ e de demanda de energia primária.

Tabela 2 – Identificação de quais referências utilizadas no inventário informam ou não os indicadores de emissão de CO₂ e demanda de energia primária.

Código	Emissão de CO ₂	Energia primária	Referência
Ref.1	Não tem	Não tem	(IPT, 2017)
Ref.2	Sim	Sim	(OLIVEIRA et al., 2013)
Ref.3	Sim	Sim	(PAZ, 2020) ¹
Ref.4	Sim	Não tem	(OCHARÁN; LIMA; LOVÓN, 2019) ¹
Ref.5	Não	Não	(BARRETO, 2014)
Ref.7	Sim	Sim	(QUATTRONE; ANGULO; JOHN, 2014)

¹ Dados consideram consumo de combustível utilizado no transporte, por isso não considerado para comparação na Figura 4.

A Figura 4 apresenta um comparativo entre os indicadores calculados pelo Sidac e os indicadores apresentados nas referências consideradas. Os valores encontram-se dentro da faixa do Sidac, com exceção de um valor que está acima do limite máximo da faixa, o qual considera que a parte fina gerada no processamento se torna resíduo por não ter mercado (impactos alocados apenas na fração útil). No entanto, como essa referência não apresenta o fluxo de materiais, não foi possível comparar a proporção entre agregado produzido e finos gerados com essa relação das

demais referências. Não estão apresentados indicadores que consideram o transporte dos resíduos no consumo de combustível.

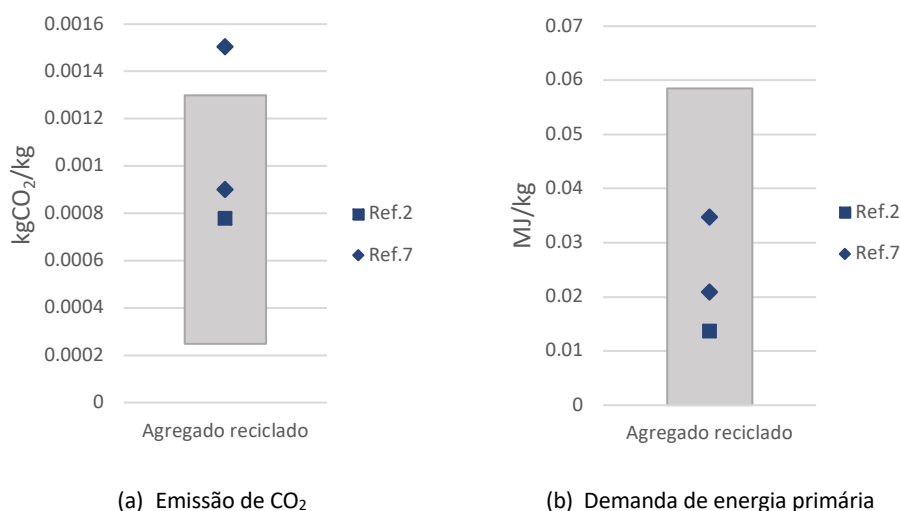


Figura 4 – Comparação entre os indicadores de (a) emissão de CO₂ e (b) demanda de energia primária calculados pelo Sidac e apresentados em literatura nacional referentes ao processamento de agregado reciclado.

6 Considerações finais

O presente trabalho elaborou inventário de ciclo de vida para o agregado reciclado de RCD consumidos no Brasil, com base em dados extraídos da literatura nacional, com o objetivo de calcular os indicadores de demanda de energia primária e emissão de CO₂, do berço ao portão para inserção no Sidac. Embora tenham sido obtidos poucos dados em comparação com a quantidade de usinas que atua no país, buscou-se fazer o máximo uso possível das informações disponíveis para estimar uma faixa de valores para cada um dos itens que compõem o inventário do processo produtivo do agregado reciclado.

Sendo assim, recomenda-se que o setor de agregado reciclado faça uma coleta de dados primários setorial, junto às usinas brasileiras, contemplando o consumo de resíduos de construção e demolição, energia elétrica e combustíveis; complementando como outros itens que poderão compor outros indicadores em futura atualização do Sidac, como consumo de água e geração de resíduos/rejeitos. A realização de uma coleta de dados padronizada e em grande escala permitirá a revisão dos inventários inseridos por ora no Sidac, com base em informações verificadas e confiáveis, e produzirá um *benchmark* efetivo de desempenho ambiental para os agregados reciclados utilizados pela construção civil brasileira.

7 Referências

ABNT. **ABNT NBR 15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ANGULO, S. C.; OLIVEIRA, L. S.; MACHADO, L. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: Epusp, 2021.

BARRETO, L. S. S. **Avaliação ambiental e econômica de ciclo de vida da gestão de resíduos de construção e demolição**. Dissertação de Mestrado—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

CONAMA. 307. Resolução Nº 307. . 5 jul. 2002.

ELAINE, V. et al. **MARE - Manual de Aplicação de Agregado Reciclado**. [s.l.] ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, 2020.

GRABASCK, J. R. **Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado : estudo de caso no RS**. Dissertação de Mestrado—São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), 2016.

IPT. **Coleta de dados primários junto à uma usina de reciclagem localizada na cidade de São Paulo** Instituto de Pesquisas Tecnológicas, , 2017.

OCHARÁN, J. S.; LIMA, F. M. S.; LOVÓN, G. C. **Avaliação comparativa ambiental da produção de agregados naturais e reciclados para construção civil**. . In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA. Belo Horizonte-MG: 2019. Disponível em:

<<https://www.artigos.entmme.org/download/2019/OCHAR%C3%81N,%20J.S.,%20LIMA,%20F.%20M.%20S.,%20LOV%C3%93N,%20G.%20C.%20-%20AVALIA%C3%87%C3%83O%20COMPARATIVA%20AMBIENTAL%20DA%20PRODU%C3%87%C3%83O%20DE%20AGREGADOS%20NATURAIS%20E%20RECICLADOS%20PARA%20A%20CONSTRU%C3%87%C3%83O%20CIVIL.pdf>>

OLIVEIRA, L. S. et al. Emissões de CO2 dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD): dois estudos de caso. **3º Encontro Nacional Sobre Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil - ENARC**, p. 15, 2013.

PAZ, C. F. **Inventário do ciclo de vida aplicado à produção de agregados a partir de resíduos de construção e demolição**. Dissertação de Mestrado—Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

QUATTRONE, M.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Energy and CO2 from high performance recycled aggregate production. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 90, p. 21–33, 2014.

8 Apêndice - Verificação das informações disponíveis nas referências consultadas

Informações que devem ser verificadas	1	2	3	4	5	6*	7
Identificação da publicação (autores, ano, local)	S	S	S	S	S	S	S
Período a que os dados se referem	2017	2013	2020	2019	2014	2017	2014
Local (região, cidade, estado) a que os dados se referem	São Paulo/SP	São Paulo/SP	Cascavel/PR	Jundiaí/SP	Florianópolis/SC	São Paulo/SP	Brasil
Fluxograma do processo	N	S	S	S	S	S	S
Detalhamento do processo elementar (identificação do processo produtivo)	N	S	S	S	N	S	S
Processo elementar possui diferencial (fluxos ou etapas específicas)	N	N	N	N	N	N	N
Indica a representatividade dos dados	S	S	S	S	N	S	S
Adota algum critério de corte	N	N	N	N	S	N	N
Referência apresenta dados primários nacionais	S	S	S	S	S	N	N
Referência apresenta dados estimados nacionais	NA	S	N	N	S	S	S
Especificadas as incertezas dos fluxos	N	N	N	N	N	N	N
Possui fluxos de insumos materiais	S	N	S	S	S	S	NA
Possui fluxos de insumos energéticos	S	S	S	S	S	S	S
Possui fluxos de água	N	N	S	S	N	S	N
Possui fluxos de geração de resíduos	S	N	S	S	S	S	N
Indica unidade de referência dos fluxos	S	S	S	S	S	S	S
Unidade de referência é a mesma da unidade declarada adotada para o Sidac	S	N	N	S	N	N	N
Especificados os fatores para conversão de unidades dos fluxos (ex.: densidades)	NA	S	S	N	N	N	S
Necessário adotar fatores de conversão de unidades não especificados na publicação	NA	N	N	N	N	N	N
Critério de alocação especificado na publicação	N	N	S	N	S	N	S
Publicação apresenta balanço de massa	S	N	S	S	S	S	NA
Identificado os tipos de transporte das matérias-primas	S	S	S	N	N	S	NA
Informadas as distâncias de transporte das matérias-primas até a fábrica	S	S	S	S	N	S	NA

S: sim; N: não; NA: não se aplica

* Referência não considerada no inventário por utilizar informações de base de dados internacionais junto com dados primários, não sendo possível separar ambos.