

RELATÓRIO TÉCNICO

**ABNT
ISO/TR
14049**

Primeira edição
20.08.2014

Válida a partir de
20.09.2014

Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário

*Environmental management — Life cycle assessment —
Illustrative examples on how to apply ABNT NBR ISO 14044 to goal
and scope definition and inventory analysis*

ICS 13.020.10; 13.020.60

ISBN 978-85-07-05077-3



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT ISO/TR 14040:2014
53 páginas

© ISO 2012 - © ABNT 2014

ABNT ISO/TR 14040:2014



© ISO 2012

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT, único representante da ISO no território brasileiro.

© ABNT 2014

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio Nacional	vi
Introdução	vii
1 Escopo	1
2 Generalidades.....	1
3 Exemplos de desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos de referência	3
3.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	3
3.2 Visão geral	3
3.3 Identificação de funções	5
3.4 Seleção das funções e definição da unidade funcional	5
3.5 Identificação do desempenho do produto e determinação do fluxo de referência	6
3.6 Exemplos adicionais.....	6
4 Exemplos de distinção de funções de sistemas comparáveis.....	7
4.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	7
4.2 Visão geral	8
4.3 Identificação e seleção de funções	8
4.4 Equivalência de fluxos de referência	9
4.5 Compatibilização de diferenças de desempenho	11
5 Exemplos do estabelecimento de entradas e saídas de processos elementares e das fronteiras do sistema.....	12
5.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	12
5.2 Visão geral	13
5.3 Determinação dos processos unitários do sistema de produto e de suas fronteiras	13
5.4 Coleta de dados inicial em cada unidade de processo	17
5.5 Estimativa inicial de fluxos de material e de energia	18
5.6 Aplicação de regras de decisão.....	20
5.6.1 Regras de decisão para contribuição de massa	20
5.6.2 Regras de decisão para a energia	21
5.6.3 Regras de decisão para a relevância ambiental.....	21
5.7 Entradas, saídas e fronteiras do sistema estabelecidas	21
6 Exemplos de evitar a alocação	22
6.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	22
6.2 Visão geral	22
6.3 Exemplo de como evitar a alocação pela divisão da unidade de processo em dois ou mais processos.....	23
6.4 Exemplo de alocação evitada por expansão das fronteiras para a comparação de sistemas com saídas diferentes	24
7 Exemplos de alocação.....	26
7.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	26
7.2 Visão geral	26

ABNT ISO/TR 14040:2014

7.3	Descrição dos exemplos	27
7.3.1	Exemplo de alocação com base em relacionamentos puramente físicos.....	27
7.3.2	Exemplo de alocação em uma base puramente econômica.....	28
8	Exemplo de aplicação de procedimentos de alocação para reciclagem.....	30
8.1	Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	30
8.2	Visão geral	31
8.3	Descrição dos exemplos	32
8.3.1	Exemplo de reciclagem em ciclo fechado	32
8.3.2	Exemplo de ciclo aberto com procedimento de reciclagem em ciclo fechado.....	33
8.3.3	Reciclagem em ciclo aberto	36
9	Exemplos de condução da avaliação de qualidade dos dados.....	42
9.1	Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	42
9.2	Visão geral	43
9.3	Requisitos de dados para o estabelecimento da lista específica de <i>sites</i>	44
9.3.1	Cobertura temporal	44
9.3.2	Cobertura geográfica	45
9.3.3	Cobertura tecnológica	45
9.4	Requisitos para caracterizar a qualidade dos dados	45
9.4.1	Precisão	45
9.4.2	Completeza	46
9.4.3	Representatividade	46
9.4.4	Consistência	46
9.4.5	Reprodutibilidade.....	47
9.4.6	Identificação de anomalias/lacunas de dados	47
10	Exemplos de execução de análise de sensibilidade	47
10.1	Contexto da ABNT NBR ISO 14044.....	48
10.2	Visão geral	48
10.3	Descrição dos exemplos	49
10.3.1	Generalidades.....	49
10.3.2	Priorização dos parâmetros a serem testados.....	50
10.3.3	Seleção dos parâmetros a serem testados	50
10.3.4	Cálculos	52
10.3.5	Conclusões	52
	Bibliografia.....	53

Figuras

Figura 1 – Visão geral do exemplo	4
Figura 2 – Visão geral das etapas em estudos comparativos	8
Figura 3 – Visão geral do estabelecimento de entradas, saídas e fronteiras do sistema	14
Figura 4 – Exemplo conceitual de descrição da unidade de processo.....	14
Figura 5 – Exemplo da descrição de unidade de processo para a produção de vidro incolor oco (1de 2).....	15

Figura 5 – Exemplo da descrição de unidade de processo para a produção de vidro incolor oco (2 de 2).....	16
Figura 6 – Visão geral dos exemplos para se evitar a alocação.....	23
Figura 7 – Sistema onde a alocação pode ser evitada por meio de uma coleta de dados mais precisa e pela divisão em dois diferentes subsistemas.....	23
Figura 8 – Exemplo de reciclagem de material e de recuperação de energia.....	24
Figura 9 – Exemplo de expansão das fronteiras do sistema.....	25
Figura 10 – Visão geral dos exemplos para o procedimento de alocação.....	27
Figura 11 – Consumo de combustível de um caminhão em função da carga transportada.....	27
Figura 12 – Exemplo de processo de produção de asfalto.....	29
Figura 13 – Visão geral dos exemplos para reciclagem.....	32
Figura 14 – Diagrama de fluxo do exemplo de reciclagem em ciclo fechado.....	32
Figura 15 – Ciclo aberto com procedimento de reciclagem em ciclo fechado para embalagens de alumínio (números fictícios).....	34
Figura 16 – Ciclo aberto com procedimento de reciclagem em ciclo fechado para embalagens de alumínio com fronteiras do sistema expandidas (exemplo para outros ciclos de vida de produtos: material de alumínio para construção).....	35
Figura 17 – Modelo de reciclagem em ciclo fechado para embalagens de alumínio com uma divisão tecnológica ajustada para o produto específico.....	36
Figura 18 – Etapas para descrição do exemplo de reciclagem em ciclo aberto.....	37
Figura 19 – Base para alocação.....	38
Figura 20 – Diferentes usos de produtos KBPB descartados e recuperados.....	39
Figura 21 – Visão geral da avaliação da qualidade dos dados de execução.....	44
Figura 22 – Visão da abordagem geral.....	49
Figura 23 – Etapas para descrever o exemplo de análise de sensibilidade.....	51

Tabelas

Tabela 1 – Referências cruzadas entre a ABNT NBR ISO 14044:2009 e exemplos neste Relatório Técnico.....	2
Tabela 2 – Exemplos de unidades funcionais para sistemas com múltiplas funções.....	6
Tabela 3 – Exemplos adicionais de desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos de referência.....	7
Tabela 4 – Entradas de sólidos para garrafas de vidro, listadas por ordem decrescente de conteúdo.....	19
Tabela 5 – Processos consumidores de energia nas fases do ciclo de vida de garrafas de vidro, divididos entre eletricidade diretamente consumida, processos térmicos etc., transporte e matéria-prima.....	20
Tabela 6 – Processos do sistema de garrafas de vidro responsáveis por pelo menos 90 % da contribuição para a categoria potencial de impacto “Toxicidade humana, ar”	21
Tabela 7 – Consequências de valores diferentes para F.....	52

ABNT ISO/TR 14040:2014

Prefácio Nacional

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretiva ABNT, Parte 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os Órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma, independentemente de sua data de entrada em vigor.

O ABNT ISO/TR 14049 foi elaborado no Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (ABNT/CB-38), pela Comissão de Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (CE-38:005.01). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 08, de 16.07.2014 a 14.08.2014, com o número de Projeto 38:005.01-007.

Este Relatório Técnico é uma adoção idêntica, em conteúdo técnico, estrutura e redação, ao ISO/TR 14049:2012, que foi elaborada pelo *Technical Committee Environmental management* (ISO/TC 207), conforme ISO/IEC Guide 21-1:2005.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

Scope

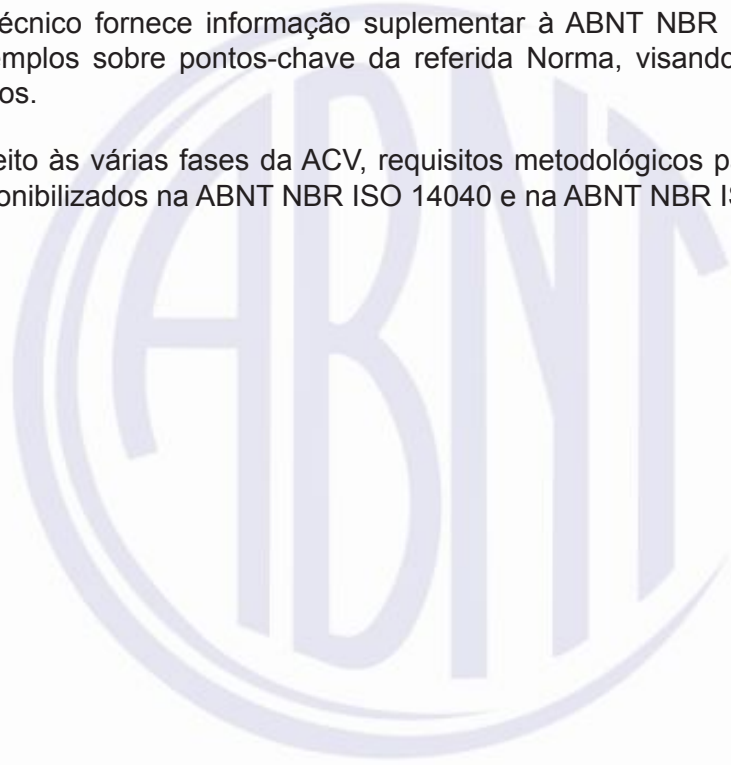
This Technical Report provides examples about practices in carrying out a life cycle inventory analysis (LCI) as a means of satisfying certain provisions of ABNT NBR ISO 14044:2009. These examples are only a sample of the possible cases satisfying the provisions of ABNT NBR ISO 14044. They offer “away” or “ways” rather than the “unique way” for the application of ABNT NBR ISO 14044. These examples reflect only portions of a complete LCI study.

Introdução

A crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados com os produtos manufaturados e consumidos tem aumentado o interesse pelo desenvolvimento de métodos para melhor compreender e reduzir estes impactos. Uma das técnicas que estão sendo desenvolvidas com essa finalidade é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Para facilitar uma abordagem harmonizada, uma família de normas sobre avaliação do ciclo de vida (ACV), incluindo ABNT NBR ISO 14040, ABNT NBR ISO 14044 e este Relatório Técnico, está sendo desenvolvida pela ISO. Estas Normas descrevem princípios para a condução e o relato de estudos de ACV com determinados requisitos mínimos.

Este Relatório Técnico fornece informação suplementar à ABNT NBR ISO 14044:2009 com base em diversos exemplos sobre pontos-chave da referida Norma, visando aumentar a compreensão dos seus requisitos.

No que diz respeito às várias fases da ACV, requisitos metodológicos para a condução de estudos de ACV são disponibilizados na ABNT NBR ISO 14040 e na ABNT NBR ISO 14044.





Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário

1 Escopo

Este Relatório Técnico fornece exemplos sobre práticas para a condução de uma análise de inventário do ciclo de vida (ICV) como meio de se satisfazer determinadas disposições da ABNT NBR ISO 14044:2009. Tais exemplos são somente uma amostra dos possíveis casos que satisfazem as disposições da ABNT NBR ISO 14044. Eles oferecem “uma maneira” ou “maneiras”, e não a “única maneira” de aplicação da ABNT NBR ISO 14044. Estes exemplos refletem somente partes de um estudo completo de ICV.

2 Generalidades

Os exemplos centram-se em seis pontos-chaves da ABNT NBR ISO 14044:2009, como indicado na Tabela 1.

Para alguns pontos-chave há mais de um exemplo. A razão é que, em muitos casos, há mais de uma prática. A decisão sobre a aplicação de uma ou outra prática é dependente do objetivo e pode variar, por exemplo, em função do sistema do produto sob investigação ou das fases ao longo do ciclo de vida. Os exemplos são descritos no contexto das disposições correspondentes na ABNT NBR ISO 14044, e com o uso específico.

Na descrição de diferentes casos, sempre que possível, a seguinte estrutura foi adotada:

- contexto da ABNT NBR ISO 14044;
- visão geral;
- descrição dos exemplos.

ABNT ISO/TR 14040:2014

Tabela 1 – Referências cruzadas entre a ABNT NBR ISO 14044:2009 e exemplos neste Relatório Técnico

ABNT NBR ISO 14044:2009	Exemplos neste Relatório Técnico
0 Introdução 1 Escopo 2 Referência normativa 3 Termos e definições 4 Estrutura metodológica para ACV 4.1 Requisitos gerais 4.2 Definições de objetivo e escopo 4.2.1 Generalidades 4.2.2 Objetivo do estudo 4.2.3 Escopo do estudo 4.2.3.1 Generalidades 4.2.3.2 Função e unidade funcional 4.2.3.3 Fronteira do sistema 4.2.3.4 Metodologia da AICV e tipos de impactos 4.2.3.5 Tipos e fontes de dados 4.2.3.6 Requisitos de qualidade dos dados 4.2.3.7 Comparações entre sistemas 4.2.3.8 Considerações quanto à análise crítica 4.3 Análises de inventário do ciclo de vida (ICV) 4.3.1 Generalidades 4.3.2 Coleta de dados 4.3.3 Cálculo de dados 4.3.3.1 Generalidades 4.3.3.2 Validação dos dados 4.3.3.3 Relacionamento com a unidade de processo e unidade funcional 4.3.3.4 Refinamento da fronteira do sistema 4.3.4 Alocação 4.3.4.1 Generalidades 4.3.4.2 Procedimento de alocação 4.3.4.3 Procedimentos de alocação para reutilização e reciclagem 4.4 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) 4.5 Interpretação do ciclo de vida 5 Comunicação 5.1 Requisitos e considerações gerais 5.2 Requisitos adicionais e orientações para relatórios destinados a terceiros 5.3 Requisitos adicionais de relato para comunicação pública de afirmações corporativas 6 Análise crítica 6.1 Generalidade 6.2 Análise crítica por especialista interno ou externo 6.3 Análise crítica por painel de partes interessadas Anexo A (informativo) Anexo B (informativo)	3 Exemplos de desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos de referência 4 Exemplos de distinção de funções na comparação de sistemas 5 Exemplos do estabelecimento de entradas, saídas e fronteira da unidade de processo 10 Exemplos de execução de análise de sensibilidade 5 Exemplos do estabelecimento de entradas, saídas e fronteira da unidade de processo 9 Exemplos de condução de avaliação da qualidade dos dados 4 Exemplos de distinção de funções na comparação de sistemas 9 Exemplos de condução de avaliação da qualidade dos dados 3 Exemplos de desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos de referência 10 Exemplos de execução de análise de sensibilidade 6 Exemplos de formas de se evitar a alocação 7 Exemplos de aplicação da alocação 8 Exemplos de aplicação de procedimentos de alocação para a reciclagem Exemplo de folhas para coleta de dados Exemplos de interpretação do ciclo de vida

3 Exemplos de desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos de referência

3.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.2, declara:

“O escopo de uma ACV deve especificar claramente as funções (características de desempenho) do sistema em estudo. A unidade funcional deve ser consistente com o objetivo e escopo do estudo. Um dos propósitos principais de uma unidade funcional é fornecer uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída são normalizados (no sentido matemático). A unidade funcional, portanto, deve ser claramente definida e mensurável.

Tendo sido escolhida a unidade funcional, o fluxo de referência deve ser definido.”

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.3.3, declara:

“Um fluxo apropriado deve ser determinado para cada unidade de processo. Os dados quantitativos de entrada e saída da unidade de processo devem ser calculados com relação a esse fluxo. Com base no fluxograma e nos fluxos entre unidades de processos, os fluxos de todas as unidades de processos são relacionados ao fluxo de referência. Convém que o cálculo resulte em que todos os dados de entrada e saída do sistema estejam referenciados à unidade funcional.”

3.2 Visão geral

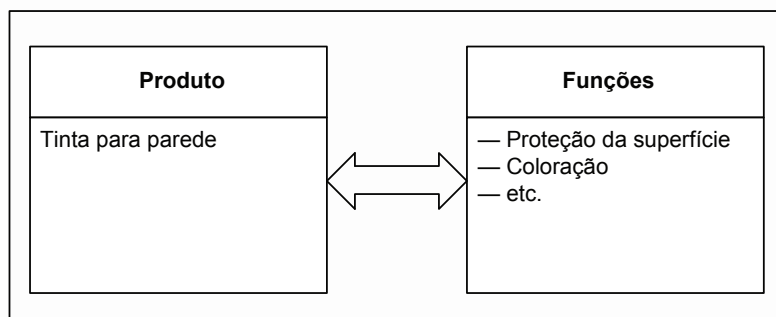
As seguintes etapas podem ser distinguidas na definição de uma unidade funcional e na determinação dos fluxos de referência:

- identificação de funções;
- seleção de funções e definição da unidade funcional;
- identificação de desempenho do produto e determinação do fluxo de referência.

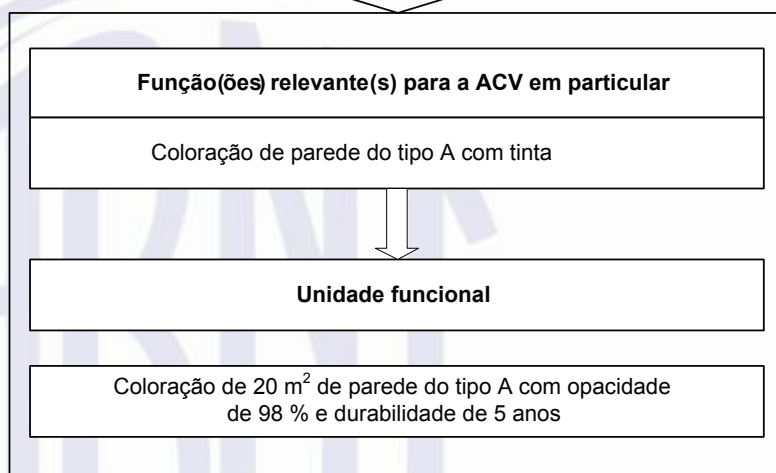
A sequência destas etapas é ilustrada na Figura 1 usando um exemplo de pintura. Este exemplo também é utilizado no texto a seguir (3.3 a 3.5). Exemplos adicionais são fornecidos em 3.6.

ABNT ISO/TR 14040:2014

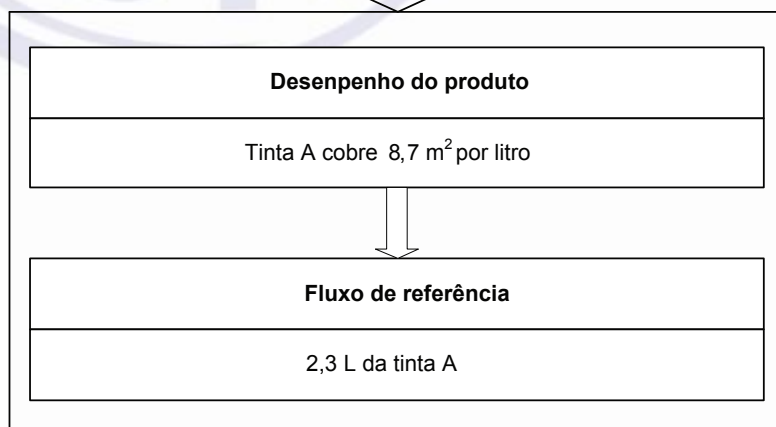
3.3 Identificação de funções



3.4 Seleção de funções e definição da unidade funcional



3.5 Identificação do desempenho do produto e determinação do fluxo de referência



NOTA É possível começar tanto com o produto quanto com a própria função.

Figura 1 – Visão geral do exemplo

3.3 Identificação de funções

A finalidade da unidade funcional é quantificar o serviço entregue pelo sistema de produto. A primeira etapa consiste então em identificar a finalidade atendida pelo sistema de produto, isto é, sua função ou suas funções.

O ponto de partida para este procedimento pode ser um produto específico a ser estudado (por exemplo, tinta para parede) ou pode ser a necessidade ou objetivo final, que, em alguns casos, podem ser atendidos por diversos produtos distintos (por exemplo, a decoração de uma parede, que pode ser obtida tanto por pintura quanto pela aplicação de papel de parede ou por uma combinação destes).

As funções são tipicamente relacionadas a propriedades específicas do produto ou do processo, cada uma das quais pode:

- atender a necessidades específicas e ter, desse modo, um valor de uso, que tipicamente cria valor econômico para o fornecedor do produto;
- afetar o funcionamento de outros sistemas econômicos (por exemplo, o papel de parede pode ter um – pequeno – efeito isolante, afetando assim o requisito térmico da construção).

3.4 Seleção das funções e definição da unidade funcional

É possível que nem todas as funções sejam relevantes para uma ACV específica. Assim, de todas as funções possíveis, as relevantes são identificadas.

Para uma parede interna, por exemplo, a proteção da superfície pode ser desnecessária, enquanto a coloração é uma função relevante da tinta.

Subsequentemente, as funções relevantes são quantificadas na unidade funcional, que pode ser expressa como uma combinação de diferentes parâmetros.

Para coloração de uma parede, a unidade funcional normalmente precisa especificar a área a ser coberta (por exemplo, 20 m²), o tipo de parede (especialmente no que diz respeito às suas propriedades de absorção e adesão), a capacidade da tinta de encobrir a superfície subjacente (por exemplo, opacidade de 98 %) e sua vida útil (por exemplo, 5anos).

No caso de unidades multifuncionais, as diferentes grandezas são algumas vezes vinculadas, por exemplo, pode haver disponibilidade de um material isolante para revestimento de paredes com uma superfície pré-colorida, o que torna desnecessária a coloração, proporcionando, assim, tanto isolamento quanto coloração. A unidade funcional poderia ser então:

“Cobertura de 20 m² de parede com uma resistência térmica de 2m·K/W, com uma superfície colorida com opacidade de 98 %, não exigindo qualquer outra coloração durante 5anos.”

Outros exemplos de unidades multifuncionais são dados na Tabela 2.

ABNT ISO/TR 14040:2014

Tabela 2 – Exemplos de unidades funcionais para sistemas com múltiplas funções

Exemplo No.	(1)	(2)
Sistema	Reciclagem de papel	Cogeração
Funções	— Recuperação de resíduo de papel, e — Produção de polpa sem tinta — etc.	— Geração de energia elétrica, e — Produção de vapor — etc.
Função selecionada para uma ACV específica	— Recuperação de resíduo de papel, ou — Produção de polpa sem tinta	— Geração de energia elétrica, ou — Produção de vapor
Unidade funcional	— Recuperação de 1 000 kg de resíduo de papel, ou — Produção de 1 000 kg de polpa para impressão de jornais	— Geração de 100 MW de eletricidade, ou — Produção de 300 000 kg de vapor por hora a 125 °C e 0,3 MPa (3 bar)

3.5 Identificação do desempenho do produto e determinação do fluxo de referência

Tendo-se definido uma determinada unidade funcional, a tarefa seguinte é determinar a quantidade de produto que é necessária para desempenhar a função quantificada pela unidade funcional. Esse fluxo de referência é relacionado ao desempenho do produto e é normalmente determinado como o resultado de um método de medição padronizado. Naturalmente, a natureza desta medição e cálculo depende do produto estudado.

Para a tinta, o fluxo de referência é normalmente expresso como a quantidade de litros necessários para cobrir a área da superfície definida pela unidade funcional. Por exemplo, em um teste padronizado, pode ser determinado que a tinta A cobre 8,7 m² por litro (isto é, o desempenho do produto). Usando o exemplo ilustrado na Figura 1, seriam exigidos 2,3 L para cobrir os 20 m² da unidade funcional, contanto que as condições do teste padronizado sejam similares às aquelas exigidas pela unidade funcional (no que diz respeito ao tipo da superfície e à opacidade).

A unidade funcional pode ser expressa em termos das quantidades de produtos, de modo que a unidade funcional e o fluxo de referência sejam idênticos. A Tabela 2 dá exemplos de tais unidades funcionais, que já são expressas em termos das quantidades de produtos.

3.6 Exemplos adicionais

Os três exemplos na Tabela 3 a seguir ilustram adicionalmente o procedimento para o desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos da referência.

Tabela 3 – Exemplos adicionais de desenvolvimento de funções, unidades funcionais e fluxos de referência

Exemplo No.	(1)	(2)	(3)
Produto	Lâmpada	Garrafa	Toalha de papel
Funções	— Fornecer iluminação — Gerar calor — etc.	— Proteção da bebida — Facilidade de manuseio — Parte da imagem do produto — etc.	— Secar mãos — Remover bactérias — etc.
Função selecionada para uma ACV específica	Fornecer iluminação (somente lâmpada para uso exterior)	Proteção da bebida	Secar mãos (função higiênica julgada irrelevante)
Unidade funcional	300 lx em 50 000 h correspondentemente no espectro da luz do dia em 5 600 K	50 000 L de bebida protegida entre o engarrafamento e o consumo	1 000 pares de mãos enxugadas
Desempenho do produto	100 lx com vida útil de 10 000 h	garrafa não retornável de 0,5 L	Uma toalha de papel para secagem de uma mão
Fluxo de referência	15 lâmpadas luz do dia de 100 lx com vida útil de 10 000 h	100 000 garrafas não retornáveis de 0,5 L	2 000 toalhas de papel

4 Exemplos de distinção de funções de sistemas comparáveis

4.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.2 e 4.2.3.7, refere-se a situações que envolvem sistemas de produto com uma ou mais funções e o requisito de que as comparações dos sistemas seja feito com a mesma unidade funcional.

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.2, declara:

“Tendo sido escolhida a unidade funcional, o fluxo de referência deverá ser definido. Comparações entre sistemas deverão ser feitas com base na(s) mesma(s) função(ões), quantificadas pelas mesmas unidades funcionais na forma de seus fluxos de referência. Se funções adicionais de quaisquer dos sistemas não são levadas em consideração na comparação das unidades funcionais, tais omissões deverão ser explicadas e documentadas. Como alternativa, os sistemas associados à execução das funções não consideradas podem ser adicionados à fronteira do sistema que não as executa para tornar os sistemas mais comparáveis entre si. Nesses casos, os processos selecionados devem ser explicados e documentados.”

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.7, declara:

“Em um estudo comparativo, a equivalência dos sistemas que estão sendo comparados deverá ser avaliada antes da interpretação dos resultados. Consequentemente, o escopo do estudo deverá ser definido de tal maneira que os sistemas possam ser comparados. Sistemas deverão ser comparados usando a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes, tais como desempenho, fronteira do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de alocação, regras para decisões quanto à avaliação de entradas e saídas e avaliação de impacto. Quaisquer diferenças entre sistemas com relação a esses parâmetros deverão ser identificadas e relatadas. No caso de afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente, as partes interessadas deverão conduzir essa avaliação na forma de uma análise crítica.”

ABNT ISO/TR 14040:2014

4.2 Visão geral

Ao se comparar sistemas de produto, convém que seja dada atenção especial para confirmação de que a comparação é baseada na mesma unidade funcional e em considerações metodológicas equivalentes, como desempenho, fronteiras do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de alocação e regras de decisão na avaliação de entradas e saídas. Nesta seção, algumas abordagens possíveis são descritas e ilustradas por exemplos.

As etapas gerais a serem seguidas em estudos comparativos são ilustradas na Figura 2.

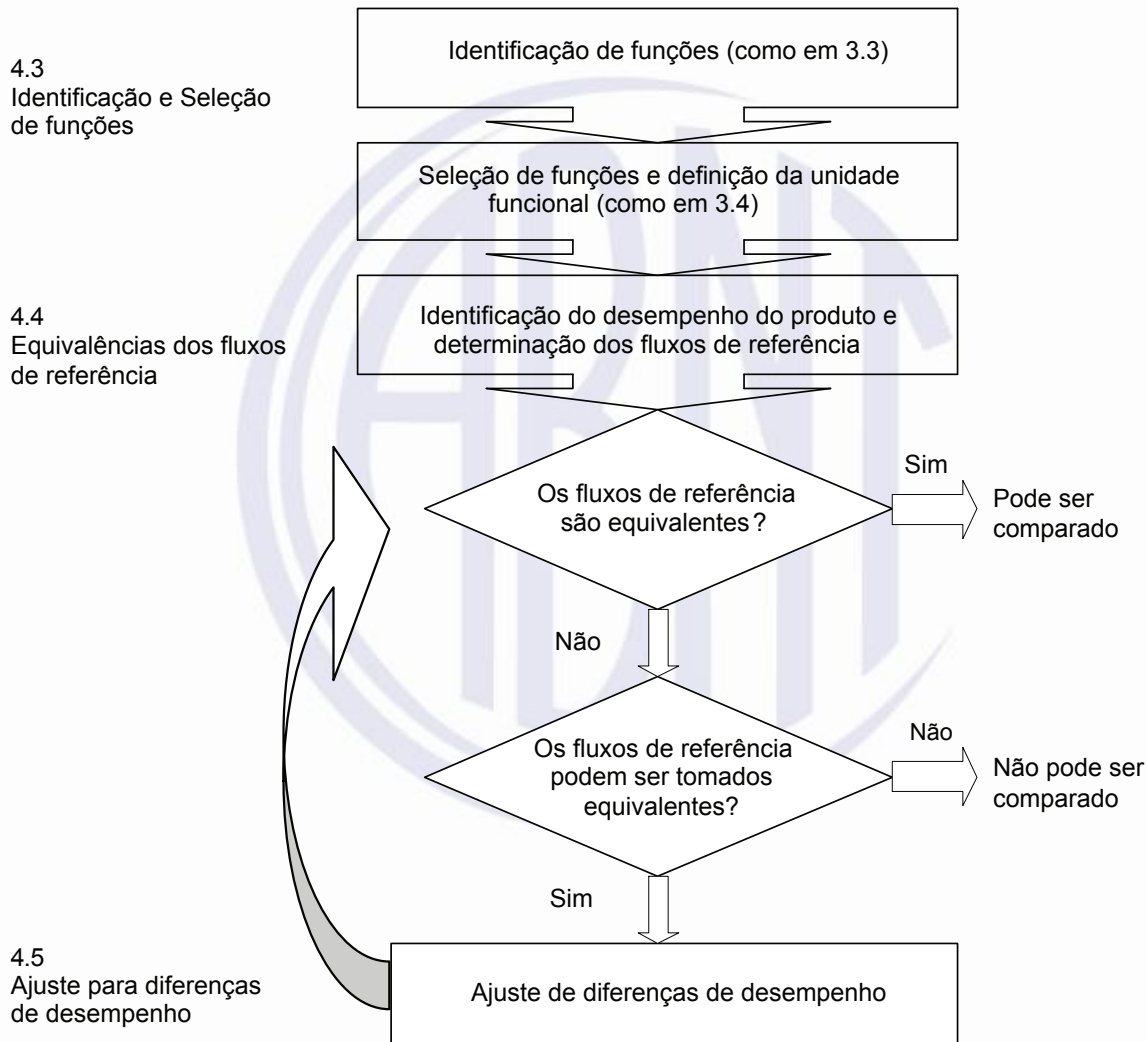


Figura 2 – Visão geral das etapas em estudos comparativos

4.3 Identificação e seleção de funções

A definição da unidade funcional está estreitamente ligada ao objetivo do estudo. Se o objetivo é comparar sistemas de produto, convém que seja tomado cuidado especial para assegurar que a comparação seja válida, que todas as funções adicionais sejam identificadas e descritas e que todas as funções relevantes sejam levadas em consideração.

EXEMPLO 1 Convém que um estudo sobre gestão de resíduos inclua outras funções além da simples disposição do resíduo (por exemplo, as funções desempenhadas pelos sistemas de reciclagem na provisão de material reciclado ou energia).

EXEMPLO 2 Convém que um estudo sobre um eletrodoméstico inclua o calor residual liberado para o edifício em que o equipamento opera, na medida em que isso influencia a quantidade de aquecimento e/ou de refrigeração exigida.

Para estudos, comparativos, a seleção de funções se torna muito mais importante do que em estudos não comparativos. Com referência às funções na Tabela 3:

- para garrafas (exemplo 2), a não consideração da função imagem da embalagem pode conduzir à comparação de embalagens que são tecnicamente similares (isto é, contendo o mesmo volume de bebida), mas que o produtor ou o cliente não aceitarão como comparáveis;
- para sistemas de secagem de mãos (exemplo 3), a não consideração da função higiênica pode ser considerada inaceitável, por exemplo, na indústria alimentar, onde a capacidade de remoção de bactérias pelas toalhas de papel pode ser considerada uma vantagem, que uma comparação com sistemas elétricos de secagem de mãos não pode sequer ser considerada.

4.4 Equivalência de fluxos de referência

A unidade funcional do exemplo de pintura da Seção 3 foi “coloração de 20 m² de parede tipo A com opacidade de 98 % e durabilidade de 5 anos”. Esta unidade funcional pode ser suprida por diferentes fluxos de referência:

- 2,3 L da tinta A;
- 1,9 L da tinta B;
- 1,7 L da tinta C etc.

Estes fluxos de referência são calculados com base em um teste sob condições-padrão, no que diz respeito, por exemplo, ao tipo e à opacidade da superfície.

Convém que as condições-padrão de teste e os métodos de medição sejam apropriados à comparação pretendida: No exemplo de secagem de mãos (exemplo 3 na Tabela 3), pode ser irrelevante usar um teste padronizado baseado nas propriedades técnicas do papel, como massa, poder de absorção e resistência à tração, se o peso real de papel utilizado depender do projeto do toalheiro. Uma medida mais apropriada poderia ser então os dados coletados pela pesagem do estoque de papel no início e no final de um período adequado, em que o número de mãos secadas é determinado por meio de vigilância eletrônica de pias reais localizadas nas instituições relevantes. De forma similar, as especificações técnicas de um secador de mãos elétrico, como o volume de ar e sua temperatura, podem ser irrelevantes como base para o cálculo do fluxo, de referência, se o tempo real de funcionamento do dispositivo foi determinado por outros fatores, por exemplo, por um temporizador incorporado. Então, tudo que é necessário é o tempo de funcionamento e a capacidade elétrica do equipamento.

No caso da lâmpada (exemplo 1 na Tabela 3), a unidade funcional de “300 lx em 50 000 h” pode ser suprida por:

- 5 vezes 3 lâmpadas de 100 lx com vida útil de 10 000 h cada uma, ou
- 10 vezes 2 lâmpadas de 150 lx com vida útil de 5 000 h cada uma.

As premissas subjacentes para a comparação de 3 lâmpadas de 100 lx com 2 lâmpadas de 150 lx são:

- que o espectro de luz dos dois tipos de lâmpadas seja comparável (ou que a diferença seja aceitável para o usuário);

ABNT ISO/TR 14040:2014

- que as 3 e as 2 lâmpadas, respectivamente, possam ser posicionadas de modo que a distribuição da luz seja igual (ou que a diferença seja aceitável para o usuário);
- que os soquetes e outros acessórios não sejam afetados pela escolha (caso em que eles teriam que ser incluídos na comparação).

Além disso, as duas lâmpadas foram consideradas como comparáveis apesar de sua diferença em termos de vida útil. Esta diferença é simplesmente levada em consideração no cálculo do fluxo de referência. Contudo, para produtos de longa duração, como refrigeradores com tempo de vida de 10 ou 20 anos, o desenvolvimento tecnológico pode ser um fator não passível de ser desprezado. Um refrigerador com um tempo de vida de 20 anos não pode ser simplesmente comparado a dois refrigeradores atuais com tempo de vida de 10 anos utilizados sucessivamente. Os refrigeradores disponíveis daqui a 10 anos certamente serão mais eficientes em termos de energia (isto é, consumo mais baixo de energia por unidade funcional) do que no presente; a eficiência energética do segundo refrigerador da opção 10 + 10 é determinada por uma projeção de tendência, enquanto a eficiência energética da opção 20 anos é mantida fixa.

As 100 000 garrafas não retornáveis de volume 0,5 L (exemplo 2 na Tabela 3) podem tecnicamente cumprir a função de proteger 50 000 L de bebida, da mesma forma que 12 500 garrafas retornáveis de volume 0,4 L com uma taxa de reutilização de 90 %. Entretanto, em algumas situações, o consumidor pode nem sempre ser capaz de distinguir entre garrafas de diferentes volumes ou massas. Se o consumidor considera que as garrafas são iguais, o consumo total de bebida diminui quando as garrafas retornáveis são introduzidas. Nesse caso, a embalagem não pode ser estudada independentemente de seu conteúdo. Este é um exemplo da seta “Não” que sai à direita na Figura 2. Naturalmente, o objetivo do estudo pode então ser redefinido, permitindo uma comparação da bebida mais embalagem e levando em conta as mudanças no consumo.

Outro exemplo de funções não comparáveis (a seta “Não” à direita na Figura 2) considera dois *freezers*, um com e outro sem a opção de congelamento rápido. Se a opção de congelamento rápido é considerada uma função essencial pelo consumidor, os dois *freezers* simplesmente não são comparáveis e não podem se tornar comparáveis por nenhum cálculo ou expansão do sistema. O mesmo é verdadeiro para os exemplos dados no final de 4.3.

Em alguns sistemas com múltiplas funções, como aqueles na Tabela 2, as funções podem ser separadas e supridas por diversos sistemas:

- dispor os resíduos de papel em uma planta de incineração e produzir a polpa a partir de fibras virgens pode suprir a mesma unidade funcional como o sistema de reciclagem de papel;
- unidades separadas para produção de energia e calor para distribuição pública, produzindo respectivamente somente energia elétrica e calor, podem suprir a mesma unidade funcional como a planta de cogeração.

Contudo, algumas funções podem estar tão intimamente ligadas que a separação não é possível. Por exemplo, a geração de calor por uma lâmpada não pode ser desassociada de sua função primária.

Em outras situações, separações de duas funções vinculadas podem ser tecnicamente possíveis, mas devido a outros aspectos, as duas funções separadas podem ainda assim não ser consideradas comparáveis à função conjunta. Um exemplo deste caso é o *freezer*-refrigerador combinado, que pode ou não ser comparável a um *freezer* e refrigerador separados, dependendo da aceitabilidade pelo consumidor (a última opção normalmente ocupa mais espaço do que a opção combinada com os mesmos volumes internos).

Notar que, na maioria dos exemplos acima, a equivalência de dois produtos é determinada pela aceitação por parte do usuário. Esta aceitação, e, portanto, a possibilidade de dois produtos serem considerados comparáveis ou não pode ser influenciada pelo preço das alternativas e pelas informações adicionais fornecidas com os produtos, por exemplo, informação sobre seu desempenho ambiental. Assim, para fins de desenvolvimento de produtos ou gestão estratégica, pode ser razoável comparar dois produtos que não sejam imediatamente considerados como equivalentes, mas onde se assume que eles sejam tratados como equivalentes sob circunstâncias específicas de preço e informação.

4.5 Compatibilização de diferenças de desempenho

Naqueles casos em que os fluxos da referência sejam imediatamente equivalentes (como no exemplo da pintura, no início de 4.4), nenhum ajuste é necessário.

Em outros casos, o ajuste é necessário. O procedimento de ajuste segue os mesmos princípios da alocação de coprodutos, isto é, a opção preferida é a alteração das fronteiras do sistema para evitar a diferença de desempenho. Em alguns casos, quando essa alteração não é possível ou viável, a alocação pode ser aplicada. Nesta subseção, são oferecidos exemplos de ambas as opções.

No caso da lâmpada em 4.4, pode ser necessário ajustar um dos sistemas a serem comparados (expandindo-o com um soquete extra para lâmpada). Outro exemplo, mais radical, de tal expansão de sistema ou de reconsideração das funções estudadas é o mencionado no exemplo das garrafas em 4.4, onde a inclusão da bebida foi necessária.

Uma comparação de refrigeradores pode ser baseada no seu volume interno e/ou externo. A função primária é obviamente relacionada a seu volume interno, mas o volume externo pode ser uma função determinante, se o refrigerador tiver que se ajustar em uma cozinha existente. Se for requerido que o volume externo seja igual, o volume interno pode diferir devido a diferenças na espessura da isolamento. Isso só pode ser ajustado assumindo-se diferenças no comportamento do usuário (por exemplo, comprando mais frequentemente, armazenando determinados itens fora do refrigerador, adicionando um refrigerador secundário em outra parte da casa). Cada uma dessas mudanças de comportamento envolve mudanças em diferentes processos, que têm então que ser incluídas no estudo. Se, por outro lado, é requerido que o volume interno seja igual, uma mudança na espessura da isolamento pode exigir ajustes no espaço físico em torno do refrigerador (a outra mobília da cozinha). Se for requerido que os volumes internos e externos sejam iguais, obviamente nenhum ajuste que possa acomodar a mudança na espessura do isolamento é possível. Isso mostra que a escolha das funções requeridas determina também as alternativas possíveis, que podem ser incluídas no estudo.

O ajuste pela expansão do sistema, como nos exemplos anteriores, nem sempre é possível. Se se está estudando somente a função congelamento ou refrigeração de um *freezer*-refrigerador combinado (por exemplo, para a inclusão no ciclo de vida de um produto alimentar, que é refrigerado, mas não congelado), não há nenhum ajuste que possa compensar o efeito da combinação das duas funções. Assim, as entradas e saídas do *freezer*-refrigerador combinado são, de alguma maneira, alocadas entre as duas funções. Isso² pode ser feito com base em uma medida dos requisitos relativos de energia para os dois compartimentos, também conhecida como o volume ajustado pela temperatura, calculado como:

$$V_{\text{adj}} = V_2 \times (t_r - t_c) / (t_r - 5)$$

onde:

V_c é o volume do compartimento, t_r a temperatura ambiente, t_c a temperatura do compartimento, e
5 °C é a temperatura de referência.

ABNT ISO/TR 14040:2014

Notar que, caso *freezers*-refrigeradores sejam analisados como produtos em si, a comparabilidade de dois *freezers*-refrigeradores com relações diferentes entre os volumes dos dois compartimentos pode depender da possibilidade de substituição, aos olhos do consumidor. Neste caso, não é adequado ajustar a diferença por coeficientes técnicos (por exemplo, os volumes ajustados pela temperatura).

5 Exemplos do estabelecimento de entradas e saídas de processos elementares e das fronteiras do sistema

5.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.3 estabelece diretrizes para o seguinte:

a) a seleção da fronteira do sistema consistente com o objetivo e o escopo do estudo (4.2.3.3.1)

“A fronteira do sistema determina quais processos elementares devem ser incluídos na ACV. A seleção da fronteira do sistema deve ser consistente com o objetivo do estudo. Os critérios utilizados na determinação da fronteira do sistema devem ser identificados e explicados.

Devem ser tomadas decisões com relação a quais processos elementares serão incluídos no estudo e o nível de detalhamento com que esses processos elementares devem ser estudados.”

b) o uso de um diagrama de fluxo do processo descrevendo cada processo envolvido (4.2.3.3.2)

“Idealmente, convém que o sistema de produto seja modelado de tal maneira que as entradas e saídas em sua fronteira sejam fluxos elementares e de produtos. A identificação das entradas e saídas que deveriam ser rastreadas ao meio ambiente, isto é, a identificação de quais processos elementares que produzem as entradas (ou processos elementares que recebem as saídas) deveriam ser incluídos no sistema de produto em estudo, é um processo iterativo. A identificação preliminar é realizada com a utilização dos dados disponíveis. Convém que as entradas e saídas sejam identificadas de forma mais completa após a coleta de dados adicionais durante a execução do estudo e, então, submetidas a uma análise de sensibilidade (ver ABNT NBR ISO 14044, 4.3.3.4).”

e

c) os critérios de corte para a inclusão e a exclusão de entradas e saídas (4.2.3.3.3)

Diversos critérios de corte são utilizados na prática da ACV para decidir quais entradas serão incluídas na avaliação, tais como massa, energia e significância ambiental. Basear a identificação preliminar de entradas somente na sua contribuição em massa pode resultar na omissão de entradas importantes para o estudo. Da mesma forma, convém que a energia e a significância ambiental também sejam utilizadas como critérios de corte nesse processo.

- a) **Massa:** uma decisão apropriada ao utilizar massa como critério requereria a inclusão no estudo de todas as entradas cuja contribuição cumulativa superasse uma percentagem definida da entrada de massa do sistema de produto que está sendo modelado.
- b) **Energia:** de forma semelhante, uma decisão apropriada ao utilizar energia como critério requereria a inclusão no estudo daquelas entradas cuja contribuição cumulativa superasse uma percentagem definida da entrada de energia do sistema de produto.
- c) **Significância ambiental:** convém que decisões sobre critérios de corte sejam tomadas no sentido de incluir entradas que contribuam com mais do que uma parcela adicional definida da contribuição estimada de dados individuais do sistema de produto que são selecionados especificamente em função de sua relevância ambiental.

5.2 Visão geral

O objetivo de um estudo de ACV fornece direcionamento para a seleção das categorias de dados individuais. A seleção de categorias de dados individuais pode incluir uma lista abrangente de entradas e saídas ou pode ser específica quanto às questões particulares que o estudo está examinando.

As categorias de dados do sistema são listadas na definição de objetivo e escopo. Os fluxos de energia são normalmente incluídos em um estudo de ACV, já que a informação sobre esses fluxos é, muitas vezes, prontamente disponível, e os fluxos de energia podem ter um efeito significativo no uso de recursos naturais e nas emissões.

As decisões com relação aos fluxos de materiais que são selecionados para a inclusão no escopo de um estudo de ACV impactam nos resultados. É importante incluir todos os fluxos significativos de materiais que possam afetar a interpretação do estudo.

O processo de seleção de entradas de materiais, saídas e fronteiras do sistema é esboçado na Figura 3.

5.3 Determinação dos processos unitários do sistema de produto e de suas fronteiras

Convém que os processos elementares que compõem um sistema de produto sejam compilados para as cadeias de fornecimento de produto e de uso, de forma consistente com o objetivo e o escopo do estudo. A Figura 4 mostra uma descrição conceitual de um processo elementar com suas entradas e saídas associadas. Um exemplo de um processo elementar pode ser “fundição de alumínio”, uma parte de um sistema de produto para um produto de alumínio. Este processo elementar transforma as entradas de matéria-prima ou materiais intermediários (alumina refinada) associadas com material auxiliar, energia e liberações para o meio ambiente em um “*produto intermediário*” que é adicionalmente processado no âmbito do sistema de produto. Com esta informação, processos específicos que executam as transformações podem ser estabelecidos. Subsequentemente, é preparada uma lista dos locais específicos de origem dos dados que são relevantes para o objetivo do estudo.

Visando estabelecer as fronteiras do processo elementar, os *sites* dentro da população de interesse podem ser contatados para determinar as menores porções do sistema de produto para as quais dados são disponíveis. Desde que haja uma variabilidade nos processos específicos que são executados por um *site* particular, as fronteiras do processo elementar são estabelecidas com o propósito de minimizar a necessidade de procedimentos de alocação.

ABNT ISO/TR 14040:2014

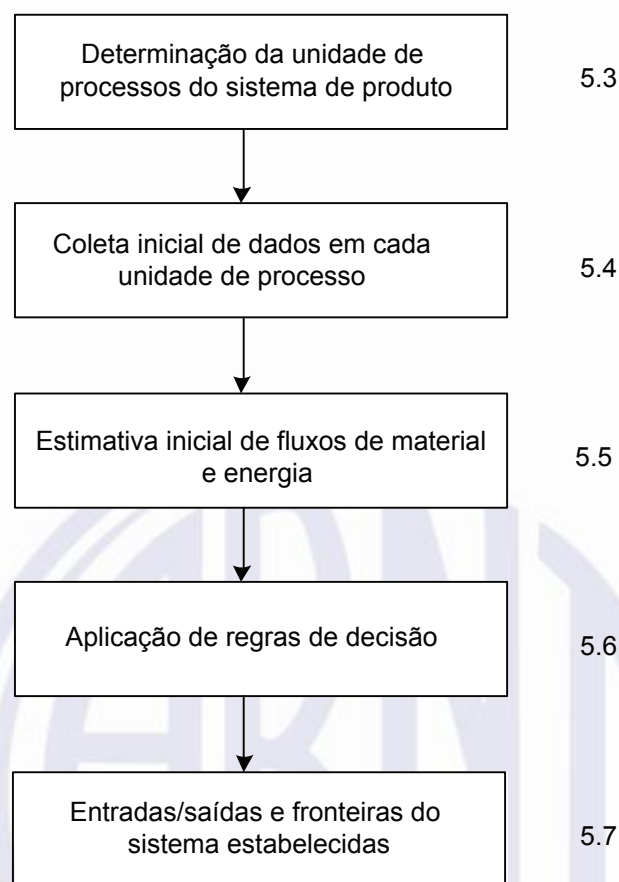


Figura 3 – Visão geral do estabelecimento de entradas, saídas e fronteiras do sistema

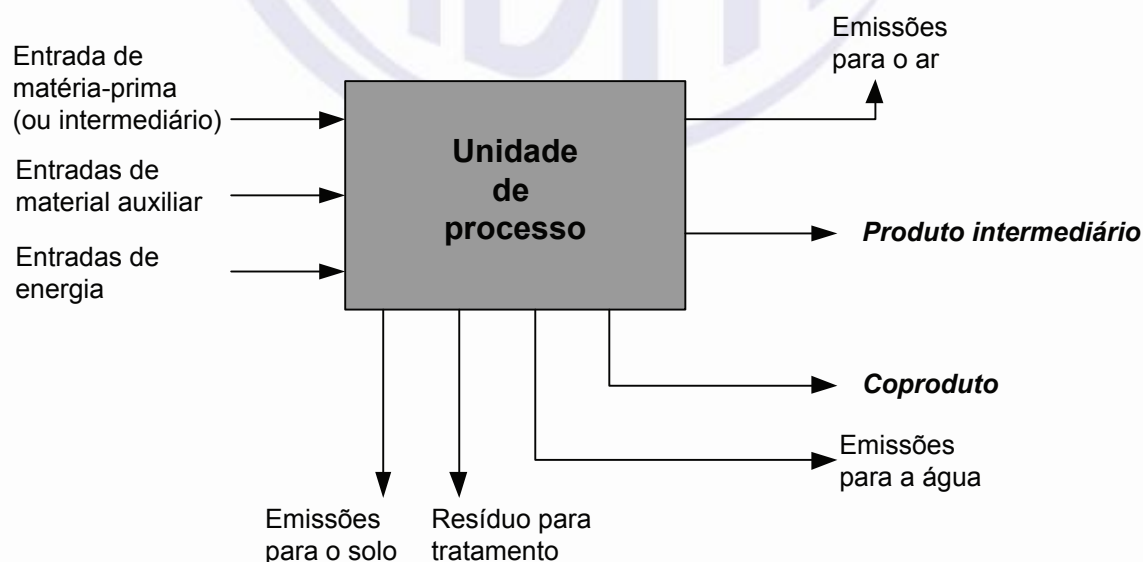


Figura 4 – Exemplo conceitual de descrição da unidade de processo

Outro exemplo de descrição de unidade de processo para a produção de vidro incolor oco é mostrado na Figura 5, com uma lista associada de entradas e saídas.

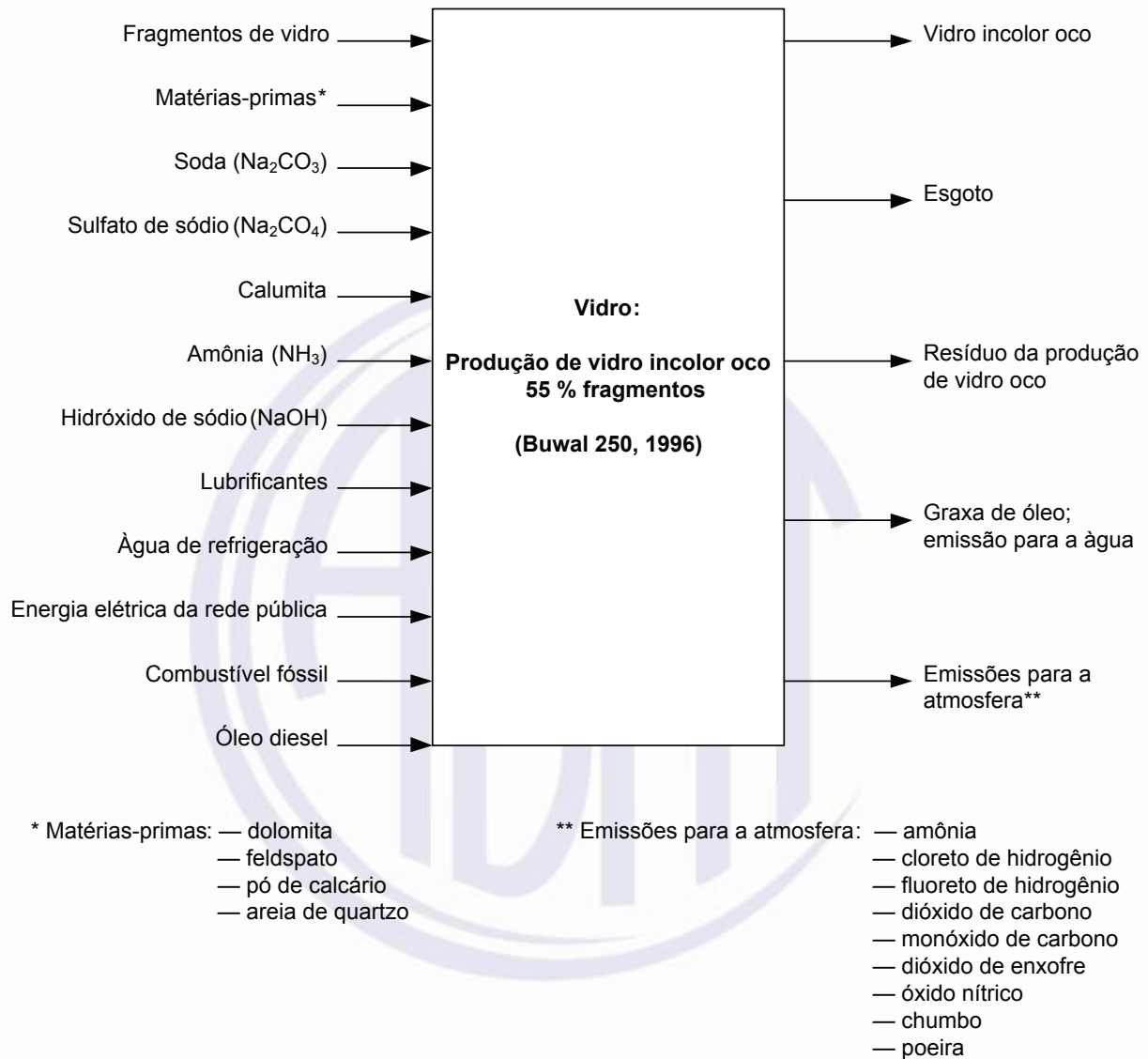


Figura 5 – Exemplo da descrição de unidade de processo para a produção de vidro incolor oco (1 de 2)

ABNT ISO/TR 14040:2014

Módulo: Vidro: produção de vidro incolor oco, 55 % de fragmentos (Buwal 250, 1996)			
Seção: produção de embalagem			
Entrada	Categorias de material	Unidade	Quantidade
Fragmentos de vidro; matéria-prima secundária	Produto de outros sistemas	kg	601,30
Dolomita; matéria-prima	Fluxo elementar	kg	72,50
Feldspato; matéria-prima	Fluxo elementar	kg	31,10
Pó de pedra calcária; matéria-prima	Fluxo elementar	kg	27,00
Areia de quartzo; matéria-prima	Fluxo elementar	kg	253,10
Soda (Na_2CO_3)	Produto intermediário	kg	62,80
Sulfato de sódio (Na_2SO_4)	Produto intermediário	kg	3,20
Calumita	Produto intermediário	kg	6,50
Amônia (NH_3)	Produto intermediário	kg	0,30
Hidróxido de sódio (NaOH 50 %)	Produto intermediário	kg	21,40
Lubrificantes	Produto intermediário	kg	0,662
Água de refrigeração	Fluxo elementar	m^3	1,70
Energia elétrica da rede pública (Suíça)	Produto intermediário	$\text{kW}\cdot\text{h}$	291,00
Óleo diesel (produção)	Produto intermediário	kg	0,14
Combustível (incineração integrada)	Produto intermediário	kg	152,4
Saída			
Vidro incolor oco	Produto intermediário	kg	1 000,00
Esgoto	Produto intermediário	m^3	1,68
Resíduo da produção de vidro oco	Produto intermediário	kg	4,44
Resíduo especial da produção de vidro oco	Produto intermediário	kg	0,65
Amônia; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	0,72
Cloreto de hidrogênio; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	53,3
Fluoreto de hidrogênio; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	14,80
Dióxido de carbono; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	kg	521
Monóxido de carbono; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	27,80
Dióxido de enxofre; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	1 292,00
Óxido nítrico; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	1 158,80
Chumbo; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	44,60
Poeira; emissão para a atmosfera	Fluxo elementar	g	589,60
Graxa e óleo; emissão para a água	Fluxo elementar	g	42,00

Figura 5 – Exemplo da descrição de unidade de processo para a produção de vidro incolor oco (2 de 2)

5.4 Coleta de dados inicial em cada unidade de processo

O procedimento de coleta de dados pode ser guiado pelos resultados de uma pesquisa inicial da disponibilidade de dados envolvendo uma pequena amostra dos *sítes* onde os dados vão ser eventualmente coletados.

Pode ser uma boa ideia projetar e encaminhar um questionário aos fornecedores, o qual eles podem copiar e encaminhar aos seus próprios fornecedores. Porém um questionário isoladamente não é o suficiente. Mesmo o questionário mais explícito, com exemplos e explicações, não garante que todos compreendam as perguntas da mesma forma. As respostas, portanto, devem ser tratadas com cuidado. Contatos por telefone antes e depois do encaminhamento do questionário podem aumentar tanto o número de respostas quanto a qualidade destas. Para dados importantes, pode ser necessário visitar a empresa a fim de assegurar que os dados estejam corretos.

Ao trabalhar com empresas estrangeiras, convém que seja dada atenção especial às unidades e às abreviaturas, que podem parecer óbvias na língua nativa de uma pessoa, mas podem ser incompreensíveis ou confusas para outras, por exemplo, “bbl”, “el”, “ha”, “t”, “ton”. Solicitar que nenhuma abreviatura seja usada e que as unidades SI sejam utilizadas quando aplicável.

A informação geral requerida para cada unidade de processo pode ser estruturada como a seguir:

- unidade de referência (por exemplo, “Os dados foram fornecidos por quilograma de óleo”). A unidade de referência de uma unidade de processo poderia ser um ou mais dos fluxos de entrada ou de saída de material ou energia. A unidade de referência pode também representar certo período de tempo (por exemplo, “produção anual”);
- o que os dados incluem, isto é, o começo e o fim da unidade de processo e se os dados incluem ou não substâncias auxiliares, embalagem, limpeza, administração, *marketing*, pesquisa & desenvolvimento, instalações de laboratório, atividades relacionadas aos empregados (aquecimento, iluminação, roupas de trabalho, transporte, cantina, toaletes), máquinas e manutenção. Convém que seja também declarado se os dados se referem apenas a condições normais de operação ou se incluem também condições de parada/partida e situações de emergência razoavelmente previsíveis;
- localização geográfica da instalação;
- a tecnologia aplicada/o nível tecnológico;
- se a unidade de processo produz mais de um produto, dados relevantes para a alocação das trocas ambientais, se a alocação foi feita e, caso afirmativo, como foi feita.

A informação a seguir pode ter que ser especificada para cada entrada ou saída individual:

- o período durante o qual os dados foram coletados e se os dados representam uma média de todo o período indicado ou somente partes dele;
- como os dados foram coletados e quão representativos eles são (por exemplo, “1 amostra por mês”, “medições contínuas”, “calculado a partir do consumo registrado”, “estimado”), incluindo número de locais de medição, métodos de medição, métodos de cálculo (incluindo como a média é calculada) e a significância de possíveis exclusões e pressupostos;
- nome e afiliação da pessoa responsável pela coleta de dados e a data da coleta;
- procedimento de validação.

ABNT ISO/TR 14040:2014

Convém que as entradas e saídas sejam, na medida do possível, fornecidas com indicação da incerteza (preferivelmente com informação estatística como desvio-padrão e tipo de distribuição, mas pelo menos como um intervalo). Convém que seja declarada a origem de um fluxo de entrada (por exemplo, “água de sistema hidráulico privado”), assim como o destino de fluxos de saída (por exemplo, “para instalação de tratamento de águas residuais”). Convém que seja fácil visualizar se o fluxo vem do/vai para o meio ambiente (por exemplo, águas residuais purificadas lançadas em um córrego) ou vai para/vem de outro processo técnico (por exemplo, lodo lançado em terra agrícola). Para alguns fluxos, é também importante indicar a qualidade (por exemplo, conteúdo de matéria seca, conteúdo de óleo, conteúdo energético).

Os transportes são preferencialmente reportados como unidade de medidas de processos separados. Um sistema de transporte pode ser subdividido em infraestrutura fixa (por exemplo, estradas, linhas, tubulações, portos, estações), portador móvel (por exemplo, caminhão, avião, contêiner) e fonte de energia (por exemplo, diesel, eletricidade). Para cada modo de transporte, os seguintes valores podem ser reportados:

- tipo e quantidade de energia em relação à distância (por exemplo, em km) quanto ao desempenho do transporte (massa x distância, por exemplo kg·km);
- trocas ambientais com relação à distância quanto ao desempenho do transporte;
- porcentagens de carga média, incluindo viagens de retorno vazias e os fatores de ajustamento utilizados para isso.

5.5 Estimativa inicial de fluxos de material e de energia

Com base na coleta inicial de dados, uma estimativa preliminar dos fluxos de material e de energia é elaborada como mostrado pelo exemplo de garrafas de vidro nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Entradas de sólidos para garrafas de vidro, listadas por ordem decrescente de conteúdo

Material	Quantidade	Total cumulativo
Carvão (lignita e mineral) ^a	53,1kg	53,1
Óleo bruto ^a	43,7 kg	96,8
Areia ^a	8,7 kg	105,5
Sucata de folha de flandres e aço de outros sistemas ^a	7,3 kg	112,8
Pedra calcária e cal ^a	6,9 kg	119,7
Peças de vidro quebradas de outros sistemas ^a	6,8 kg	126,5
Gás natural (6,22 m ³) ^a	4,9 kg	131,4
Hidróxido de sódio ^a	4,5 kg	135,9
Madeira ^a	4,0 kg	139,9
Cloreto de sódio ^a	2,7 kg	142,6
Acido sulfúrico ^a	1,1 kg	143,7
Cola ^a	0,7 kg	144,4
Caulim e adesivo ^b	0,6 kg	145,0
Sabão ^b	0,5 kg	145,5
Sulfato de sódio	0,06 kg	145,56
Hipoclorito	0,05 kg	145,61
Óleo de rolagem	0,048 kg	145,658
Cloro	0,030 kg	145,688
Clorato de sódio	0,030 kg	145,718
Oxigênio	0,030 kg	145,748
Estanho ^b	0,025 kg	145,773
Antracita	0,020 kg	145,793
Dióxido de enxofre	0,020 kg	145,813
Não especificado	0,012 kg	145,825
Peróxido	0,005 kg	145,83
Hidrogênio	0,002 kg	145,832
Óxido de cobalto	0,002 kg	145,834
Total	145,8 kg	
+ Tinta de impressão e coloração ^b não há dados disponíveis		
+ Água	7 000 litros	
^a Ver texto sob regras de decisão para contribuição de massa em 5.6.1.		
^b Ver texto sob regras de decisão para relevância ambiental em 5.6.3.		

ABNT ISO/TR 14040:2014

Tabela 5 – Processos consumidores de energia nas fases do ciclo de vida de garrafas de vidro, divididos entre eletricidade diretamente consumida, processos térmicos etc., transporte e matéria-prima

Processo consumidor de energia – diretamente utilizada	Eletricidade %	Térmica etc. %	Transporte %	Conteúdo energético da matéria-prima %
Extração e refino das matérias-primas	0,1	2,6		
Produção do vidro	4,5	14,2		
Lavagem e engarrafamento	64,4	61,4		
Uso (refrigeração na etapa de consumo)	15,9			
Recuperação (limpeza das peças de vidro)	0,1			
Manipulação de resíduos incluindo incineração				2,9
Rótulo – total no ciclo de vida	4,4	8,8		60,6
Tampas de garrafas – total no ciclo de vida	10,2	10,5		12,9
Engradados – total no ciclo de vida	0,5	2,5		23,6
Distribuição			79,1	
Transporte excetuando distribuição			20,9	
Totais %	100	100	100	100
Totais em kW·h ou MJ	78 kW·h	750 MJ	743 MJ	67 MJ

5.6 Aplicação de regras de decisão

As seguintes regras de decisão podem ser aplicadas consecutivamente.

5.6.1 Regras de decisão para contribuição de massa

Decisões baseadas na massa para exclusão de entradas de materiais têm sido usadas frequentemente. Regras empíricas como a exclusão de materiais que contribuem com menos de 5 % para as entradas de massa de uma unidade de processo ou daqueles que contribuem com menos de 1 % para a entrada total de massa no sistema têm sido popularizadas na literatura. Contudo, sob o ponto de vista da qualidade dos dados, convém que seja dada preferência às regras de decisão que sejam baseadas na contribuição cumulativa para o sistema em estudo, em vez da contribuição de quaisquer materiais individuais. Uma regra de decisão apropriada seria exigir a inclusão de todos os materiais que cumulativamente superam uma porcentagem fixa do total das entradas de massa para o sistema de produto.

EXEMPLO Para o sistema de garrafas de vidro na Tabela 4 foi estabelecida como regra de decisão que a soma de todos os materiais incluídos representasse mais de 99 % do fluxo total de entrada de massa no sistema. Com base nesta regra de decisão, somente os materiais identificados com um único asterisco são incluídos. Os materiais restantes podem ser excluídos da análise posterior.

5.6.2 Regras de decisão para a energia

Basear a inclusão de processos apenas em critérios de massa pode conduzir a não consideração de dados importantes. Ao mesmo tempo em que a massa é um indicador importante da significância dos materiais, alguns materiais são muito mais intensivos em energia do que outros. É, portanto, recomendável suplementar a regra de decisão baseada na massa com uma regra de decisão baseada no requisito de energia cumulativa do sistema analisado.

EXEMPLO Para o sistema de garrafas de vidro, os requisitos de energia estão listados na Tabela 5. Esta análise mostra alguns processos importantes que poderiam ter sido excluídos se a análise tivesse sido baseada somente na massa seca das entradas. Tanto “Lavagem e engarrafamento” quanto “Uso (refrigeração na etapa de consumo)” têm entradas muito baixas de materiais, mas são responsáveis pela principal parcela do requisito de energia. Uma regra de decisão para a inclusão pode ser de que a soma de todos os processos incluídos represente mais que 99 % da demanda total de energia do sistema.

5.6.3 Regras de decisão para a relevância ambiental

O critério de massa aplicado no exemplo do vidro pode ser suplementado por um critério para relevância ambiental.

Uma avaliação qualitativa dos materiais que se espera que contribuam com emissões tóxicas importantes leva à inclusão adicional dos materiais identificados por meio da nota de rodapé b na Tabela 4.

Uma regra de decisão quantitativa para a relevância ambiental pode ser estabelecida para cada categoria individual de dados ou categoria de avaliação de impacto. No exemplo de garrafas de vidro, é aplicada uma regra de decisão que inclui processos cuja contribuição cumulativa cobre 90 % da quantidade inicialmente calculada para cada categoria.

EXEMPLO Para a categoria de impacto “Toxicidade humana, ar”, isso envolve um exame mais cuidadoso das categorias de dados “Chumbo para o ar” e “Óxidos de nitrogênio para o ar”, pois estes constituem 90 % da contribuição para a categoria (ver Tabela 6). Isso conduz à inclusão da produção de vidro como um processo separado devido à emissão de chumbo (introduzido pelas peças de vidro quebradas recebidas de outros sistemas).

Tabela 6 – Processos do sistema de garrafas de vidro responsáveis por pelo menos 90 % da contribuição para a categoria potencial de impacto “Toxicidade humana, ar”

Chumbo (56 %)	Produção de vidro (72 %) Outros processos térmicos (20 %) Produção de eletricidade (7 %) Processos de transporte (1 %)
Óxidos de nitrogênio (34 %)	Processos de transporte (73 %) Processos térmicos etc. (15 %) Produção de eletricidade (12 %)

5.7 Entradas, saídas e fronteiras do sistema estabelecidas

Utilizando o processo esquematizado anteriormente, as entradas e saídas de materiais a serem incluídas no estudo de ICV e a fronteira do sistema são estabelecidas. Este processo permite buscar informações adicionais em proporção à magnitude absoluta da massa, da energia e da relevância ambiental. Estas regras de decisão, portanto, dirigem de forma inteligente e seletiva o dispêndio de tempo e recursos para aquelas áreas mais capazes de melhorar a qualidade geral do estudo de ICV.

ABNT ISO/TR 14040:2014

6 Exemplos de evitar a alocação

6.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044

Para procedimentos de alocação, a ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.1, declara em termos gerais:

“As entradas e saídas devem ser alocadas aos diferentes produtos de acordo com critérios definidos de forma clara, que devem ser documentados e explicados em conjunto com o procedimento de alocação.

A soma das entradas e saídas de um processo elementar que são alocadas deve ser igual à soma dessas entradas e saídas antes da alocação.

Sempre que diversas alternativas de procedimentos de alocação parecerem aplicáveis, uma análise de sensibilidade deve ser conduzida para explicitar as consequências da substituição da abordagem selecionada.

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.2, declara:

“O estudo deve identificar os processos compartilhados com outros sistemas de produto e tratá-los de acordo com o procedimento passo-a-passo³⁾ apresentado abaixo:

- a) **Passo 1:** *Convém que a alocação seja evitada, sempre que possível, por meio de:*
 - 1) *divisão dos processos elementares a serem alocados em dois ou mais sub processos e coleta dos dados de entrada e saída relacionados a esses sub processos;*
 - 2) *expansão do sistema de produto de modo a incluir as funções adicionais relacionadas aos coprodutos, levando em consideração os requisitos de 4.2.3.3.*
- b) **Passo 2:** *Quando a alocação não puder ser evitada, convém que as entradas e saídas do sistema sejam subdivididas entre seus diferentes produtos ou funções de maneira a refletir as relações físicas subjacentes entre eles; isto é, convém que seja refletida a maneira pela qual as entradas e saídas são alteradas por mudanças quantitativas nos produtos ou funções providos pelo sistema.*
- c) **Passo 3:** *Quando uma relação física por si só não puder ser estabelecida ou usada como base para a alocação, convém que as entradas sejam alocadas entre os produtos e funções de uma maneira que reflita outras relações entre eles. Por exemplo, dados de entrada e saída podem ser alocados entre coprodutos proporcionalmente ao seu valor econômico.*

Nota: o passo 1 não faz, formalmente, parte do procedimento de alocação.

6.2 Visão geral

Esta Seção apresenta dois exemplos de formas de se evitar a alocação que explicitam a flexibilidade na aplicação da orientação específica da ABNT NBR ISO 14044:2009. Os dois exemplos em 6.3 e 6.4 são ilustrados na Figura 6.

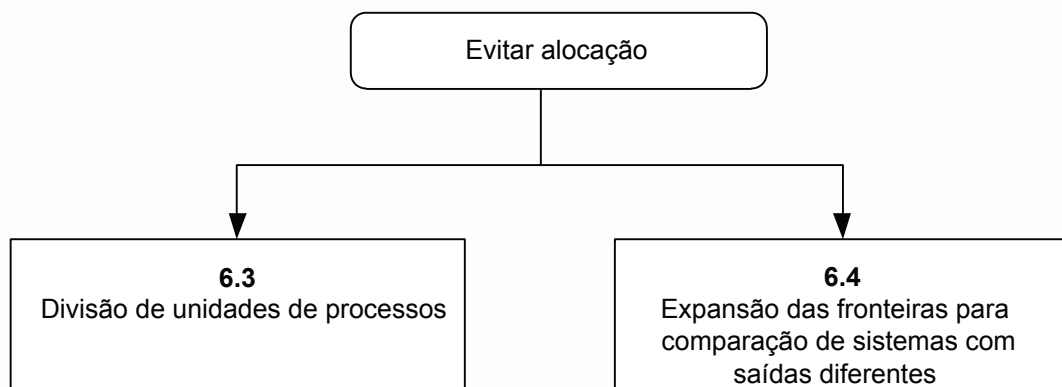


Figura 6 – Visão geral dos exemplos para se evitar a alocação

O exemplo em 6.3 descreve a divisão da unidade de processo como forma de evitar a alocação. O exemplo em 6.4 consiste em expandir as fronteiras do sistema de tal maneira que as duas opções modificadas produzam as mesmas quantidades dos mesmos produtos finais. Esse método garante que ambas as opções produzam as mesmas quantidades de, por exemplo, plástico e calor, de modo que o consumo total de recurso se as emissões para o meio ambiente possam ser comparadas.

6.3 Exemplo de como evitar a alocação pela divisão da unidade de processo em dois ou mais processos

A alocação é algumas vezes aplicada a produtos cuja fabricação não é intrinsecamente interligada. Isto pode ocorrer, por exemplo, quando a coleta de dados é executada em um dado local sem se detalhar de forma mais aprofundada sobre os processos específicos que ocorrem naquele *síte*.

A alocação desnecessária pode ocasionar vieses significativos, como ilustrado na Figura 7. Neste caso, a alocação entre bobinas revestidas com cromo e bobinas revestidas com material orgânico provoca a alocação de entradas e saídas para o meio ambiente associadas com o consumo de solvente, que ocorre na linha de revestimento orgânico para a produção de bobinas revestidas com cromo. Isto pode ter consequências em todas as fases a montante (se os rendimentos forem diferentes para ambas as linhas de revestimento).

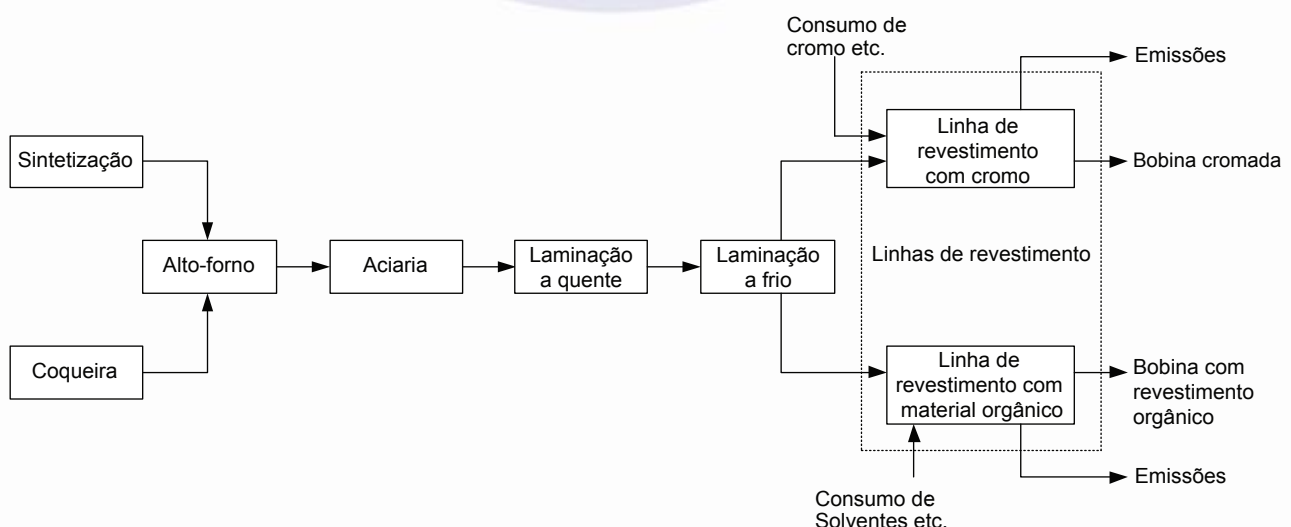


Figura 7 – Sistema onde a alocação pode ser evitada por meio de uma coleta de dados mais precisa e pela divisão em dois diferentes subsistemas

ABNT ISO/TR 14040:2014

Neste caso, se a coleta de dados abrange tanto o revestimento com cromo quanto o revestimento orgânico, é necessário alocar entradas e saídas para o meio ambiente entre as duas linhas. Consequentemente, é necessário coletar dados separadamente, com a finalidade de segmentar o processo elementar único da linha de revestimento em dois processos.

6.4 Exemplo de alocação evitada por expansão das fronteiras para a comparação de sistemas com saídas diferentes

Materiais plásticos de embalagem, depois da utilização pelo consumidor, podem ser processados, gerando produtos diferentes, conforme a opção de recuperação. Como um exemplo, a Figura 8 mostra entradas e saídas associadas com alternativas de processamento de 1 kg de resíduo plástico. Um exemplo inclui a reciclagem do material e tem filme plástico como seu coproduto. A outra opção inclui recuperação de energia e produz calor como coproduto. Já que a reciclagem de materiais e a recuperação de energia geram produtos diferentes, o consumo de recursos e as emissões para o meio ambiente, devido a estas duas opções, não podem ser comparados diretamente.

Para facilitar uma comparação dos inventários destas duas opções, uma expansão das fronteiras do sistema pode ser aplicada, como ilustrado na Figura 9.

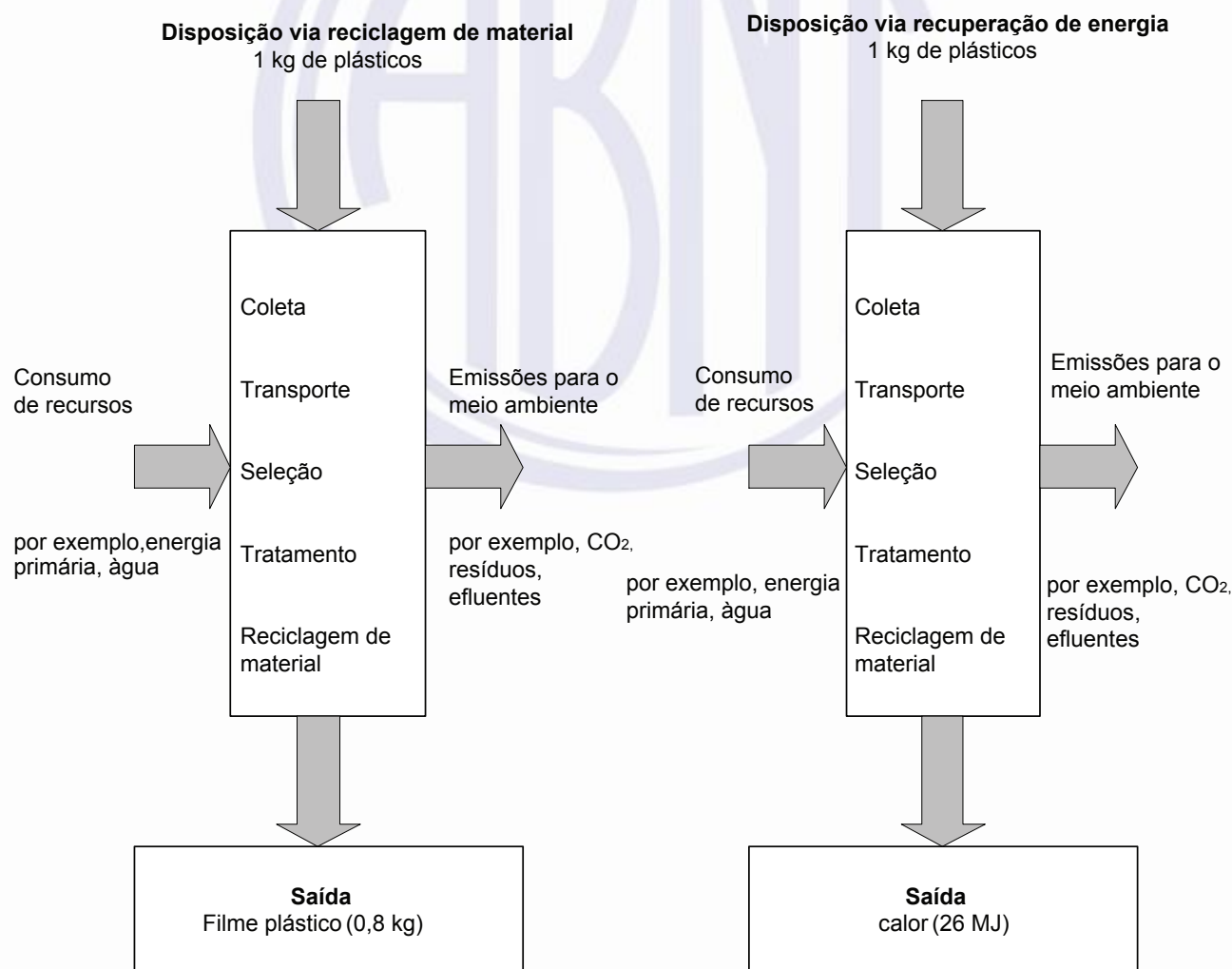


Figura 8 – Exemplo de reciclagem de material e de recuperação de energia

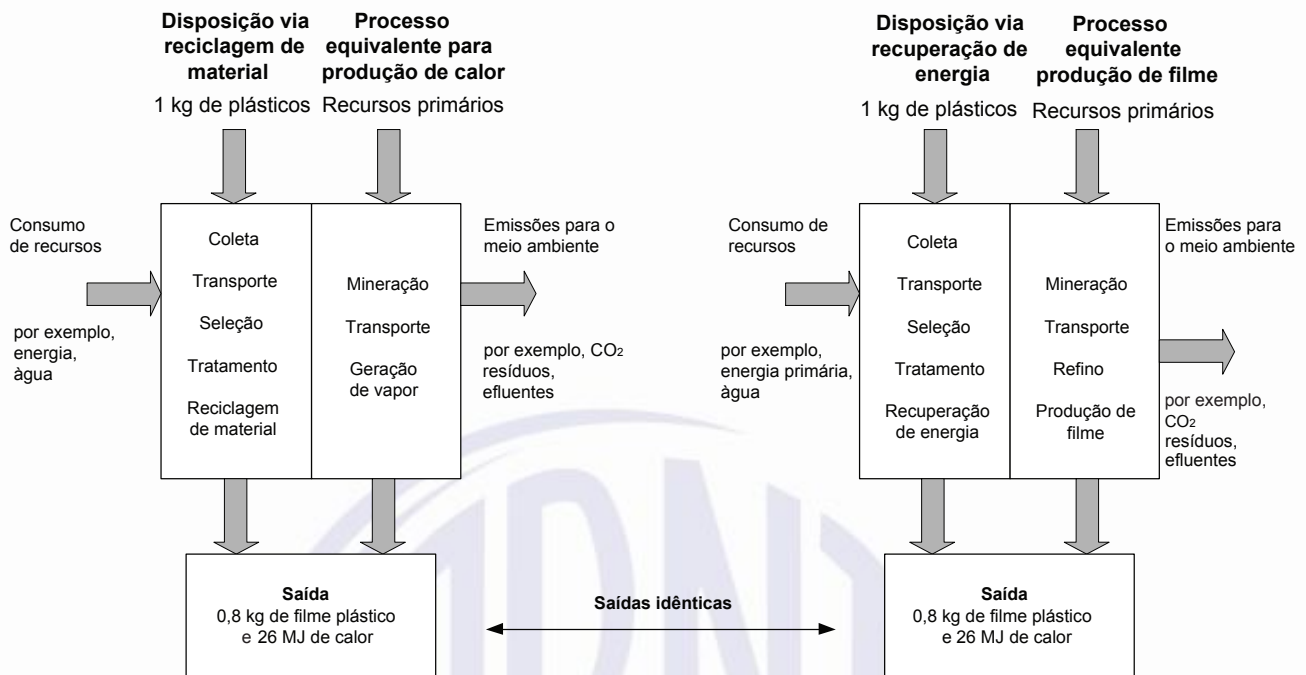


Figura 9 – Exemplo de expansão das fronteiras do sistema

Este método expande as fronteiras do sistema de modo que as duas opções modificadas produzam as mesmas quantidades dos mesmos produtos finais. A rota de reciclagem de material é suplementada com um processo equivalente (também conhecido como um processo complementar), que gera 26 MJ de calor a partir de recursos primários. Da mesma forma, um processo equivalente que gera 0,8 kg de filme plástico a partir de recursos primários é adicionado à rota de recuperação de energia. Uma vez que este método garante que ambas as opções produzem as mesmas quantidades de plástico e de calor, o consumo total de recurso se as emissões para o meio ambiente podem ser comparados.

A mesma abordagem pode ser empregada para comparações de mais de duas opções de reciclagem com produtos diferentes.

Os processos suplementares a serem adicionados aos sistemas são aqueles que seriam realmente envolvidos quando se alterna entre os sistemas analisados. Para identificar isto, é necessário saber:

- se o volume da produção dos sistemas de produto estudados flutua com o tempo (caso em que diferentes submercados com suas tecnologias podem ser relevantes), ou o volume da produção é constante (caso em que a margem de base de carga marginal é aplicável);
- para cada submercado independentemente, se uma unidade de processo é afetado diretamente (caso em que esta unidade de processo é aplicável), ou as entradas são supridas por um mercado aberto, caso em que é igualmente necessário saber:
 - se quaisquer dos processos ou tecnologias que suprem o mercado estão restritos (caso em que eles não são aplicáveis, uma vez que sua saída não muda a despeito de mudanças na demanda);
 - qual dos fornecedores/tecnologias não restritos tem os custos de produção mais altos ou mais baixos e, conseqüentemente, é o fornecedor/tecnologia marginal quando a demanda pelo produto suplementar for geralmente decrescente ou crescente, respectivamente.

Ver também 9.3.3, a seguir, em relação à cobertura tecnológica.

ABNT ISO/TR 14040:2014

7 Exemplos de alocação

7.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044

Para procedimentos de alocação, a ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.2, declara:

“O estudo deve identificar os processos compartilhados com outros sistemas de produto e tratá-los de acordo com o procedimento passo-a-passo apresentado abaixo:

- a) **Passo 1:** *Convém que a alocação seja evitada, sempre que possível, por meio de:*
 - 1) *divisão dos processos elementares a serem alocados em dois ou mais sub processos e coleta dos dados de entrada e saída relacionados a esses sub processos;*
 - 2) *expansão do sistema de produto de modo a incluir as funções adicionais relacionadas aos coprodutos, levando em consideração os requisitos de 4.2.3.3.*
- b) **Passo 2:** *Quando a alocação não puder ser evitada, convém que as entradas e saídas do sistema sejam subdivididas entre seus diferentes produtos ou funções de maneira a refletir as relações físicas subjacentes entre eles; isto é, convém que seja refletida a maneira pela qual as entradas e saídas são alteradas por mudanças quantitativas nos produtos ou funções providos pelo sistema.*
- c) **Passo 3:** *Quando uma relação física por si só não pode ser estabelecida ou usada como base para a alocação, convém que as entradas sejam alocadas entre os produtos e funções de uma maneira que reflita outras relações entre eles. Por exemplo, dados de entrada e saída podem ser alocados entre coprodutos proporcionalmente ao seu valor econômico.*

Nota: Formalmente o passo 1 não é parte do procedimento da alocação.

7.2 Visão geral

Os dois exemplos selecionados são apresentados de acordo com o procedimento passo a passo prescrito pela ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.2, e baseados na resposta à pergunta: É possível alocar de uma maneira que reflita os relacionamentos físicos subjacentes? Um exemplo de resposta sim, isto é, o exemplo de 7.3.1, em que a alocação é conduzida com base em relacionamentos puramente físicos. A subseção 7.3.2 deste Relatório Técnico fornece um exemplo em que relacionamentos físicos para alocar não são disponíveis e uma rota puramente econômica é adotada.



Figura 10 – Visão geral dos exemplos para o procedimento de alocação

7.3 Descrição dos exemplos

7.3.1 Exemplo de alocação com base em relacionamentos puramente físicos

Em estudos de ICV de um sistema de embalagem, a distribuição a partir do embalador aos atacadistas/varejistas inclui a embalagem preenchida com os bens. Se o objetivo do estudo exigir que o inventário do ciclo de vida das embalagens seja realizado separadamente daquele dos seus conteúdos, o problema pode então ser resolvido pela alocação dos dados do inventário entre as embalagens e os conteúdos.

As quantidades de consumo de combustível e as emissões nos transportes dependem de vários fatores como carga, velocidade e condições das estradas, mas este exemplo focaliza somente amassa e o volume da carga. Por simplificação ¹, uma interdependência linear entre o consumo de combustível e a massa da carga é aplicada ao caminhão carregado. Por outro lado, a quantidade de combustível consumida no retorno do caminhão sem carga é suposta constante (Figura 11). As mesmas simplificações são adotadas no caso das emissões.

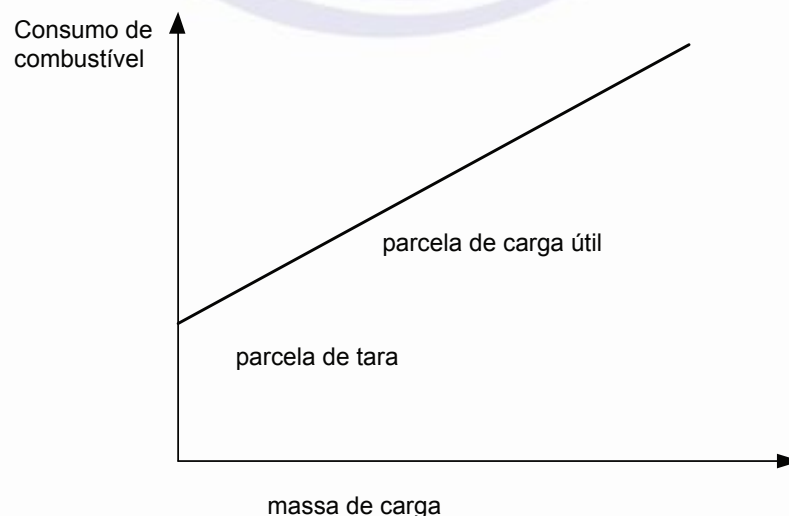


Figura 11 – Consumo de combustível de um caminhão em função da carga transportada

¹ Toda simplificação precisa ser justificada para evitar seu uso incorreto.

ABNT ISO/TR 14040:2014

A finalidade de um transporte é mover a maior quantidade possível de mercadorias, mas uma parte da capacidade do caminhão é sempre consumida pelas embalagens necessárias para o transporte. Daí, a massa das embalagens, assim como seu projeto, tem um efeito considerável na carga máxima de mercadorias. Para a alocação, é importante verificar inicialmente se o caminhão é usado até sua capacidade de massa ou de volume e determinar a parcela da embalagem. Isso exige cinco parâmetros básicos, como a seguir:

- capacidade máxima de massa do caminhão;
- capacidade máxima de volume do caminhão;
- densidade dos conteúdos;
- carga real dos conteúdos;
- carga real das embalagens.

A seguir são dados dois exemplos de alocação para utilização da capacidade de massa e de volume do caminhão, assumindo-se que a capacidade máxima do caminhão é igual à carga real:

- a) Uso da capacidade de massa: Um caminhão com massa total máxima de 40 t e capacidade máxima de carga útil de 25 t transporta 25 t de embalagens cheias, isto é, sua capacidade total de massa. A parcela das embalagens é 5 t. Isso significa que 20 % da capacidade é utilizada pelas embalagens, e, correspondentemente, 20 % dos impactos ambientais causados por este transporte (tara e carga útil) têm que ser atribuídos às embalagens.
- b) Uso da capacidade de volume: O mesmo caminhão é carregado até sua capacidade de volume e leva 17 t de embalagens preenchidas com a mesma mercadoria. Duas toneladas das 17 t de carga útil correspondem à embalagem. Devido ao grande volume de material de embalagem utilizado, a carga de mercadoria transportada é de somente 15 t, o que corresponde a 60 % da carga útil máxima. 40 % da capacidade do caminhão é consumida pelas embalagens e, correspondendo a isto, 40 % da tara do caminhão é particionada para as embalagens. No que diz respeito à carga útil total, no entanto, a porcentagem das embalagens é de somente 12 %, o que significa que apenas 12 % dos impactos ambientais causados pela carga útil são atribuíveis às embalagens.

7.3.2 Exemplo de alocação em uma base puramente econômica

O asfalto é produzido nas refinarias de petróleo assim como outros coprodutos como gasolina, querosene, gásóleo e óleo combustível. O processo de refino pode render uma fração em massa de 5 % de asfalto ao lado de uma fração de 95 % de outros coprodutos. Por simplificação², a extração do petróleo, transporte e processo de refino são considerados como uma unidade de processo com um conjunto $\{D\}$ de dados de entrada e de saída incluindo a depleção das reservas de petróleo, consumo de combustível, emissões no transporte e outras emissões, por exemplo, COV, e resíduos, por exemplo, catalisadores gastos, associados ao processo de refino, como mostrado na Figura 12.

² Toda simplificação precisa ser justificada para evitar seu uso incorreto.

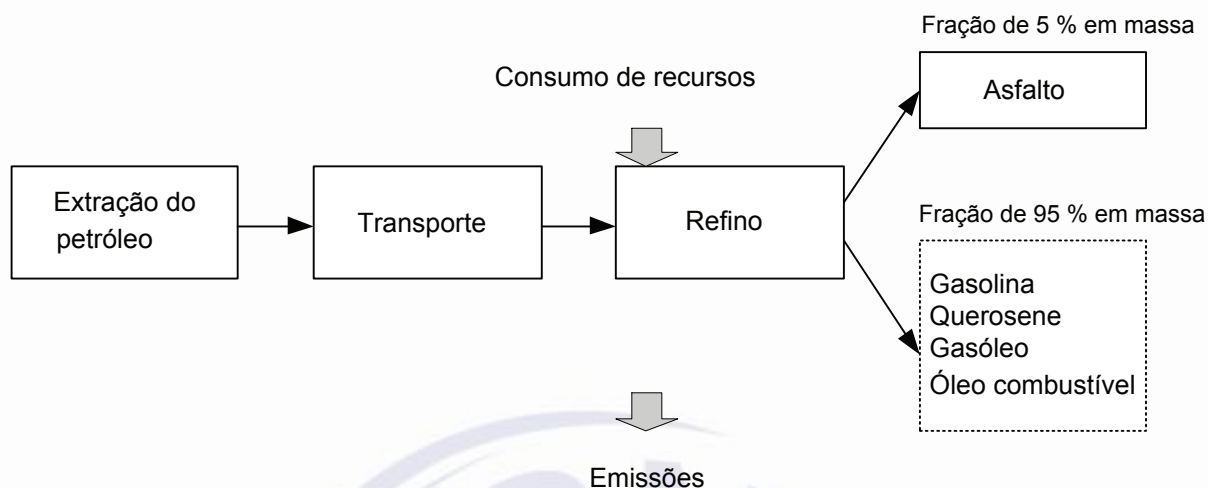


Figura 12 – Exemplo de processo de produção de asfalto

Não há nenhuma maneira de se evitar a alocação pela identificação de um processo que produza somente asfalto, porque todos os coprodutos são elaborados a partir da mesma entrada de petróleo bruto.

Consequentemente, precisa ser identificado um fator de alocação F que divida o conjunto $\{D_i\}$ de dados entre o asfalto e os outros coprodutos de forma adequada. Todos os dados $\{D_i\}$ multiplicados por este fator F representam as cargas ambientais que têm que ser atribuídas ao asfalto.

O passo seguinte é determinar se um parâmetro físico pode ser identificado como base para o cálculo do fator de alocação. De acordo com a ABNT NBR ISO 14044, esses relacionamentos físicos refletem as mudanças nas entradas e saídas em função de mudanças quantitativas nos produtos entregues pelo sistema.

Um procedimento que é utilizado para encontrar tal parâmetro físico consiste em variar a relação entre os diferentes coprodutos, visando verificar como o conjunto de dados varia com essa mudança na saída de produtos.

Tal procedimento falha neste exemplo porque a relação entre a massa de asfalto e a massa dos outros coprodutos pode ser variada somente em uma escala pequena, envolvendo mudança significativa dos parâmetros de processo, inclusive do consumo de energia.

Em tal caso, qualquer parâmetro físico, por exemplo, massa, conteúdo energético das matérias-primas, condutividade térmica, viscosidade, massa específica etc., poderia ser considerado com a finalidade de identificar o parâmetro físico que reflete o relacionamento físico subjacente entre o asfalto e os outros coprodutos. A massa tem sido algumas vezes aplicada no caso, mas nenhum entre todos os parâmetros pode ser justificadamente preferível a outros. O fato de que, neste exemplo, a relação entre o asfalto e os outros coprodutos não pode ser variada indica que a alocação física não pode ser aplicada.

Portanto, a terceira escolha proposta na ABNT NBR ISO 14044, isto é, a alocação econômica, pode ser aplicada. Pode-se assumir que, como uma média dos últimos três anos, o preço de mercado de 1 kg do asfalto é 50 % do preço de mercado da média dos outros coprodutos. Isso significa que a motivação da perfuração, bombeamento, transporte e refino do óleo é mais a produção de outros coprodutos do que a produção de asfalto. Então o fator de alocação é $F = 0,5 \times 0,05 = 0,025$, o que significa que 2,5 % de cada um dos dados $\{D_i\}$ está alocado ao asfalto e 97,5 % destes dados aos outros coprodutos. Notar que, no caso de alocação por massa, 5 % de cada um dos dados $\{D_i\}$ teria sido alocado ao asfalto.

ABNT ISO/TR 14040:2014**8 Exemplo de aplicação de procedimentos de alocação para reciclagem****8.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044**

Para reciclagem, a ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.3.1, declara:

- Os princípios e procedimentos de alocação em 4.3.4.1 e 4.3.4.2 também se aplicam às situações de reuso e reciclagem.

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.3.2, declara:

Em tais situações, porém, considerações adicionais são necessárias pelas seguintes razões:

- a) o reuso e a reciclagem (assim como a compostagem, a recuperação de energia e outros processos que podem ser assimilados a reuso/reciclagem) podem implicar que as entradas e saídas associadas a processos elementares para extração e processamento de matérias-primas e disposição final de produtos sejam compartilhadas por mais de um sistema de produto;
- b) o reuso e a reciclagem podem alterar as propriedades inerentes de materiais no uso subsequente;
- c) convém que cuidados específicos sejam tomados ao se definir a fronteira do sistema no que diz respeito a processos de recuperação.

Adicionalmente, a ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.3.3, declara:

Diversos procedimentos de alocação são aplicáveis para reuso e reciclagem. A aplicação de alguns procedimentos é delineada conceitualmente na Figura 2 e destacada a seguir, visando a ilustrar como as restrições acima podem ser enfocadas:

- a) Um procedimento de alocação em ciclo fechado se aplica a sistemas de produto em ciclo fechado. Também se aplica a sistemas de produto em ciclo aberto onde não ocorrem mudanças nas propriedades inerentes do material reciclado. Em tais casos, a necessidade da alocação é evitada uma vez que o uso do material secundário substitui o uso de materiais primários (virgens). O uso inicial de materiais virgens em sistemas de produto em ciclo aberto pode, no entanto, seguir um procedimento de alocação em ciclo aberto, descrito em b).
- b) Um procedimento de alocação em ciclo aberto aplica-se a sistemas de produto em ciclo aberto que transferem material para reciclagem em outros sistemas de produto e o material sofre uma mudança nas suas propriedades inerentes.

Descrição técnica de um Sistema de produto

Procedimento de alocação para reciclagem

Material de um sistema de produto é reciclado no mesmo sistema de produto

Ciclo
fechado

Ciclo

fechado

Material é reciclado sem mudanças em suas propriedades inerentes

Material de um sistema de produto é reciclado em um diferente sistema de produto

Ciclo
aberto

Ciclo
aberto

Material reciclado sofre mudanças em suas propriedade inerentes

ABNT NBR ISO 14044:2009 — Figura 2 — Distinção entre uma descrição técnica de um sistema de produto e procedimentos de alocação para reciclagem

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.3.4, declara:

Convém que os procedimentos de alocação para os processos elementares compartilhados mencionados em 4.3.4.3 utilizem, como base para alocação, caso viável, a seguinte ordem:

- *propriedades físicas (por exemplo, massa);*
- *valor econômico (por exemplo, valor de mercado da sucata ou do material reciclado em relação ao valor de mercado do material primário); ou*
- *o número de usos subsequentes do material reciclado (ver ABNT NBR ISO TR 14049).*

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.4.1, declara:

As entradas e saídas devem ser alocadas aos diferentes produtos de acordo com critérios definidos de forma clara, que devem ser documentados e explicados em conjunto com o procedimento de alocação.

Isso se aplica particularmente aos processos de recuperação entre o sistema de produto original e o subsequente.

8.2 Visão geral

Três exemplos são fornecidos; um caso de ciclo fechado, um caso de ciclo aberto com procedimento de ciclo fechado e um caso “puro” de ciclo aberto. Uma observação é feita quanto ao fato de que não ocorre alocação na reciclagem em ciclo fechado e na reciclagem em ciclo aberto (com procedimento de ciclo fechado).

ABNT ISO/TR 14040:2014

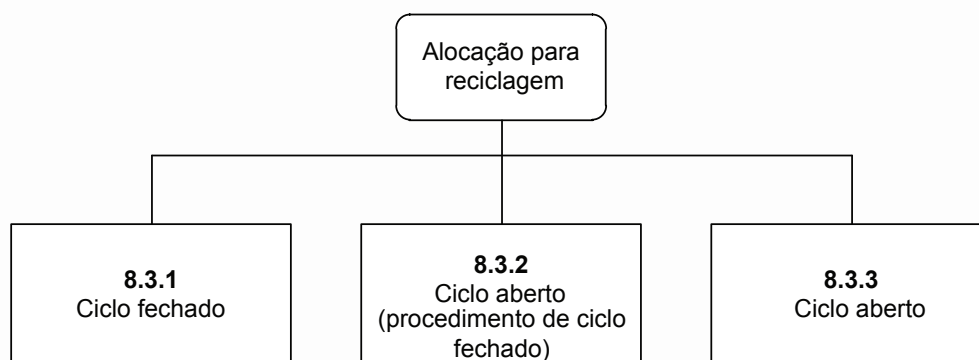


Figura 13 – Visão geral dos exemplos para reciclagem

8.3 Descrição dos exemplos

8.3.1 Exemplo de reciclagem em ciclo fechado

Um processo de manufatura de HFC-134a, usado como um refrigerante alternativo aos fluorocarbonos, é suprido com etileno como matéria-prima, mas uma parcela (0,05 unidades) do etileno sai sem reagir e é tratada como substância a ser reciclada.

Um procedimento de alocação em ciclo fechado pode ser aplicado a este cenário. O etileno da saída desloca uma quantidade equivalente da entrada de etileno necessária para a batelada seguinte, e o consumo líquido de etileno é reduzido a 0,95 unidades por ciclo de fabricação.

O etileno que sai do processo possivelmente não está tão limpo quanto o etileno virgem do fluxo de entrada. Uma etapa de limpeza pode ser adicionada ao processo para trazer o etileno reciclado ao mesmo nível de qualidade do material virgem, o que resulta em uma expansão das fronteiras do sistema estudado. O procedimento de alocação de ciclo fechado permanece aplicável ao sistema expandido e evita a necessidade de alocação. O diagrama de fluxo neste caso é mostrado na Figura 14.

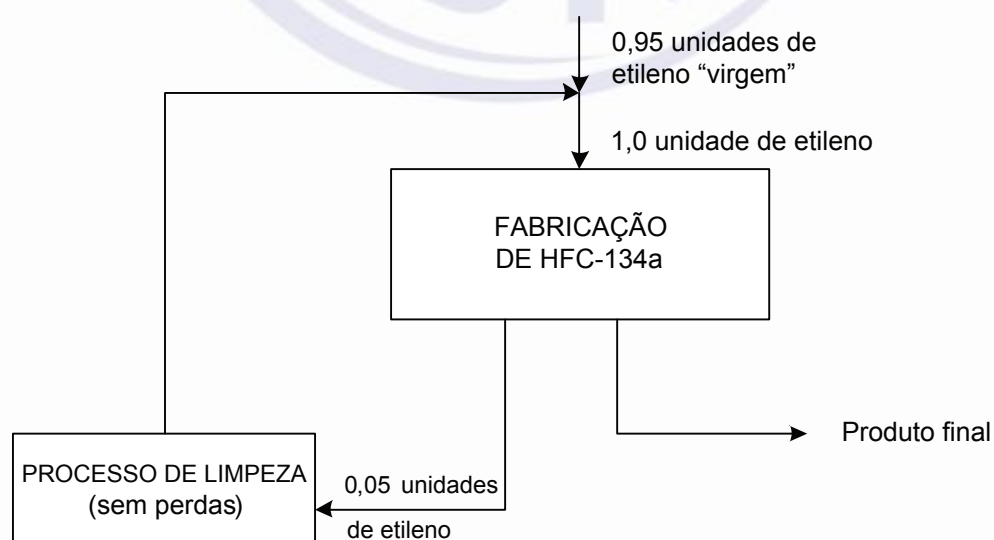


Figura 14 – Diagrama de fluxo do exemplo de reciclagem em ciclo fechado

O consumo líquido de etileno permanece o mesmo no exemplo, mas outros consumos e liberações, por exemplo, o consumo de eletricidade, são adicionados no estudo do inventário de ciclo de vida deste sistema.

8.3.2 Exemplo de ciclo aberto com procedimento de reciclagem em ciclo fechado

Há casos em que a reciclagem em um sistema de produto específico participa em *pools* de materiais reciclados como vidro, aço, alumínio etc., independentes do sistema de produto. O sistema de produto específico fornece matéria-prima secundária para esse *pool* e é suprido de material secundário pelo *pool*. Se a importação e a exportação de matéria-prima secundária entre o *pool* e o ciclo de vida específico do produto são equivalentes, o sistema de produto específico pode ser modelado como reciclagem em ciclo fechado sem qualquer problema. Se há uma exportação ou importação líquidas de matéria-prima secundária, caracteriza-se um ciclo aberto (com procedimento de ciclo fechado) e considerações adicionais quanto à manipulação de coprodutos são necessárias. Um problema de alocação emerge no que diz respeito ao benefício da reciclagem dessas exportações ou importações.

Este exemplo referente à produção de alumínio esclarece o problema e oferece uma proposta para a solução do problema de alocação. A Figura 15 mostra um ciclo de vida simplificado de uma embalagem de alumínio. Na tecnologia “real” que requer a especificação do alumínio para embalagem, é utilizado um percentual fixo de alumínio secundário. Portanto, a quantidade de sucata de metal recuperada é maior do que a capacidade de entrada no sistema de produto. É por essa razão que uma saída líquida de sucata participa em uma reciclagem de ciclo aberto fora do sistema de produto específico. A saída líquida de sucata para o *pool* pode ser considerada um coproduto.

A proposta para resolução deste problema de alocação é a expansão das fronteiras do sistema. A questão-chave é “Qual é o benefício da saída líquida de sucata da produção de alumínio?” A resposta é que a quantidade adicional de sucata no mercado de alumínio:

- aumenta a quantidade de alumínio secundário disponível a qual
- desloca alumínio metálico virgem.

Com o método “expansão da fronteira do sistema para evitar alocação” é possível calcular os efeitos da saída líquida de sucata de alumínio do sistema de produto específico em face do deslocamento de alumínio metálico virgem em outros sistemas de produto, por exemplo, na produção de molduras de alumínio para janelas (Figura 16). O tratamento da saída líquida de sucata da fornalha de reciclagem na Figura 15 causa impactos ambientais adicionais. Mas são considerados os benefícios ambientais associados ao deslocamento de w kg da produção de alumínio virgem na Figura 16. Com este procedimento, é calculada a diferença entre a produção de alumínio a partir de matéria-prima secundária e a produção do mesmo produto, isto é, alumínio, a partir do material virgem. A diferença nos efeitos ambientais entre ambos é o benefício da saída líquida de sucata, que é creditado ao sistema de embalagem de alumínio sob investigação.

Considerando um produto específico, esses efeitos podem ser calculados em um modelo de ciclo fechado de reciclagem baseado em uma divisão tecnológica ajustada entre produção de alumínio virgem e produção de alumínio secundário (Figura 17). Isto exige que os processos “produção de alumínio virgem” e “forno de reciclagem” sejam idênticos ou não muito diferentes no sistema de produto específico e no resto do mercado de alumínio e que as propriedades inerentes do alumínio primário e secundário sejam idênticas ou similares.

Este modelo de reciclagem em ciclo fechado considera os seguintes pressupostos:

- produção da mesma quantidade do material de embalagem de alumínio como na Figura 15, nominalmente 100 kg;
- recuperação da mesma quantidade de sucata de alumínio a partir da produção do produto específico, nominalmente 110 kg.

ABNT ISO/TR 14040:2014

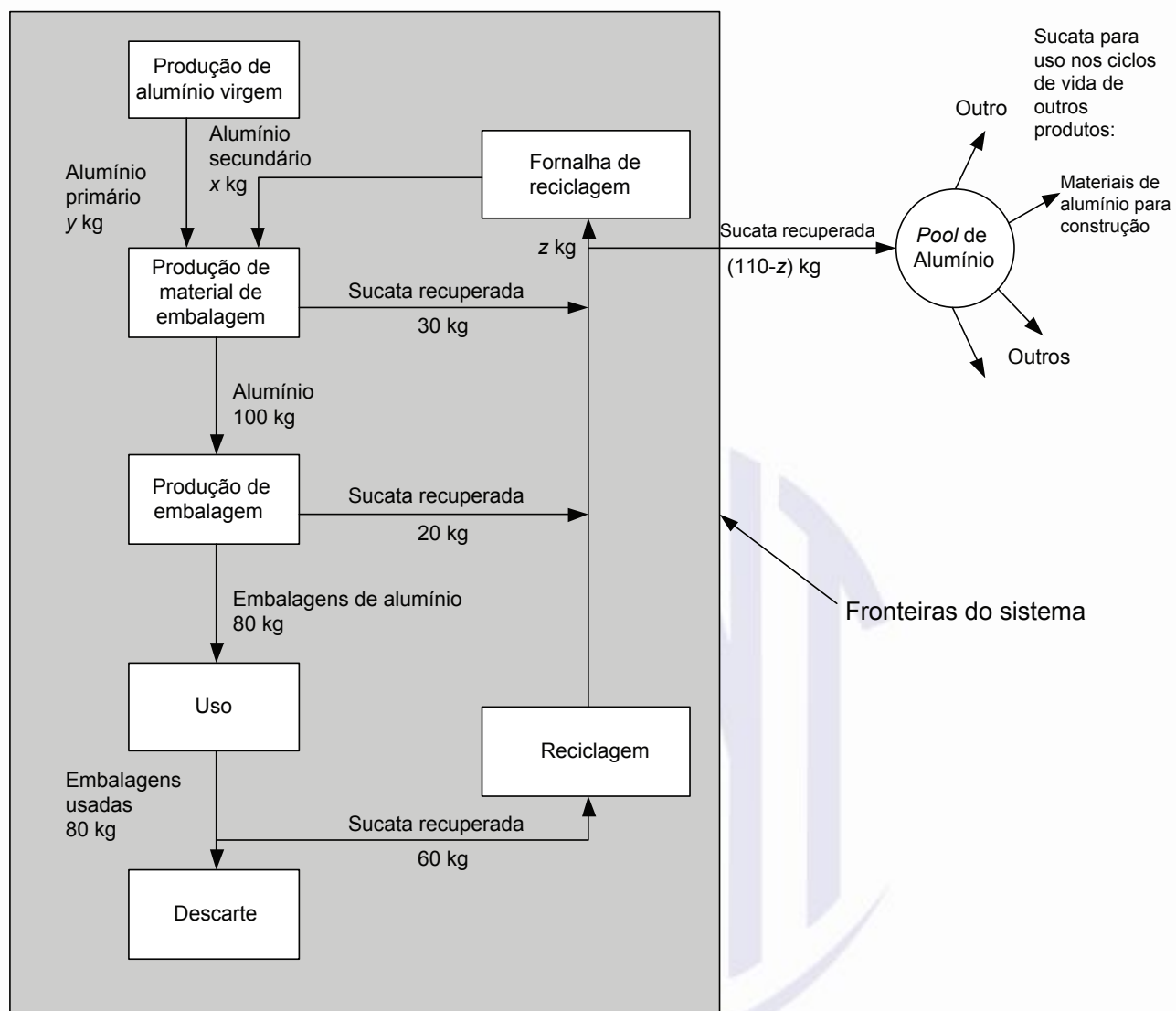


Figura 15 – Ciclo aberto com procedimento de reciclagem em ciclo fechado para embalagens de alumínio (números fictícios)

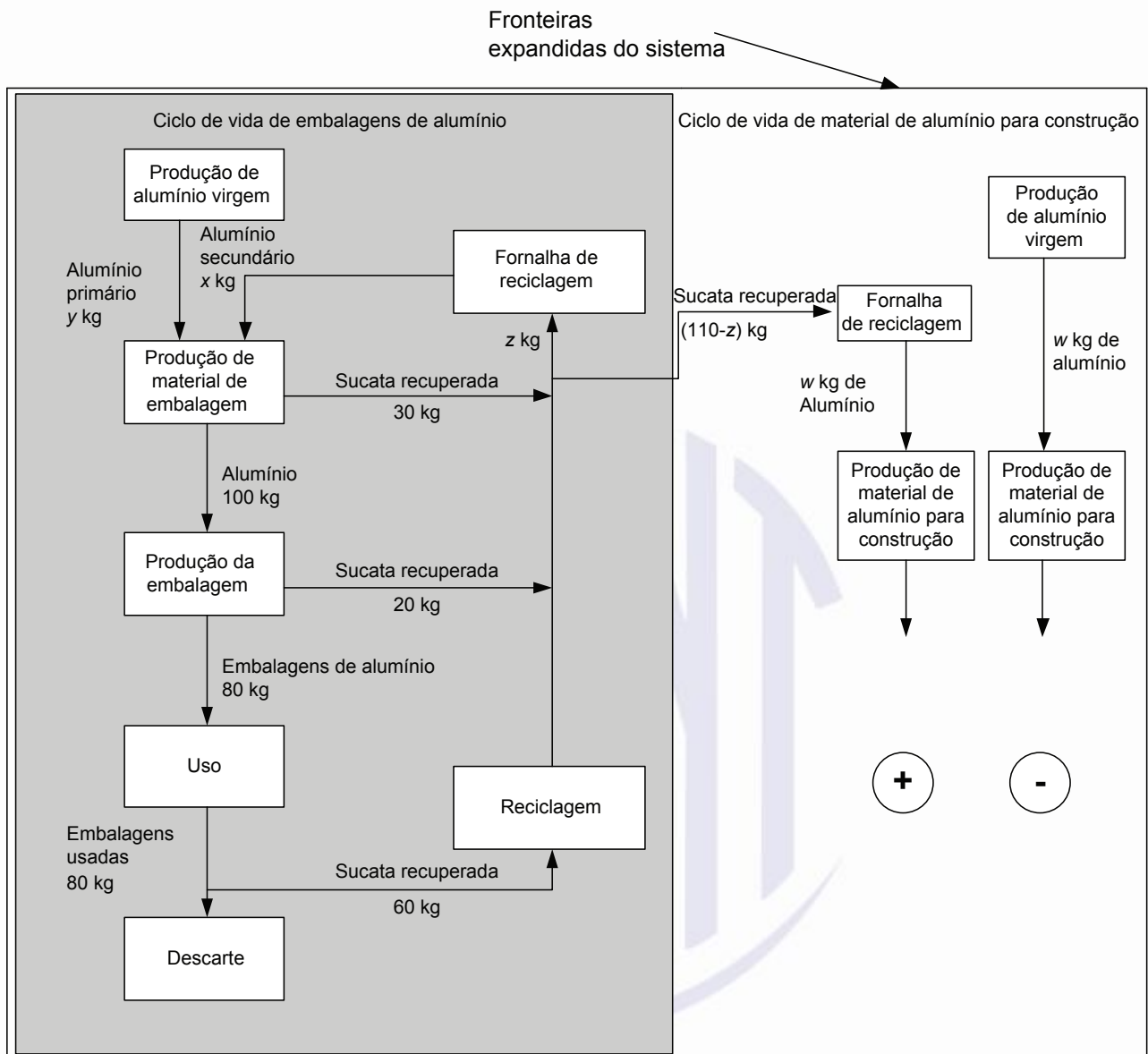


Figura 16 – Ciclo aberto com procedimento de reciclagem em ciclo fechado para embalagens de alumínio com fronteiras do sistema expandidas (exemplo para outros ciclos de vida de produtos: material de alumínio para construção)

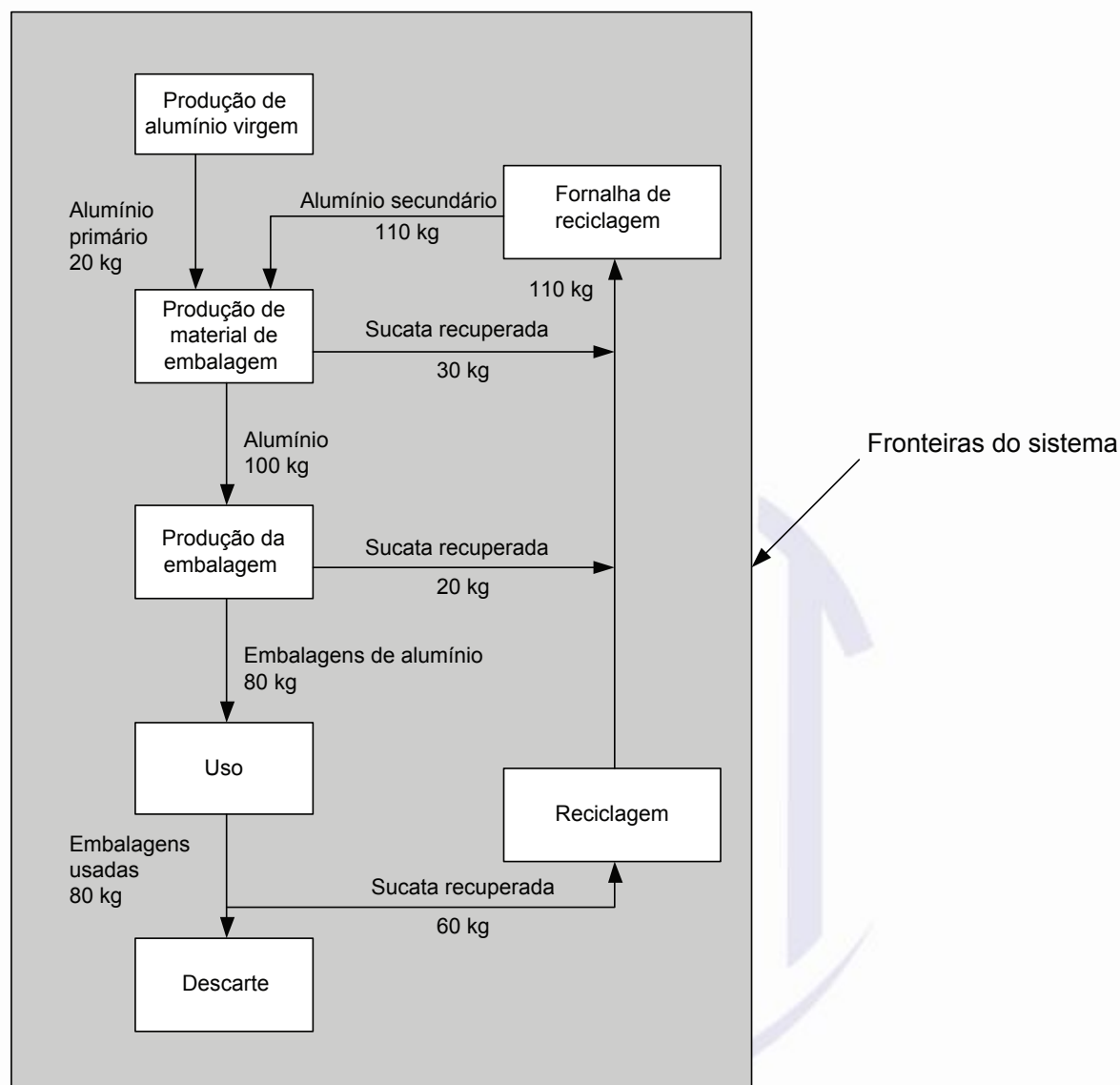


Figura 17 – Modelo de reciclagem em ciclo fechado para embalagens de alumínio com uma divisão tecnológica ajustada para o produto específico

8.3.3 Reciclagem em ciclo aberto

Este exemplo é sobre um sistema de produto hipotético de papelão *kraft* branqueado, KBPB. Ele não reflete um sistema de produto específico ou categoria em seu sentido amplo, nem números exatos são fornecidos. Os procedimentos de alocação utilizados são baseados tanto nas propriedades físicas quanto no número de utilizações subsequentes dos materiais reciclados. As etapas para descrição do exemplo estão indicadas no diagrama de fluxo da Figura 18.

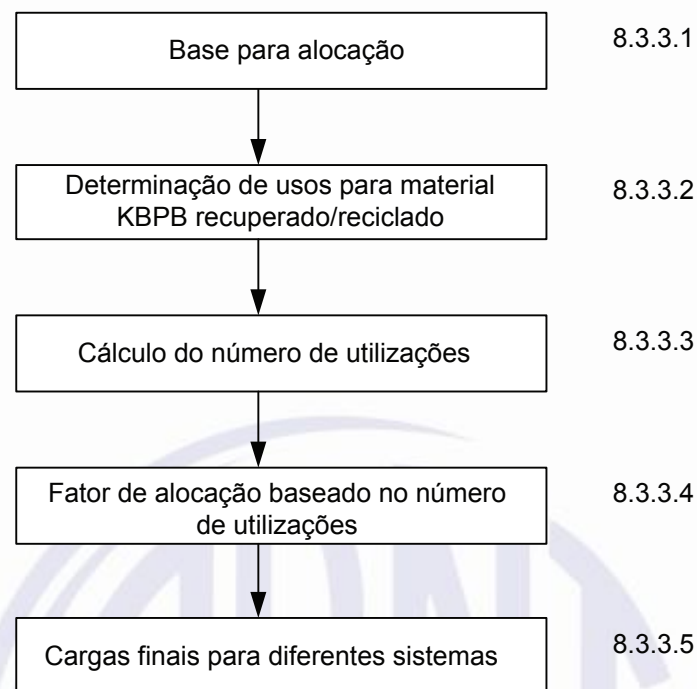


Figura 18 – Etapas para descrição do exemplo de reciclagem em ciclo aberto

8.3.3.1 Base para alocação

A “base” sobre a qual o fator de alocação é estabelecido – isto é, a carga total que é alocada entre o produto primário e os produtos derivados das fibras recicladas – reflete as cargas associadas com o sistema de produto primário (original), até o final da vida do produto. O diagrama na Figura 19 ilustra a base para alocação.

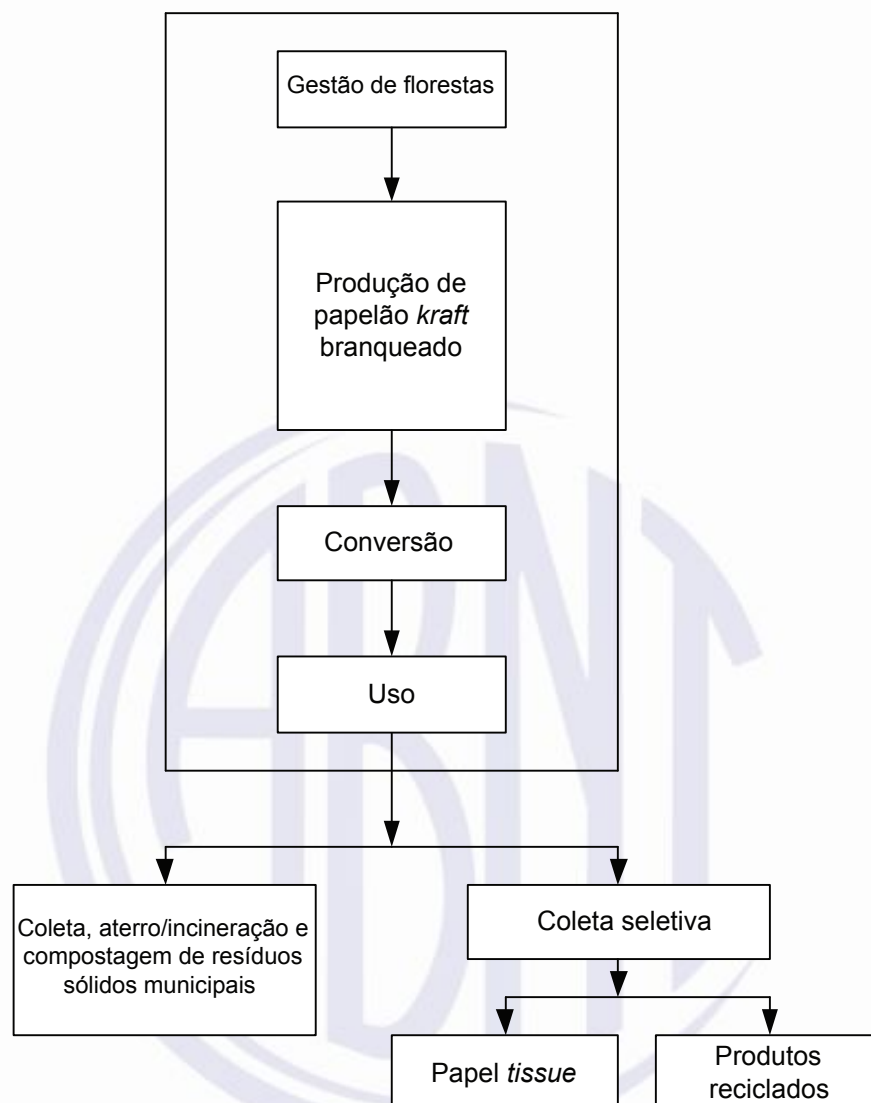


Figura 19 – Base para alocação

8.3.3.2 Determinação de utilizações para material recuperado/reciclado de papelão *kraft* branqueado

Dois dos principais usos conhecidos para o papelão *Kraft* branqueado descartado são papel *tissue* e outros produtos de papel reciclado. A diferença reside no fato de que o papel *tissue* uma vez usado é descartado. Por outro lado, outros produtos de papel reciclado são suscetíveis de recuperação e reciclagem adicionais.

Neste exemplo, considera-se que 30 % do papelão *Kraft* branqueado, KBPB, é direcionado para instalações de disposição de resíduos sólidos urbanos, (RSU), e que 70 % ingressa em sistemas de produto de papel recuperado e reciclado, como indicado anteriormente.

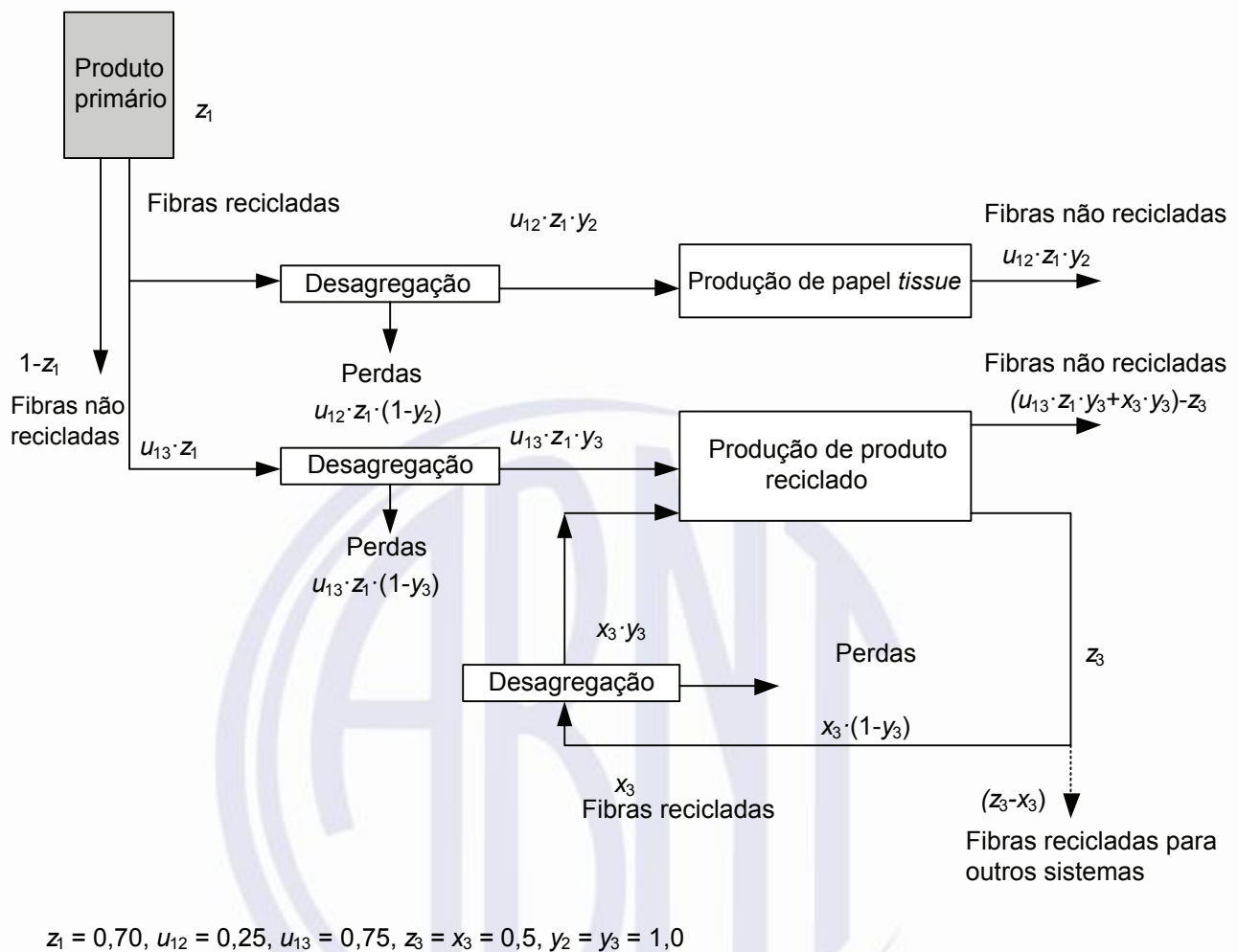


Figura 20 – Diferentes usos de produtos KBPB descartados e recuperados

Os sistemas de produto de reciclagem que recebem 70 % do KBPB recuperado são de natureza diferente. Estima-se que 25 % do total de fibra recuperada seja direcionado para a produção de papel *tissue* e que 75 % vá para outros sistemas de produto, aplicando reciclagem fechada ou aberta. A Figura 20 fornece informação sobre o fluxo de material e frações. Todas as variáveis são descritas em 8.3.3.3. Todos os rendimentos são considerados iguais a 1,0 (sem perdas), a fim de facilitar os cálculos.

8.3.3.3 Cálculo do número de utilizações

Com a ajuda da Figura 20, é possível estimar o número total de utilizações (u). Valores para as diferentes variáveis, assim como as fórmulas, se encontram a seguir.

As seguintes variáveis são definidas:

z_1 é a fração de produto primário que é recuperada após uma primeira utilização e então reciclada;

u_{12} é a fração das fibras z_1 que é reciclada como papel *tissue*;

u_{13} é a fração das fibras z_1 que é reciclada em produtos reciclados;

ABNT ISO/TR 14040:2014

$$u_{12} + u_{13} = 1,0;$$

y_2 é o rendimento de fibras desagregadas para a produção de *tissue*;

y_3 é o rendimento de fibras desagregadas para produtos reciclados;

z_3 é a fração de produto reciclado que é reciclada novamente;

x_3 é a fração de produto reciclado que é reciclada em ciclo fechado;

$z_3 = x_3$ (pressupõe nenhuma reciclagem em ciclo aberto de fibras pós-consumo).

Para o cenário de reciclagem apresentado na Figura 20, o número total de utilizações (u) para as fibras z_1 pode ser calculado como a seguir.

$$\begin{aligned} u &= 1 && \text{(primeira utilização do produto primário reciclado)} \\ &+ z_1 \cdot u_{12} \cdot y_2 && \text{(uso para papel *tissue*)} \\ &+ z_1 \cdot u_{13} \cdot y_3 && \text{(uso do produto reciclado; a primeira passagem)} \\ &+ z_1 \cdot u_{13} \cdot y_3 \cdot (z_3 \cdot y_3) && \text{(uso do produto reciclado; a segunda passagem)} \\ &+ z_1 \cdot u_{13} \cdot y_3 \cdot (z_3 \cdot y_3)^2 && \text{(uso do produto reciclado; a terceira passagem)} \\ &+ z_1 \cdot u_{13} \cdot y_3 \cdot (z_3 \cdot y_3)^{n-1} && \text{(uso do produto reciclado; a } n\text{-ésima passagem)} \end{aligned}$$

ou,

$$u = 1 + (z_1 \cdot u_{12} \cdot y_2) + (z_1 \cdot u_{13} \cdot y_3) \cdot [1 + (z_3 \cdot y_3) + (z_3 \cdot y_3)^2 + \dots]$$

Calculando o último elemento e agrupando os resultados:

$$u = 1 + z_1 \cdot [(u_{12} \cdot y_2) + (u_{13} \cdot y_3) \cdot (1 / (1 - (z_3 \cdot y_3)))]$$

Consequentemente, o número total de utilizações para a fibra enviada para reciclagem é:

$$u = 1 + z_1 \cdot [(u_{12} \cdot y_2) + (u_{13} \cdot y_3) \cdot (1 / (1 - (z_3 \cdot y_3)))]$$

8.3.3.4 Cálculo do fator de alocação com base no número de usos

Uma vez que o número de utilizações (u) tenha sido estimado em 2,225, conforme o procedimento anteriormente descrito, o fator de alocação é calculado como a seguir.

Se uma fração z_1 da produção total de papelão *Kraft* branqueado, KBPB, é recuperada para usos subsequentes em outros sistemas de produto, então $(1 - z_1)$ do carregamento total permanece no sistema primário (original), e z_1 do carregamento total é direcionado para o número total de utilizações do produto reciclado. Cabe lembrar que o material primário (original) também é compartilhado de acordo com a mesma fração. O fator final de alocação do carregamento para o sistema de produto primário (original) é então:

$$(1 - z_1) = (z_1 / u)$$

Esta abordagem para alocação, com base no número total de utilizações mais o original, aplica-se ao sistema de produto primário (original) e à totalidade dos sistemas de produto reciclado. Já que $z_1 = 0,70$ e $u = 2,225$, o fator de alocação para o sistema de produto primário (original) é

$$(1 - 0,70) + (0,70/2,225) = 0,30 + 0,3146 = 0,6146$$

Da mesma forma, o total de utilizações do produto reciclado recebe do material recuperado do KBPB reciclado um fator de alocação igual a

$$z_1 \cdot (u-1) / u = 0,70 \times (2,225-1)/2,225 = 0,3854$$

A soma das frações do sistema de produto original e da totalidade dos sistemas de produto reciclado deve ser 1,0. É importante verificá-la.

$$0,6146 + 0,3854 = 1,000$$

8.3.3.5 Carregamentos finais para os diferentes sistemas

Os carregamentos são alocados aos diferentes sistemas como a seguir.

Para o sistema primário (original), todos os carregamentos do sistema de KBPB por unidade funcional são multiplicados pelo fator de alocação 0,6146. Isso representa a importância da reciclagem em ciclo aberto nos resultados da análise de inventário.

Uma fração apreciável do sistema de produto primário (original) é direcionada para a totalidade dos sistemas de produto reciclado. Esta é uma expressão do fato de que o material enviado para reciclagem é similar a um coproduto com valor e não a um rejeito.

Para os diferentes produtos reciclados, a “matéria-prima” fibra proveniente do sistema KBPB traz consigo a fração restante dos carregamentos ou $(1 - 0,6146) = 0,3854$. No caso do sistema de papel *tissue* onde não ocorre recuperação adicional e o produto uma vez utilizado é descartado, o fator de alocação permanece em 0,3854 para aquela fibra reciclada “matéria-prima” em uso.

Para o outro sistema de produto de papel reciclado, o fator de alocação de 0,3854 que vem com a “matéria-prima” fibra, para a totalidade de utilizações, poderia sofrer redução adicional em função do conhecimento do sistema e da percentagem ou fração daqueles produtos que se sabe que será novamente recuperada e reciclada em outros sistemas. Neste exemplo, $z_3 = x_3$, portanto nenhuma reciclagem adicional de ciclo aberto ocorre.

Em ambos os casos, é necessário adicionar aos carregamentos vindos com a “matéria-prima” fibra os carregamentos específicos devido ao reprocessamento etc. da matéria prima fibra no novo sistema de produto.

Se uma reciclagem adicional em ciclo aberto tivesse ocorrido, o procedimento de alocação seria similar ao descrito anteriormente. Novamente, é importante que os pressupostos e cálculos do fator de alocação sejam verificados, como feito anteriormente, para comprovar que as frações somam 1,0.

ABNT ISO/TR 14040:2014**9 Exemplos de condução da avaliação de qualidade dos dados****9.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044****A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.6.2, declara:**

Convém que os requisitos de qualidade dos dados abranjam:

- a) a cobertura temporal: idade dos dados e período mínimo de tempo durante o qual os dados deveriam ser coletados;*
- b) a cobertura geográfica: área geográfica a partir da qual deveriam ser coletados dados para processos elementares de modo a satisfazer o objetivo do estudo;*
- c) a cobertura tecnológica: tecnologia específica ou conjunto de tecnologias;*
- d) a precisão: medida da variabilidade dos valores de dados para cada dado expresso (por exemplo, variância);*
- e) a completeza: porcentagem dos fluxos que é medida ou estimada;*
- f) a representatividade: avaliação qualitativa do grau em que o conjunto de dados reflete a verdadeira população de interesse (por exemplo, cobertura geográfica, período de tempo e cobertura tecnológica);*
- g) a consistência: avaliação qualitativa quanto à aplicação uniforme da metodologia do estudo aos diversos componentes da análise;*
- h) a reprodutibilidade: avaliação qualitativa do grau em que as informações sobre a metodologia e os valores dos dados permitiriam a um executante independente reproduzir os resultados relatados no estudo;*
- i) as fontes dos dados;*
- j) a incerteza da informação (por exemplo dados, modelos e pressupostos).*

Quando se pretende utilizar um estudo em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente, os requisitos de qualidade dos dados mencionados em a) a j) acima devem ser atendidos.

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.2.1, declara:

Quando dados forem coletados de fontes disponíveis ao público, tais fontes devem ser referenciadas. O processo de coleta, a época em que foram coletados e informações adicionais sobre os respectivos indicadores de qualidade devem ser detalhados para aqueles dados que podem ser significativos para as conclusões do estudo.

Caso tais dados não atendam aos requisitos de qualidade, tal fato deve ser relatado.

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.6.3, declara:

O tratamento de dados faltantes deve ser documentado. Convém que para cada processo elementar e para cada local de origem dos dados onde sejam identificados dados faltantes, o tratamento destes e de lacunas de dados resulte em

- *um valor “não-zero” de dados que seja justificado,*
- *um valor de dados “zero” se justificado, ou*
- *um valor calculado com base nos valores relatados em processos elementares que empreguem tecnologia similar.*

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.5.1.1, declara:

Os resultados das fases de ICV ou AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo e escopo do estudo e a interpretação deve incluir uma avaliação e uma verificação de sensibilidade em relação às entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas, visando ao entendimento da incerteza dos resultados.

9.2 Visão geral

Geralmente, um inventário detalhado de ciclo de vida envolve a coleta e a integração de centenas ou até milhares de dados relacionados ao produto, processo, ou atividade em estudo. Em função do escopo do estudo, a informação é coletada a partir de diferentes empresas e de todos os continentes. Assim, é essencial que a gestão da qualidade dos dados seja uma parte integrante do processo como um todo.

A Figura 21 mostra o procedimento sequencial para conduzir a avaliação da qualidade dos dados, e, no texto a seguir, são descritos diversos requisitos e indicadores da qualidade dos dados que podem ser usados em um inventário de ciclo de vida.

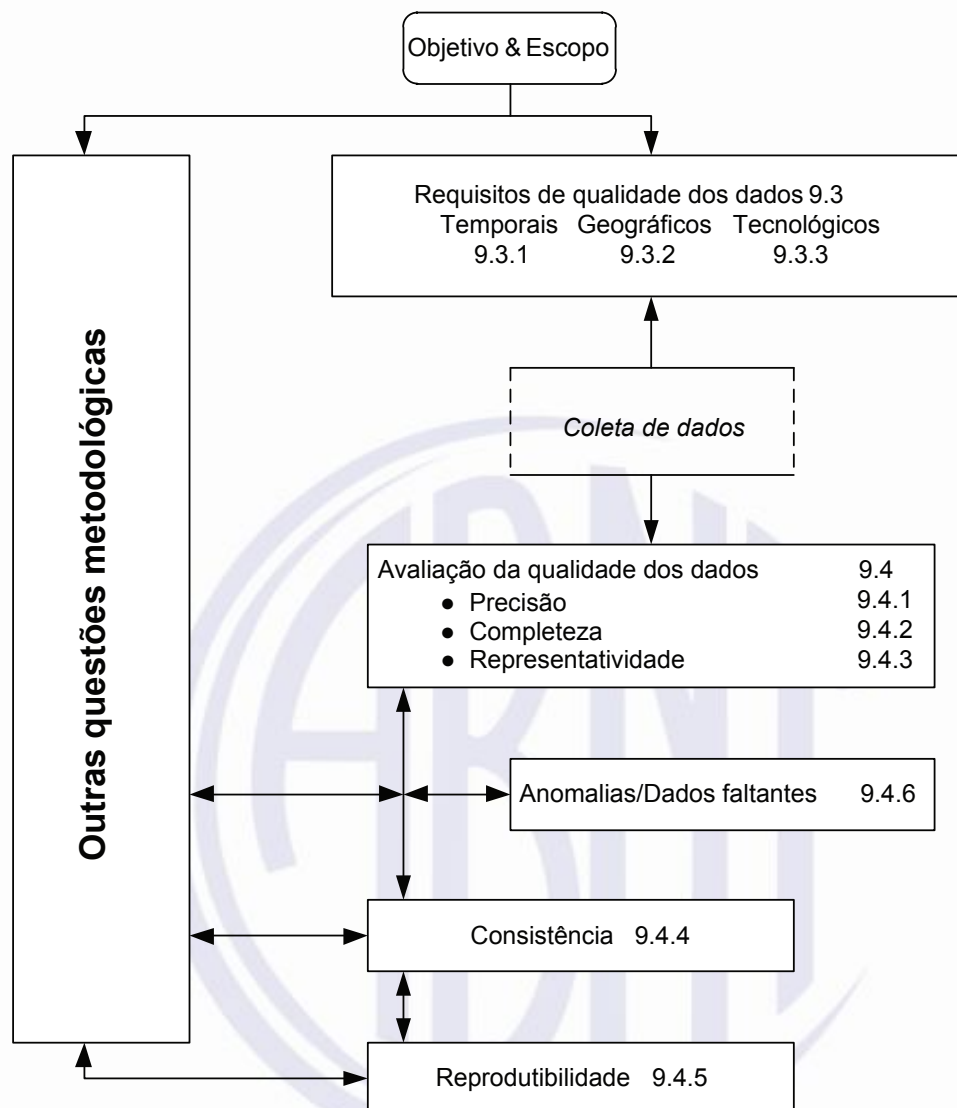


Figura 21 – Visão geral da avaliação da qualidade dos dados de execução

9.3 Requisitos de dados para o estabelecimento da lista específica de *sites*

O objetivo do estudo estabelece a base para a definição dos requisitos temporais, geográficos e tecnológicos de um estudo. Esta atividade delimitadora é uma primeira etapa importante para o estabelecimento dos requisitos de qualidade dos dados.

9.3.1 Cobertura temporal

Diversas decisões precisam ser tomadas com relação à época de coleta e à fonte dos dados a serem utilizados no estudo. As idades dos dados primários que são específicos do *site* e dos secundários (por exemplo, de publicações) podem ser usadas para uma distinção.

EXEMPLO As metas podem ser estabelecidas usando ambos os tipos de fontes. As metas podem ser estabelecidas usando ambos os tipos de dados coletados de diferentes fontes. Eles podem ser:

- dados primários coletados de uma empresa específica ao longo do ano anterior;
- dados secundários usando fontes publicadas nos últimos cinco anos.

Convém registrar o desvio da idade dos dados em relação a estas metas.

Dados reais medidos podem ser considerados a melhor opção, uma vez que eles fornecem uma compreensão da variabilidade inerente nos processos a serem modelados. Contudo, dados adequadamente documentados, calculados ou estimados fornecem um insumo valioso. Onde possível, os dados são recolhidos por um período mínimo representando um ano. Tais dados oferecem uma visão clara sobre potenciais efeitos sazonais, variação natural do processo e eventos acidentais. Adicionalmente ao período específico do estudo, é útil analisar criticamente o período de 12 meses anteriores, para verificar a consistência e para ajudar na identificação de quaisquer anomalias ou erros potenciais de relato.

9.3.2 Cobertura geográfica

A fronteira espacial pode incluir as instalações específicas do *site* que são parte do sistema de produto para um estudo, a qual pode ser adicionalmente especificada para uma região específica ou setor do mercado. Um estudo poderia igualmente abranger uma localização específica do *site*. No caso de um *site* específico, cada empresa participante determina inicialmente a quantidade de produto que é incluída, a qual é subsequentemente rastreada a montante por meio da cadeia de suprimento e a jusante até a recuperação, reciclagem e disposição final. A cadeia de suprimento pode ser estendida além da região específica onde o produto é vendido, especialmente quando os fornecedores de matéria-prima estão participando do estudo.

A documentação deste fluxo de produto é importante uma vez que ela estabelece a estrutura para a gestão da informação e a subsequente avaliação da qualidade dos dados. Esta lista também fornece uma possível base para a avaliação da completeza do estudo.

9.3.3 Cobertura tecnológica

A listagem dos *sites* específicos que reportam dados é utilizada para definir as características inerentes das tecnologias de produção, processo e de controle ambiental. Sínteses de associações comerciais e de agências governamentais fornecem uma referência útil para a revisão subsequente da representatividade dos setores industriais.

Este objetivo do estudo define o conjunto de tecnologias e o número de locais por tipo de tecnologia que são incluídos. Convém que o desenvolvimento tecnológico seja levado em consideração quando o ciclo de vida total cobre um período de tempo no qual tal desenvolvimento possa ser esperado. Ver o exemplo do refrigerador em 4.4.

9.4 Requisitos para caracterizar a qualidade dos dados

A ABNT NBR ISO 14044 apresenta os cinco indicadores que caracterizam a qualidade dos dados e os métodos de coleta e integração.

9.4.1 Precisão

Esta é uma medida da variabilidade dos valores de dados para cada categoria de dados expressos. A precisão mede a dispersão ou a variabilidade dos valores do conjunto de dados em torno da média desse conjunto. Para cada categoria de dados, a média e o desvio-padrão dos valores reportados são calculado se relatados para cada unidade de processo no sistema de produto. Estas medidas de precisão podem ser utilizadas para avaliar a incerteza de valores reportados e para subsidiar a análise de sensibilidade dos resultados do estudo.

ABNT ISO/TR 14040:2014

9.4.2 Completeza

A completeza de dados de processos primários pode ser indicada pela porcentagem de localidades para a qual dados primários estão disponíveis com relação ao número total existente. Uma meta percentual é geralmente acordada para cada tipo de processo primário antes que a coleta de dados seja iniciada. Em estudos comparativos, o objetivo é que cada sistema de produto tenha um nível equivalente de completeza. Convém que as metas sejam ajustadas normalmente para um determinado nível (por exemplo, 70 %).

9.4.3 Representatividade

Este é um indicador da avaliação qualitativa do grau em que a série de dados reflete a verdadeira população de interesse. Essencialmente, esta avaliação é similar à completeza, mas é focada nas dimensões geográfica, temporal e tecnológica do sistema de produto. Este indicador mede o grau em que os valores de dados utilizados no estudo apresentam uma medida verdadeira e acurada da população de interesse. O indicador pode também fornecer informação sobre a fração da capacidade de produção total representada pelos participantes. Quaisquer variações mais significativas identificadas são examinadas e explicadas.

EXEMPLO Amostragem tendenciosa com completeza.

Com a finalidade de introduzir a unidade emissão de dióxido de carbono por quilowatt-hora em uma determinada região ou rede de produção de eletricidade, pesquisar cada planta de conversão para sumarizar o valor médio pode ser uma abordagem apropriada. Não obstante, se a avaliação for feita em uma rede baseada em 96 % de energia hidrelétrica com os restantes 4 % supridos por plantas convencionais a carvão, desprezar a emissão associada aos 4 % de energia térmica introduziria um viés significativo.

9.4.4 Consistência

A consistência é uma compreensão qualitativa de quão uniforme a metodologia do estudo é aplicada aos vários componentes do estudo. Esta medida de qualidade é uma das mais importantes a serem gerenciadas no processo de inventário. Há diversas etapas que precisam ser implementadas para assegurar a consistência. Uma delas é a comunicação. Em um estudo que envolva várias empresas diferentes que, por sua vez, coletaram dados de diferentes sítios em diferentes países e continentes, existe a necessidade de uma compreensão clara a respeito de que dados estão sendo requeridos, como são medidos, como são reportados e como são utilizados.

EXEMPLO Valor reportado a partir de diversos fabricantes.

Ao se estabelecer os dados médios de emissão e energia para as entradas de material em um processo de produção, é requerida a coleta de dados numéricos referentes a diversos fabricantes. Alguns deles podem ser reportados com a utilização de dados publicados como padrão nacional, enquanto outros relatam sua situação por meio de medição real. Uma vez que eles não são uniformes no que diz respeito a métodos de coleta ou precisão e se é difícil evitar a mistura de abordagens distintas, convém que uma avaliação preliminar seja efetuada para verificar o desvio.

Por exemplo, na investigação de emissões atmosféricas, a comparação pode mostrar que a emissão de CO₂ reportada por medições individuais é ligeiramente menor (ou maior) que o valor publicado em um padrão nacional, enquanto o valor para o SO₂ é idêntico.

9.4.5 Reprodutibilidade

Esta medida descreve a avaliação qualitativa da extensão em que a informação sobre a metodologia e valores de dados permite que um executante independente reproduza os resultados reportados no estudo. Esta medida da qualidade é utilizada quando alguma forma de reivindicação pública deva ser feita com relação aos resultados de um estudo. A legislação antitruste pode também excluir a obtenção do nível de transparência necessário para satisfazer o uso público do estudo.

9.4.6 Identificação de anomalias/lacunas de dados

Anomalias são valores extremos de dados dentro de um conjunto de dados. Estes valores são normalmente identificados por meio de análise estatística e/ou como resultado de análise crítica por especialista. Sempre que anomalias ou lacunas de dados são identificadas e removidas do conjunto de dados ou substituídas por um valor calculado, tais providências são identificadas no relatório do estudo. Anomalias ou lacunas de dados podem existir em consequência de demandas de entrada de dados mal interpretados, valores de dados mal reportados, análise imprópria de amostras de dados ou simplesmente pela não disponibilidade.

As anomalias são identificadas durante uma análise crítica abrangente de cada categoria de dados para cada unidade de processo. As anomalias são reportadas ao local de origem dos dados ou aos especialistas internos da empresa para determinar a sua validade quanto à inclusão na base de dados. Nos casos em que a anomalia é explicada em termos de uma perturbação do processo ou liberação acidental, o dado pode ser mantido no conjunto de dados. Convém que a decisão seja tomada em conformidade com o objetivo e o escopo do estudo. Se uma explicação não puder ser encontrada ou um erro de relato não puder ser corrigido, a anomalia é removida do conjunto de dados e o procedimento documentado adequadamente.

Uma vez que as anomalias estejam tratadas, as lacunas de dados são avaliadas visando determinar as entradas apropriadas para as categorias de dados individuais. Uma diretriz básica é que convém que cada categoria de dados para cada local de origem dos dados esteja em conformidade com os seguintes itens:

- um valor aceitável dos dados reportados;
- um valor zero, onde aplicável;
- um valor calculado com base na média dos valores reportados;
- valores procedentes de processos elementares com tecnologia similar.

10 Exemplos de execução de análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade avalia a influência individual nos resultados finais associada a cada alteração nos parâmetros ou decisão a respeito de entradas. A análise de sensibilidade em um inventário de ciclo de vida é uma etapa necessária devido à subjetividade inevitável em determinadas decisões tomadas no início do estudo ou durante suas iterações, assim como aos elementos da qualidade dos dados utilizados. É necessário compreender as consequências dessas decisões para a adequada transparência do estudo.

ABNT ISO/TR 14040:2014

10.1 Contexto da ABNT NBR ISO 14044

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.2.3.3.3, declara:

- Quando se pretende utilizar o estudo em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente, a análise de sensibilidade final dos dados de entradas e saídas deve incluir os critérios de massa, energia e significância ambiental, de modo que todas as entradas que cumulativamente contribuam com mais do que uma quantidade definida para o total (por exemplo, porcentagem) sejam incluídas no estudo.

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.3.3.4, declara:

- Refletindo a natureza iterativa da ACV, decisões com relação aos dados a serem incluídos deverão ser baseadas em uma análise de sensibilidade para determinar sua significância,

A ABNT NBR ISO 14044:2009, 4.5.1.1, declara:

Os resultados das fases de ICV ou AICV deverão ser interpretados de acordo com o objetivo e escopo do estudo e a interpretação deve incluir uma avaliação e uma verificação de sensibilidade em relação às entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas, visando ao entendimento da incerteza dos resultados.

10.2 Visão geral

Convém que uma análise de sensibilidade seja executada quando um resultado significativo da análise de inventário dependa de valores:

- determinados por uma escolha (por exemplo, regra de alocação), ou
- que apresentem um determinado grau de incerteza, ou
- faltantes (isto é, lacunas de dados).

Convém que uma decisão seja tomada a respeito daqueles valores ou parâmetros a serem selecionados para teste.

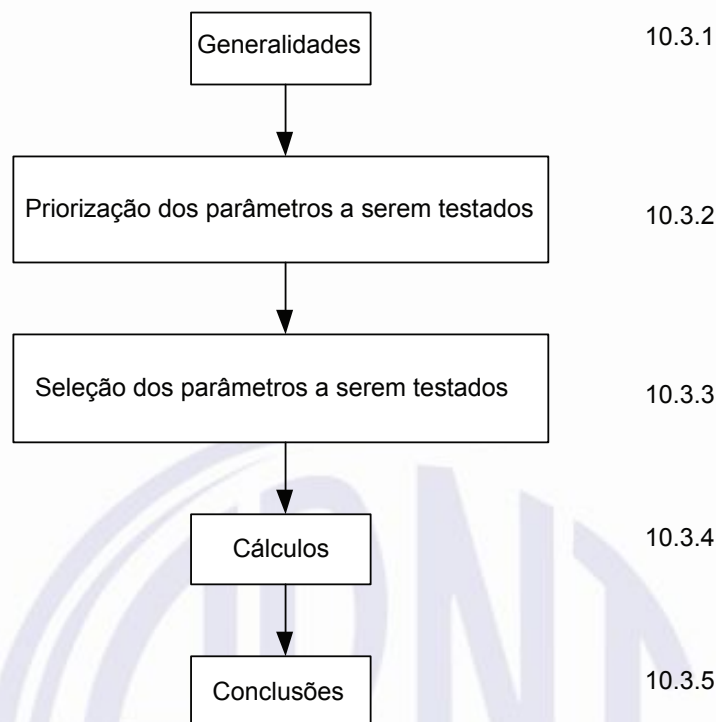


Figura 22 – Visão da abordagem geral

10.3 Descrição dos exemplos

10.3.1 Generalidades

A análise de sensibilidade pode ser realizada pela variação de parâmetros-chave da análise de inventário do ciclo de vida e pelo recálculo do inventário, a fim de comparar os resultados com a situação de referência. Mais especificamente:

- introduzindo parâmetros correspondentes aos pontos-chave a serem testados;
- variando aqueles parâmetros, a fim de recalcular os inventários para cada análise;
- avaliando a sensibilidade dos parâmetros pela comparação dos inventários resultantes.

Na condução da análise de sensibilidade, alguns parâmetros têm que ser determinados para caracterizar cada análise. O número de cálculos depende do número de análises de sensibilidade que o usuário realizou.

Os exemplos de elementos-chave a serem considerados incluem:

- a escolha da unidade funcional;
- incerteza dos valores dos dados (dentro de uma faixa), consumo de eletricidade, distância de transporte etc.;
- incerteza quanto às fronteiras do sistema (geográficas, temporais), escolha do modelo da produção de eletricidade [por exemplo, média OECD para 1994, ou Estatísticas de Demanda e Suprimento de Eletricidade em Países A (1993)] etc.;
- outras escolhas metodológicas, regras de alocação, regras de corte, regras de reciclagem, exclusão do estudo da etapa de produção de um fluxo não elementar etc.

ABNT ISO/TR 14040:2014

A análise de sensibilidade pode resultar em:

- exclusão de estágios do ciclo de vida ou de subsistemas quando a falta de significância puder ser mostrada pela análise de sensibilidade;
- exclusão de fluxos de materiais que não têm significância para os resultados do estudo;
- inclusão de novos processos elementares que a análise de sensibilidade mostra serem significativos.

10.3.2 Priorização dos parâmetros a serem testados

As análises de sensibilidade são executadas para testar o efeito que os pressupostos-chave e a variabilidade dos dados têm nos resultados de um estudo de inventário do ciclo de vida. Uma abordagem usual para a análise de sensibilidade é variar para mais ou para menos, em uma porcentagem definida, a entrada de dados para uma variável independente selecionada (por exemplo, variar o consumo de óleo combustível em um processo elementar em mais ou menos 10 %).

Visando priorizar as variáveis independentes, um índice de variância pode ser utilizado para determinar qual dessas variáveis influencia fortemente os resultados do estudo. O pensamento conceitual que embasa um índice de variância sugere que quatro fatores podem influenciar a significância que uma variável independente tem nos resultados do estudo:

- a contribuição da quantidade de uma categoria de dados de um processo elementar para a quantidade de uma categoria de dados do sistema de produto;
- a importância relativa da categoria de dados (fator de sensibilidade);
- a variabilidade dos dados da unidade de processo para a categoria de dados da unidade de processo;
- a completeza das entradas para a categoria de dados.

As unidades de processos com contribuição percentual mais elevada têm maior influência nos resultados do inventário. As categorias de dados têm efeitos ambientais diferentes relacionados aos fluxos de materiais, fluxos de energia e emissões. A precisão de um conjunto de dados está diretamente correlacionada à incerteza dos resultados do inventário, enquanto a completeza de um conjunto de dados tem uma correlação inversa.

10.3.3 Seleção dos parâmetros a serem testados

Uma vez que os parâmetros que possam ser de interesse tenham sido priorizados, é necessário selecionar o tipo de análise de sensibilidade a ser conduzida. Convém que, uma vez conduzida a análise, uma interpretação dos resultados seja disponibilizada.

10.3.3.1 Visão geral do exemplo

Tomando como base o exemplo de reciclagem em ciclo aberto apresentado em 8.3.3, uma análise de sensibilidade poderia ter sido conduzida para avaliar a adequação dos parâmetros de entrada, a variabilidade dos dados provenientes dos diferentes locais incluídos no estudo de ICV ou o impacto do procedimento de alocação escolhido.

Um exame desses tipos potenciais de análise de sensibilidade concluiu que, em função do alto nível de reciclagem no exemplo 8.3.3, o procedimento de alocação selecionado, independentemente de sua conformidade com a ABNT NBR ISO 14044, merece avaliação adicional.

O fluxograma na Figura 23 ilustra as etapas seguidas para descrever o exemplo.

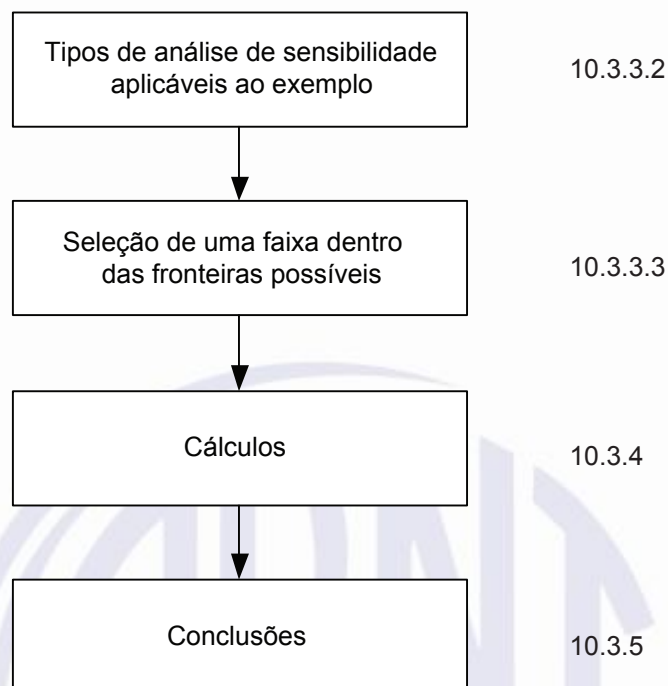


Figura 23 – Etapas para descrever o exemplo de análise de sensibilidade

10.3.3.2 Tipos de análise de sensibilidade aplicáveis ao estudo

Um exame do exemplo em 8.3.3, para fins de ilustração, indica que diferentes análises de sensibilidade poderiam ser justificadas para o exemplo em questão. Em relação às regras metodológicas ou aos procedimentos, a alocação na reciclagem de ciclo aberto é certamente um elemento importante, em função do valor escolhido do fator de alocação. Adicionalmente, a qualidade dos dados é importante – como contemporânea, como exata em sua coleta e agregação etc. Além disso, independentemente de sua qualidade, uma vez que diferentes *sítes* de fabricação foram considerados, os valores médios utilizados no estudo poderiam refletir uma variabilidade substancial que precisa ser considerada. Outra potencial análise de sensibilidade poderia ser a faixa de distâncias de transporte na distribuição do produto primário.

Convém que estas e outras situações sejam analisadas no final do estudo. Em casos práticos, mais de uma análise de sensibilidade é executada. Visando à brevidade, selecionamos uma análise de sensibilidade nos procedimentos de alocação. Há outras razões para a seleção dos procedimentos de alocação. Um exame das fórmulas e do procedimento específico de alocação – baseado no número de utilizações – revela que o fator de alocação poderia variar significativamente em níveis de reciclagem mais elevados e conforme o número de utilizações.

Os dados que embasaram as taxas de reciclagem do produto primário e dos outros coprodutos foram obtidos sem estatísticas nacionais bem conhecidas e aceitas, tanto pela indústria de papel quanto pelas agências governamentais. De qualquer forma, convém que seja feita uma análise de sensibilidade do procedimento em si, devido à sua importância.

10.3.3.3 Selecionando uma escala de valores dentro de limites praticáveis

O procedimento descrito no exemplo de reciclagem em ciclo aberto em 8.3.3 estima, em conformidade com a ABNT NBR ISO 14044, um fator de alocação para o produto primário e para a totalidade das

ABNT ISO/TR 14040:2014

utilizações subsequentes, o que é, em última instância, uma função do número de utilizações e da fração do produto original que está sendo reciclada em outros sistemas.

Fator de alocação, $F = f(u, z_1)$

O F para o produto primário (original) foi estimado em 0,6146. Assumindo uma variabilidade realística combinada de + 25 % e – 25 %, uma faixa extrema de valores plausíveis para F pode ser 0,76 e 0,46.

10.3.4 Cálculos

Uma iteração completa de todos os resultados do estudo para estas duas condições extremas não é necessária, porque os valores básicos para todos os resultados não foram mostrados em 8.3.3. Basta dizer que os resultados não são diretamente proporcionais aos novos valores, uma vez que diferenças específicas ocorrem em diferentes estágios do sistema de produto de acordo com os fatores extremos.

Uma visão ampla e generalizada das consequências nos resultados básicos derivadas dos pressupostos extremos assumidos para a análise de sensibilidade é dado na Tabela 7. Com exceção dos parâmetros específicos considerados no estudo (o resultado da senioridade do executante do estudo), os resultados a seguir ajudariam na análise e na determinação da necessidade de uma análise de sensibilidade adicional nos componentes do fator de alocação.

Tabela 7 – Consequências de valores diferentes para F

Elementos	0,46 F	0,61 F	0,76 F
Unidade funcional:			
Massa de produto utilizada	100	100	100
Taxa de reciclagem, z_1	a	0,70	a
Massa de produto reciclado		70	
Número de utilizações, u	a	2,225	a
Carregamentos:			
Permanecendo na produção primária	0,46	0,6146	0,76
Transferidos para a produção secundária	0,54	0,3854	0,24
Quantidade produzida/ 100 utilizados	54	38,54	24,0
Variação a partir da base (0,61)	15,46	0	14,54
^a Uma combinação diferente de valores é possível desde que $F = f(u, z_1)$.			

10.3.5 Conclusões

A conveniência de se conduzir uma análise de sensibilidade nos procedimentos de alocação é indicada pelos resultados antecipados na Tabela 7. Esta variabilidade é significativa o bastante para ser indicada aos leitores do estudo. No caso específico, isso também justifica uma análise adicional.

Desde que F é função tanto do número de utilizações quanto das taxas de reciclagem, poderia ser apropriado conduzir análises separadas para cada um desses elementos, as quais teriam indicado, no caso do exemplo em 8.3.3, que a fração de taxa de reciclagem é o mais sensível dos dois elementos que compõem o fator de alocação.

Bibliografia

- [1] ABNT NBR ISO 14040:2009, *Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*
- [2] ABNT NBR ISO 14044:2009, *Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações*

