

Figura 19 - Encolunamento e ligação elétrica do transformador de cobre.

No processo de pintura os equipamentos utilizados foram: jato de granalha, cabine de pintura eletrostática e estufa de tratamento térmico para pintura. No processo de montagem final os equipamentos utilizados foram: estufa elétrica, talha elétrica parafusadeira pneumática, autoclave, máquina de termovácuo.

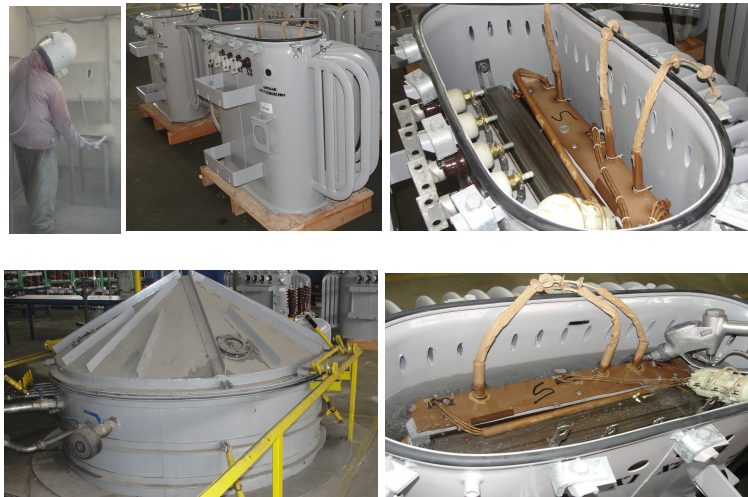


Figura 20 - Pintura eletrostática e montagem final.

No ensaio final os equipamentos utilizados foram: equipamento de ensaio tensão induzida, equipamento de ensaio tensão aplicada, equipamento de ensaio perdas vazio e curto circuito, medidor de relação de espiras (TTR) e Megôhmetro. Na expedição os equipamentos utilizados foram empilhadeira, talha elétrica e pregadora pneumática.



Figura 21 - Ensaio final e expedição.

3.3 Método de ACV

Para realizar esta etapa foi utilizada a metodologia descrita na norma NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009, visando-se a quantificação dos principais fatores de impacto ambiental associados à etapa do ciclo de vida das bobinas (ABNT 2009a, 2009b). As normas NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009 apresentam as etapas da metodologia que devem ser seguidas na aplicação do de ACV. A figura 22 apresenta a estrutura da avaliação do ciclo de vida conforme expresso na norma.



Figura 22 - Estrutura da ACV.
Fonte ABNT, (2009a, p. 8).

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14040:2009, os requisitos da ABNT NBR ISO 14044:2009 devem ser aplicados na execução da ACV. O objetivo da ACV declara a aplicação pretendida, as razões para a execução do estudo, o público-alvo e se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente (ABNT, 2009a). Para realizar o estudo de ACV é necessário a definição do escopo, a função do sistema, a unidade funcional, o fluxo de referência, a modelagem do sistema, a abordagem metodológica, a fronteira do sistema e os critérios de corte (ABNT, 2009b).

3.3.1 Definição do escopo

No escopo do estudo incluem-se o sistema do produto a ser analisado, isto é, dois transformadores, sendo um transformador com bobinas de cobre e um transformador com bobinas de alumínio de 75 kVA, tensão primária 13800/13200/12600 V ligação delta, tensão secundária 380/220 V ligação estrela com neutro. Conforme Vasconcelos (2014), a declaração do tipo de resultado esperado deve ocorrer durante a definição do escopo. Neste estudo é o de comparação de bens.

A função do sistema - transformador - em sistema elétrico de distribuição é a mudança de níveis de tensão (da distribuição primária “média tensão” para tensão secundária “baixa tensão”) e de corrente, mantendo inalterada a frequência (SIMONE, 1998). A unidade funcional do estudo foi o transformador de distribuição de potência nominal 75 kVA com bobinas de cobre e o transformador de distribuição com bobinas de alumínio, ambos com as mesmas características elétricas expressas no quadro 2, atendendo à norma NBR 5440:2014. Essa referência é necessária para comparabilidade dos resultados. A partir da definição da mesma base de unidade funcional estabeleceu-se o fluxo de referência a partir da análise das entradas de matérias-primas e insumos e, saídas de resíduos, emissões gasosas e efluentes líquidos para assegurar a comparabilidade dos resultados da ACV.

Na modelagem do sistema de ICV utilizou-se o modelo de ciclo de vida atribucional.

A abordagem metodológica aplicada foi a subdivisão dos processos multifuncionais. Segundo Vasconcelos (2014), o conceito de subdivisão diz respeito à coleta individual de dados para os processos multifuncionais que estão relacionados ao sistema analisado e não estão no processo multifuncional.

A ACV também auxilia na seleção e credenciamento de fornecedores e produtos,

sendo considerada excelente ferramenta para reduzir os impactos dos produtos e serviços (SEIFFERT, 2011), vez que, a abordagem é completa, englobando todas as etapas desde a compra da matéria-prima, produção e utilização até o fim da vida do produto.

A fronteira do sistema explica quais partes do ciclo de vida e quais processos estão inseridos no sistema analisado. A fronteira do sistema neste estudo contemplou a extração, transporte, produção da matéria-prima, entradas e saídas na cadeia principal de produção do transformador de distribuição de potência de 75 kVA, conforme a figura 23.

Os critérios de corte quantitativos foram delimitados com base no grau de completude mínima de 80% dos impactos ambientais. Conforme Seiffert (2011) completude refere-se a percentagem dos fluxos que é auferido.

Características	Propostas
Potência	75 kVA
Tensões primárias	13800/13200/12600 V
Tensões secundárias	380/220 V
Corrente de magnetização percentual	2,7 %
Perdas a vazio	295 W
Impedância percentual a 75° C	3,5 %
Perda total a 75° C	1395 W
Nível básico de impulso	95 kV
Nível de eficiência de acordo NBR 5440: 2014	” E ”
Elevação máx. temperatura óleo/enrolamento	50/55 °C
Vida útil	20 anos

Quadro 2 - Características elétricas dos transformadores escolhidos.

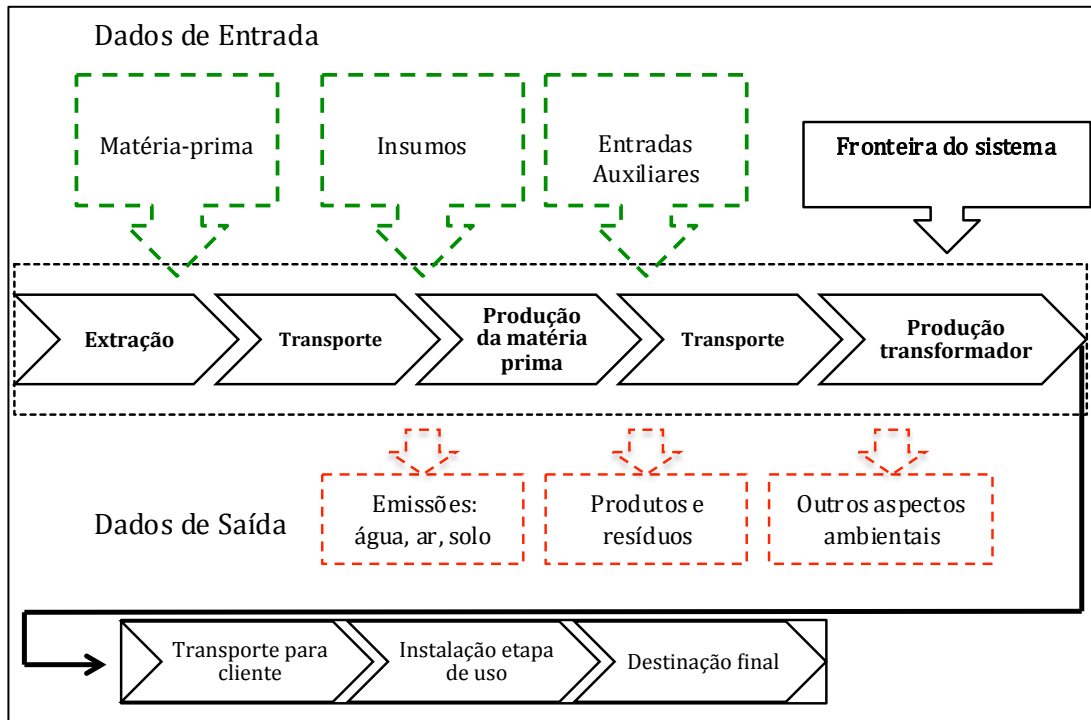


Figura 23 - Fronteira do Sistema analisado.

Os requisitos para qualidade dos dados de ICV considerados foram: a) cobertura tecnológica (como os dados representam suas características técnica); b) cobertura geográfica (local onde os dados serão coletados para os processos elementares e que esses atendam os objetivos); c) cobertura temporal (refere-se ao período para coleta de dados e ao tempo estipulado); d) completude, precisão e incerteza (fatores colaboram para a qualidade global e normalmente o mais fraco deles reduz essa qualidade); e) adequação e consistência metodológicas.

O período de coleta de dados (primário e secundário) compreendeu de março de 2015 a junho de 2015. Os dados primários (para desenvolvimento de processos unitários) para a etapa de produção foram coletados de relatórios da engenharia (dados internos da empresa) e de determinações durante a construção dos transformadores na linha de produção. Os dados secundários foram obtidos na rede de dados do sistema internacional de referência de dados do ciclo de vida de produtos e processos (ILCD) e no banco de dados do Ecoinvent do software SimaPro. Vasconcelos (2014) afirma que os provedores de dados secundários normalmente são bancos de dados de ICV nacionais e internacionais. Ribeiro e Silva (2010) salientam que a disponibilidade de conjunto de dados representativos garante agilidade, qualidade e precisão para estudos de ACV, condições indispensáveis para a comunidade de gestão ambiental.

3.3.2 Análise de inventário do ciclo de vida

Na análise de inventário do ciclo de vida, todos os aspectos ambientais gerados pelo produto durante o seu ciclo de vida são identificados e sistematizados. A principal tarefa da análise de inventário é a coleta de dados qualitativos e quantitativos relacionados a cada processo elementar dentro do limite do sistema. Classificam-se sob os títulos: entrada de matéria-prima; entrada de energia; entrada de insumos; produtos; resíduos; emissões de gases; efluentes e esgoto.

O fluxo de referência, conforme a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) é definido como a quantidade de material necessária para que o produto exerça a função conforme especificado na unidade funcional. Para atender a essa norma, foram realizadas listas de entradas e saídas que podem ser analisadas a partir da leitura dos resultados nos quadros 3, 4, 5 e 6.

3.3.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A partir da coleta dos dados, realizou-se a interpretação qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos para avaliar os impactos do ciclo de vida (AICV) com o objetivo de identificar qual dos produtos gerou menor dano ao meio ambiente. A AICV serve para agrupar os dados de inventário que contribuirão na interpretação. A figura 24 apresenta os elementos mandatórios da fase de AICV.

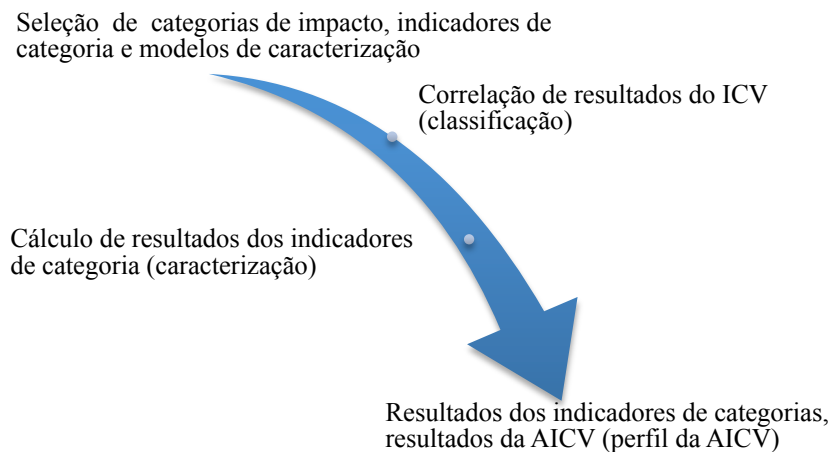


Figura 24 - Elementos mandatórios da avaliação de impacto do ciclo de vida.
Fonte: Adaptado de ABNT (2009,b).

Na seleção de categoria de impacto, foi empregado o método de AICV Eco-Indicador 99, atendendo aos requisitos da NBR ISO 14044:2009. Para o cálculo da ACV foi utilizado o software SimaPro. As categorias de impacto de *midpoint* que o estudo utilizou foram carcinogenicidade, respiração de compostos orgânicos, respiração compostos inorgânicos, mudança climática, radiação, camada de ozônio, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso do solo, minerais e combustíveis fósseis. A figura 25 apresenta os pontos médios e os pontos de extremidade das categorias de impacto. As categorias de impacto de *endpoint* utilizadas foram danos a saúde humana, danos à diversidade do ecossistema e a escassez de recursos.

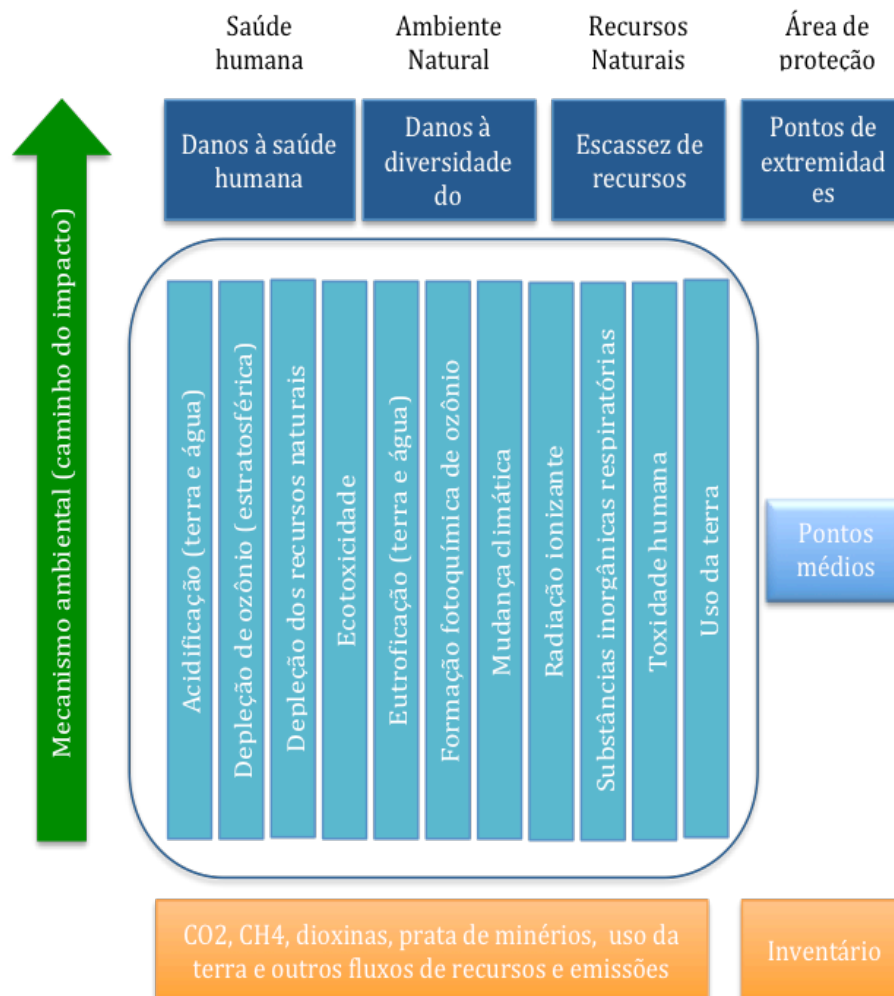


Figura 25 - Pontos de extremidade e pontos médios das categorias de impacto.
Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2014).

3.3.4 Interpretação

Analisar os resultados é o principal objetivo da interpretação, sendo que, as etapas são: a) identificar os principais problemas baseados nos resultados da análise de inventário; b) aferir a consistência e sensibilidade dos resultados; e, c) concluir com recomendações e relatório ambiental. A ACV é técnica iterativa e, à medida que dados e informações são coletados, vários aspectos podem exigir modificações a fim de atender ao objetivo da pesquisa (ABNT, 2009). A interpretação foi baseada em abordagem relativa, indicando efeitos ambientais potenciais, prevendo impactos reais sobre os pontos de extremidade de categoria, margem de segurança ou riscos.

3.3.5 Incertezas do estudo ACV

A AICV necessita de grande quantidade de dados, sendo que, a incerteza das variáveis afetam diretamente o resultado de qualquer método de impacto ambiental (BENNET, 2004). Existe o método (Monte Carlo) que se baseia em números aleatórios, o que possibilita a realização de simulações com valores médios e valor limite superior e inferior, permitindo quantificar as incertezas e as variações das ferramentas de avaliação ambiental (PRÉ-CONSULTANTS, 2014).

Neste estudo, o método foi executado com mil ciclos e com nível de confiança de 95% a fim de estimar as incertezas nas comparações entre as bases de dados disponíveis pelo software e por esta pesquisa. A consolidação da pesquisa identificou os resultados em relação à ACV nas bobinas de alumínio e de cobre, verificando qual das duas apresenta menor impacto ao meio ambiente, comparando-se os resultados obtidos com os dados da revisão bibliográfica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos da ACV na produção do transformador com bobinas de cobre e do transformador com bobinas de alumínio. Os resultados foram obtidos a partir da análise individual, visando a identificação dos fluxos com o maior potencial de impacto/dano ao meio ambiente. O capítulo encontra-se organizado em quatro tópicos. No tópico 4.1 é aplicado a construção do ICV – coleta de dados e ao processo de fabricação dos transformadores. No tópico 4.2 analisa-se o diagrama de *Sankey* que apresenta graficamente os subsistemas que promovem as maiores contribuições nas categorias de impacto. Posteriormente, no item 4.3, analisam-se as principais contribuições relativas aos processos de acordo com ICV. No último tópico, 4.4, os resultados da caracterização do ciclo de vida do transformador com bobinas com fios cobre e com fios alumínio são apresentados.

4.1 Construção do inventário do ciclo de vida

De acordo com a metodologia adotada, para a construção do inventário do ciclo de vida, primeiro foram coletados os dados a partir dos projetos definidos (Apêndices A e B). Para comparabilidade dos resultados foi necessário que ambos os projetos possuíssem as mesmas características elétricas e atendessem à norma NBR 5440:2014.

A partir da definição da mesma base de unidade funcional foi gerada a lista de entradas do ciclo de vida (fluxo de referência) que apresentam o consumo de materiais, energia e recursos na produção de um transformador de 75 kVA de alumínio, conforme o quadro 3. No quadro 4 a lista de entradas materiais do ciclo de vida na produção do transformador de 75 kVA de cobre.

Grupo Materiais	Material	Unidade	Qtde	Custo %
Alumínio	Fio circular de 16 AWG alumínio	kg	25,00	15,03%
	Fio Retangular 7,8 mm X 50 mm alumínio	kg	15,00	5,40%
Borracha	Borracha perfil 13 mm	m	2,00	0,33%
	Arruela AT Conector RB 1516	pç	3,00	0,03%
	Arruela AT tampa RB 1515	pç	3,00	0,12%
	Arruela BT tanque 160 A RB 3663	pç	4,00	0,05%
	Arruela BT tanque 160 A RB 3663	pç	1,00	0,01%
	Arruela BT conector 160 A RB 1551	pç	4,00	0,04%
Bucha	Bucha de porcelana At 15 KV T1	pç	3,00	1,45%
	Bucha porcelana Bt 160 m	pç	4,00	0,36%
	Bucha porcelana Bt 160 f	pç	4,00	0,18%
	Flange Bucha AT	pç	3,00	0,43%
	Mola para Bucha AT	pç	3,00	0,05%
Chapas e Perfis de Ferro	Suporte poste SP 400 T 794 - GR	kg	5,00	0,51%
	Suporte poste SP 400 T 794 - GR	kg	5,00	0,51%
	Chapa corpo - chapa aço carbono 2,65mm (1200 x 3000 m)	kg	39,83	2,78%
	Armadura - Chapa aço carbono 2,65mm (1200 m x 3000 m)	kg	13,37	0,93%
	Chapa Tampa - chapa aço carbono 2,65mm (1200 m x 3000 m)	kg	7,97	0,56%
	Chapa suporte placa - chapa 2,00 mm (1200 m x 3000 m)	kg	0,48	0,03%
	Chapa fundo - Chapa aço carbono 3,00 mm (1200 m x 3000 m)	kg	8,07	0,57%
	Chapa gancho de suspensão - chapa 3,00 mm (1200 m x 3000 m)	kg	0,44	0,03%
Cobre	Chapa de cobre para Aterramento do Núcleo	kg	0,10	0,00%
	Cabo de Cobre 7x0,81 Isolado 24 capas	kg	0,50	0,39%
Comutador	Comutador trifásico 3 posição rotativo externo 36,2kV 40A	pç	1,00	1,35%
Conector	Conector At PB 47	pç	3,00	1,50%
	Conector Bt PB 49 160 A	pç	4,00	1,95%
	Conector de aterramento	pç	1,00	0,11%
	Olhal compressão Cu-Sn 95 mm ² furo 13,5 mm	pç	4,00	0,19%
	Luva compressão Cu-Sn 4 mm ²	pç	24,00	0,32%
	Luva compressão Cu-Sn 185 mm ²	pç	1,00	0,13%
Ferro silício	Núcleo de ferro silício GO	kg	151,40	38,22%
	Rebite 3mm x 10mm (310)	cx	0,01	0,00%
Insumos	Prego 2,50 x 50 mm espiral	mi	0,30	0,09%
	Calço madeira de pinus	cj	0,00	0,03%
Madeira	Madeira pinus para engradado	m3	0,09	0,99%
	Óleo	Óleo mineral	l	132,00
Papel	Papel 10 mm	kg	0,78	0,17%
	Papel 20 mm	kg	3,85	0,85%
Papelão	Papelão 1mm	kg	4,56	0,74%
	Papelão 2mm	kg	3,86	0,62%
Parafuso GF	Parafuso M 10 x 60 GF	c	0,04	0,04%
	Parafuso M 10 x 60 GF	c	0,11	0,11%
	Arruela Pressão M 10 GF	c	0,11	0,01%
	Arruela Lisa M 10 GF	c	0,11	0,02%
	Porca M 10 GF	c	0,04	0,01%
	Porca M 10 GF	c	0,11	0,03%
	Arruela Lisa M 12 GF	c	0,08	0,02%
Parafuso PO	Arruela Lisa 1/2 PO	c	0,16	0,03%
	Arruela Lisa M 12 PO	c	0,02	0,00%
	Arruela Pressão 1/2 PO	c	0,16	0,02%
	Porca M 12 PO	c	0,02	0,00%
	Paraf M 6 x 25 PO	c	0,09	0,01%
	Barra Rosqueada 1/2 PO	m	4,00	0,31%
	Porca 1/2 PO	c	0,16	0,04%
	Arruela Pressão M 12 PO	c	0,02	0,00%
	Paraf M 12 x 20 PO	c	0,02	0,01%
Acessórios Tanque	Placa identificação PI 101	pç	1,00	0,05%
	Presilha Inferior	pç	11,00	0,28%
	Presilha Superior	pç	11,00	0,65%
	Radiador - Tubo Elíptico 14 x 49 x 1,5 mm	pç	2,90	1,94%
	Válvula de alívio de pressão	pç	1,00	0,17%
	Luva de ferro 1/4"	pç	1,00	0,07%
Tintas	Tinta pó poliéster cinza	kg	3,50	1,30%
Grupo Energia	Energia	Unidade	Qtde	Custo %
Energia	Energia elétrica	kWh	149,05	2,56%
	Gás GLP	MJ	288,9	0,56%
Grupo Recursos	Recurso	Unidade	Qtde	Custo %
Recurso	Água da Corsan	m3	0,195	0,06%

Quadro 3 - Lista de entradas do ciclo de vida do transformador 75 kVA de alumínio.

Grupo Materiais	Material	Unidade	Qtde	Custo %
Acessórios Tanque	Placal de identificação P1101	pç	1,00	0,04%
	Presilha inferior	pç	10,00	0,22%
	Presilha superior	pç	10,00	0,50%
	Radiador tubo elíptico 14 x 49 x 1,5 mm	pç	3,38	1,90%
	Terminal estanquidade joelho de ferro 1/4"	pç	1,00	0,06%
	AC válvula de alívio de pressão	pç	1,00	0,14%
Borracha	Arruela AT conector RB 1516	pç	3,00	0,03%
	Arruela AT tampa RB 1515	pç	3,00	0,10%
	Arruela BT Conector 400 A RB 1527	pç	4,00	0,03%
	Arruela BT tanque 400 A RB 2391	pç	4,00	0,05%
	Borracha perfil 13 mm	m	2,00	0,28%
	Arr BT tanque 160 A RB 3663	pç	1,00	0,01%
Bucha	Bucha AT 25 KV T1	pç	3,00	1,73%
	Bucha BT 400 f	pç	4,00	0,15%
	Bucha BT 400 m	pç	4,00	0,30%
	Flange bucha AT	pç	3,00	0,36%
	Mola bucha AT	pç	3,00	0,04%
Chapas e Perfis de Ferro	Chapa 265 x 1200 x 3000	kg	12,27	0,72%
	Chapa de aterramento do núcleo	pç	1,00	0,00%
	Chapa 265 x 1200 x 3000	kg	36,17	2,12%
	Chapa 300 x 1200 x 3000	kg	0,88	0,05%
	Chapa 300 x 1200 x 3000	kg	7,25	0,43%
	Chapa 635 x 1200 x 3000	kg	0,44	0,03%
	Chapa 265 x 1200 x 3000	kg	7,20	0,42%
	SP 400 T 794 - GR	pç	1,00	0,42%
	SP 400 T 794 - GR	pç	1,00	0,42%
Cobre	Cabo de Cobre 7x0,81 Isolado 24 capas	kg	0,50	0,33%
	Fio Circular 19 AWG cobre	kg	37,30	23,76%
	Fio retangular 4,5 mm x 6 mm cobre	kg	33,60	15,56%
Comutador	Comutador trifásico 3 posições rotativo Externo 36,2 kV 40A	pç	1,00	1,14%
Conector	ConecAt PB 47	pç	3,00	1,26%
	ConecAterr	pç	1,00	0,09%
	ConecBt PB 49 400 A	pç	4,00	1,64%
ferro silício	Nucleo	kg	138,90	29,26%
Insumo	Prego 2,50x50 mm Espiral	mi	0,30	0,07%
	Rebite 3mm x 10mm (310)	cx	0,01	0,00%
Madeira	Calço madeira de pinus	cj	1,00	0,02%
	Madeira pinus para engradado	m3	0,09	0,92%
Óleo	Óleo	l	107,00	12,05%
Papel	Papel 20	kg	3,77	0,56%
	Papel 20	kg	1,56	0,22%
Papelão	Papelão 1mm	kg	4,66	0,55%
	Papelão 2mm	kg	3,33	0,51%
Parafuso GF	Arruela Pressão M 10 GF	c	10,00	0,01%
	Arruela Lisa M 10 GF	c	10,00	0,01%
	Arruela Lisa M 12 GF	c	8,00	0,02%
	Porca M 10 GF	c	4,00	0,01%
	Paraf M 10 x 60 GF	c	4,00	0,03%
	Paraf M 10 x 60 GF	c	10,00	0,09%
	Porca M 10 GF	c	10,00	0,02%
Parafuso PO	Arruela Lisa 7/16 PO	pç	16,00	0,02%
	Arruela Lisa M 12 PO	pç	2,00	0,00%
	Arruela Pressão M 12 PO	pç	2,00	0,00%
	Arruela Pressão 7/16 PO	pç	16,00	0,01%
	Paraf M 6 x 25 PO	pç	9,00	0,01%
	Paraf M 12 x 20 PO	pç	2,00	0,01%
	Porca M 12 PO	pç	2,00	0,00%
	Porca 7/16 PO	pç	16,00	0,02%
	Barra Rosqueada 7/16 PO	m	4,00	0,17%
Tintas	Tinta Pó Poliester Cinza	kg	3,50	1,09%
Grupo Energia	Energia	Unidade	Qtde	Custo %
Energia	Energia elétrica	kWh	149,05	2,15%
	Gás GLP	MJ	288,9	0,46%
Grupo Recursos	Recurso	Unidade	Qtde	Custo %
Recurso	Água da Corsan	m3	0,1896	0,05%

Quadro 4 - Lista de entrada do ciclo de vida de um transformador de 75 kVA de cobre.

A lista de saída do ciclo de vida apresenta emissões, efluentes líquidos e resíduos na produção do transformador de 75 kVA de alumínio conforme quadro 5.

Grupo Emissões	Emissões	Unidade	Qtde
Emissões Gasosas	Gases e Fumos	kg	19,00
Efluentes líquidos	Oleo e gorduras	kg	0,59
Grupo Resíduos	Resíduo	Unidade	Qtde
Resíduo	Aço carbono	kg	14,03
	Cobre	kg	-
	Alumínio	kg	0,80
	Plástico	kg	9,00
	Madeira	kg	17,85
	Papel	kg	1,20
	Papelão	kg	1,07
	Aço Silicio	kg	4,60

Quadro 5 - Lista de saídas do ciclo de vida do transformador 75 kVA de alumínio.

O quadro 6 contempla a lista de saída do ciclo de vida na produção do transformador de 75 kVA de cobre

Grupo Emissões	Emissões	Unidade	Qtde
Emissões Gasosas	Gases e Fumos	kg	18,54
Efluentes líquidos	Oleo e gorduras	kg	0,47508
Grupo Resíduos	Resíduo	Unidade	Qtde
Resíduo	Aço carbono	kg	12,84
	Cobre	kg	1,43
	Alumínio	kg	-
	Plástico	kg	9,00
	Madeira	kg	17,85
	Papel	kg	0,99
	Papelão	kg	1,07
	Aço silicio	kg	4,17

Quadro 6 - Lista de saídas do ciclo de vida do transformador 75 kVA de cobre.

Foi realizada a quantificação de massa e de energia, apresentada na tabela 1 e 2, para gerar o ICV, usando o software SimaPro, dos transformadores com bobinas de cobre e com bobinas de alumínio, apresentado Apêndice E.

Tabela 1 - Quantificação de massa e de energia entradas

Entrada materiais	75 KVA Alumínio	75 KVA Cobre
Aço Silício (kg)	153,30	138,9
Óleo Transformador (kg)	117,22	95,01
Aço Carbono (Tanque) (kg)	70,16	64,21
Alumínio (kg)	40,60	-
Cobre (kg)	-	71,50
Material isolamento (kg)	11,10	10,40
Tinta Pó (kg)	3,50	3,50
Total materiais modelado	396,00	384,00
Materiais em comum (kg)	31,32	31,32
Total materiais (kg)	427,32	415,32
Elettricidade (kWh)	149,50	149,00
Gás GLP (MJ)	137,47	125,81
Água (L)	145,67	145,00

Tabela 2 - Quantificação de massa saída resíduos

Saída resíduos	75 KVA - Alumínio	75 KVA - Cobre
Aço Silício (kg)	4,60	4,17
Óleo Transformador (kg)	0,59	0,48
Aço Carbono (Tanque) (kg)	14,03	12,84
Alumínio (kg)	0,80	0,00
Cobre (kg)	0,01	1,43
Material isolamento (kg)	3,33	3,12
Tinta Pó (kg)	0,70	0,70

4.2 A análise da rede com o diagrama de *Sankey*

A análise da rede compara a estrutura do transformador com bobina alumínio e do transformador com bobina de cobre. O diagrama de *Sankey* caracteriza-se como diagrama de fluxo, permitindo a visão geral de massa e de energia, e, a largura das setas explica as características relevantes para os fluxos (SCHMIDT, 2008). Na figura 26 e figura 27 verificam-se as diferenças na rede para a produção de transformador de alumínio e de transformador de cobre, bem como, a representatividade de cada processo e a influência deste no conjunto. Observa-se que o subsistema que promove uma maior contribuição (70,8%) na rede analisada está relacionado com o aço silício (representado pelo subsistema *steel electric, chromium steel 18/8, at plant*) na produção de transformador com bobinas confeccionadas

com fios de alumínio. No caso do produção de transformador com bobinas confeccionadas com fios de cobre o subsistema que promove maior contribuição (87,7%) na rede analisada é o cobre primário (representado pelo *copper primary at refinery*).

4.3 Análise de inventário do ciclo de vida

Foi extraído do SimaPro a listagem contendo dois mil e um processos que contribuem para o impacto no meio ambiente. Foram selecionados os vinte e nove processos que são responsáveis por mais de 82% dos impactos, apresentados na tabela 3. Analisando-a constata-se que nos transformadores de bobinas de cobre o “descarte, rejeitos de sulfetos” é o que mais contribui no total de processos, enquanto, no transformador de bobinas de alumínio é o “ferro-níquel, 25% Ni, na planta”.

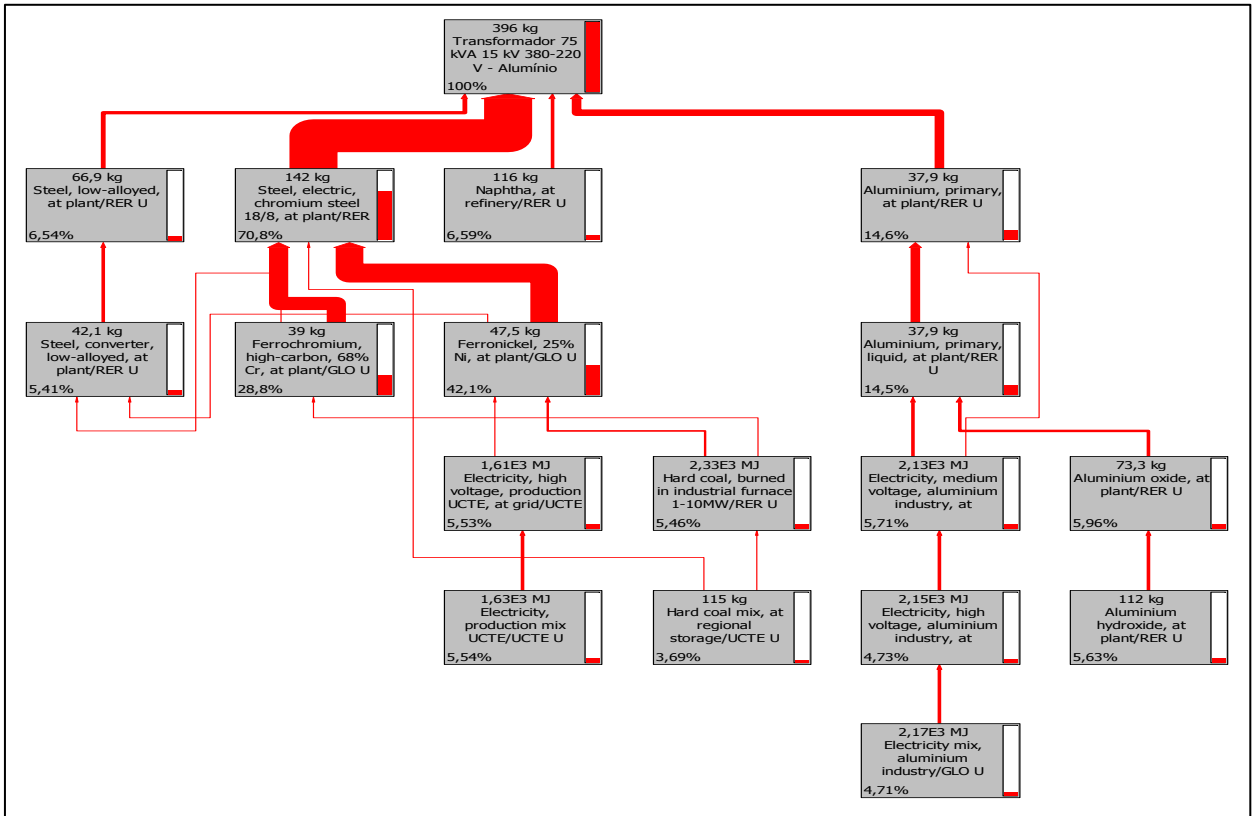


Figura 26 - Fluxo geral do ciclo de vida, posto como rede, do transformador com bobina em alumínio.

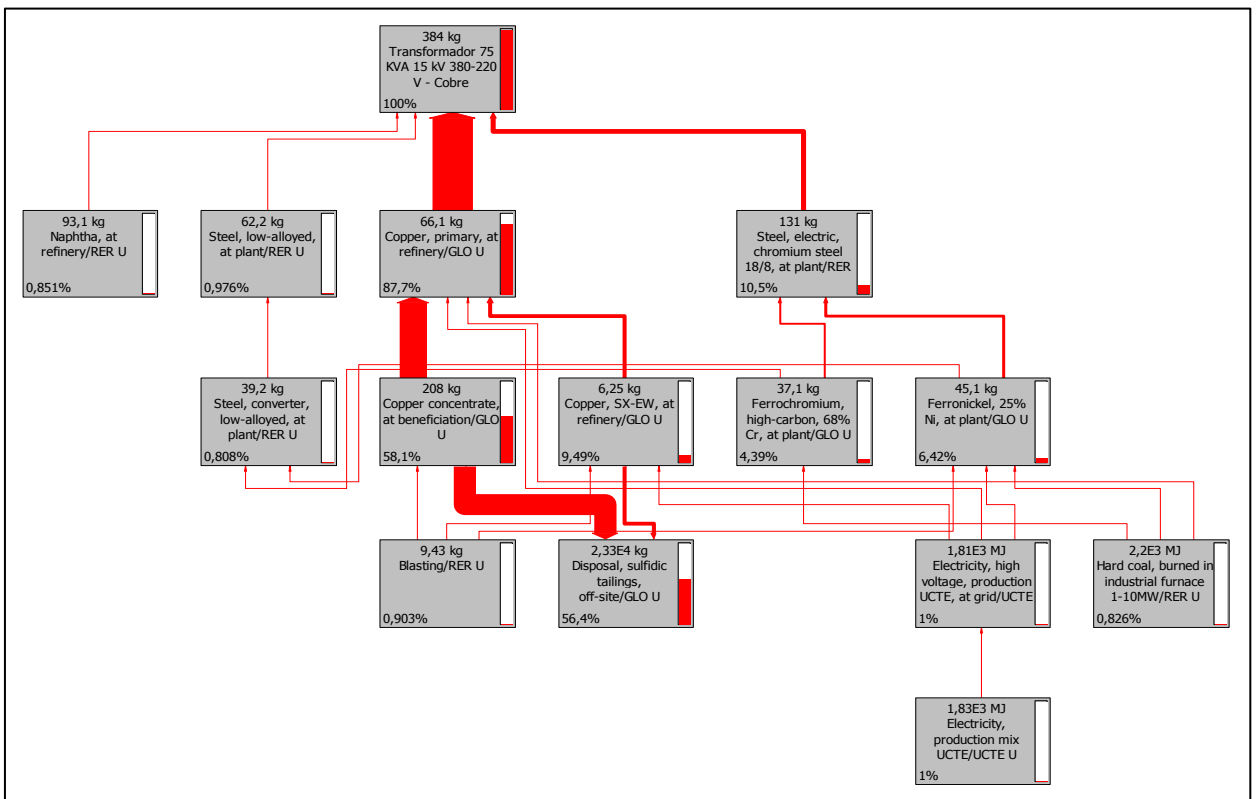


Figura 27 - Fluxo geral do ciclo de vida, posto como rede, do transformador com bobina em cobre.

Tabela 3 - Contribuição relativa por processo.

Processos	Projeto	Unidade	Transformador-Cobre	Transformador-Alumínio
Total processos	Ecoinvent	Pontos	1.765,05	302,39
Descarte, rejeitos sulfetos	Ecoinvent	Pontos	996,16	12,36
Cobre, primário, na refinaria	Ecoinvent	Pontos	349,51	3,02
Concentrado de cobre, no beneficiamento	Ecoinvent	Pontos	155,33	1,34
Ferro-níquel, 25% Ni, na planta	Ecoinvent	Pontos	78,94	85,26
Ferrocromo, alto teor de carbono, 68% de Cr, na planta	Ecoinvent	Pontos	70,70	76,35
Jateamento	Ecoinvent	Pontos	14,30	0,91
Cobre, SX-EW, a refinaria	Ecoinvent	Pontos	11,44	0,14
Hulha, queimados em forno industrial 1-10MW	Ecoinvent	Pontos	6,73	7,33
Descarte, níquel fundição de escória, 0% de água, a material residual aterro	Ecoinvent	Pontos	5,49	5,43
Petróleo bruto, a produção on shore	Ecoinvent	Pontos	4,44	6,14
Hulha, na mina	Ecoinvent	Pontos	3,85	4,32
Petróleo bruto, a produção offshore	Ecoinvent	Pontos	3,72	5,12
Gás natural, a produção onshore	Ecoinvent	Pontos	3,18	3,50
Petróleo bruto, a produção onshore	Ecoinvent	Pontos	3,10	4,26
Petróleo bruto, a produção offshore	Ecoinvent	Pontos	3,09	4,25
Hulha, na mina	Ecoinvent	Pontos	2,55	4,01
Minério de ferro, 46% Fe, na mina	Ecoinvent	Pontos	2,48	2,61
Petróleo bruto, a produção onshore	Ecoinvent	Pontos	2,19	3,25
Óleo, queimados em forno industrial 1MW, não-moduladora	Ecoinvent	Pontos	1,88	0,70
Aço, elétrico, cromados 18/8, na planta	Ecoinvent	Pontos	1,86	2,07
Lenhite, em minas	Ecoinvent	Pontos	1,80	2,33
Descarte, entulho de mineração de lenhite, no aterro superfície	Ecoinvent	Pontos	1,70	2,19
Gás natural, a produção onshore	Ecoinvent	Pontos	1,65	1,76
Diesel, queinado em máquinas	Ecoinvent	Pontos	1,50	1,34
Gás natural, a produção offshore	Ecoinvent	Pontos	1,43	1,58
gás natural, a produção onshore	Ecoinvent	Pontos	1,41	1,55
Descarte, entulho de mineração de carvão, na superfície do aterro	Ecoinvent	Pontos	1,21	1,73
Hulha, na mina	Ecoinvent	Pontos	1,10	1,66
Cromita, concentrado de minério, no beneficiamento	Ecoinvent	Pontos	1,09	1,18

4.4 Avaliação de impacto do ciclo de vida

Embora uma ACV possa conter centenas de processos, buscou-se investigar aqueles que mais contribuem nas emissões para cada categoria, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Fluxos com maior contribuição nas categorias de impacto.

Categoria de impacto	Tipo de Fluxo	Contribuição Al(%)	Contribuição Cu(%)
Carcinogenia	Aço elétrico na planta	43,86	-
	Alumínio primário na planta	42,67	-
	Cobre primário na refinaria	-	99,24
Respiração compostos orgânicos	Aço elétrico na planta	40,57	21,45
	Nafta, na refinaria	23,42	-
	Alumínio primário na planta	19,97	-
	Cobre primário na refinaria	-	58,68
Respiração compostos inorgânicos	Aço elétrico na planta	68,69	24,51
	Alumínio primário na planta	18,22	-
	Cobre primário na refinaria	-	70,83
Mudança climática	Aço elétrico na planta	45,59	56,12
	Alumínio primário na planta	37,98	-
	Cobre primário na refinaria	-	23,73
Radiação	Aço elétrico na planta	46,13	55,84
	Alumínio primário na planta	41,20	-
	Cobre primário na refinaria	-	28,82
Camada de ozônio	Nafta, na refinaria	43,44	44,55
	Aço elétrico na planta	25,48	29,20
	Alumínio primário na planta	24,08	-
	Cobre primário na refinaria	-	17,93
Ecotoxicidade	Aço elétrico na planta	93,55	20,05
	Aço de baixa-liga na planta	4,14	-
	Cobre primário na refinaria	-	78,99
Acidificação / eutrofização	Aço elétrico na planta	51,51	13,65
	Alumínio primário na planta	28,65	-
	Cobre primário na refinaria	-	81,16
Uso do solo	Aço elétrico na planta	33,21	16,68
	Papel cartão ondulado kraft na planta	20,14	11,16
	Papel kraft branqueados na planta	15,39	7,03
	Cobre primário na refinaria	-	56,41
Minerais	Aço elétrico na planta	90,60	34,70
	Alumínio primário na planta	5,40	-
	Cobre primário na refinaria	-	63,74
Combustíveis fósseis	Aço elétrico na planta	33,94	38,70
	Nafta na refinaria	30,19	30,80
	Alumínio primário na planta	24,01	-
	Cobre primário na refinaria	-	16,46