Avaliação do Ciclo de Vida de Estruturas Metálicas

COELHO, M.B.O[,b] ,BRANDÃO M.S.[a] ,

a. Universidade de São Paulo- EESC, São Carlos

b. Universidade de São Paulo - ESALQ, Piracicaba

maria.beatriz.coelho@usp.br

Resumo

A avaliação do ciclo de vida é um método que auxilia a identificação da magnitude do impacto ambiental de um produto dentro de sua cadeia de produção e consumo. Os resultados dessa avaliação podem ser úteis na elaboração de estratégias mais sustentáveis para o uso dos recursos naturais. O presente trabalho estudou o ciclo de vida de estruturas metálicas de uma empresa do interior de São Paulo, Reccom Equipamentos Industriais durante a ministração da matéria Engenharia do Ciclo de Vida do Produto, ministrada pelo Professor Aldo Roberto Ometto na Universidade de São Paulo – São Carlos. Constatou-se que a produção da mesma poderia ser repensada seja na realização de um projeto de minimização de produção de resíduos, ou por meio de um sistema de logística reversa ou ainda implantando ações de P+L (Produção Mais Limpa), tornando assim os produtos mais sustentáveis.

Palavras-chave: *avaliação do ciclo de vida, impacto ambiental, estudo de caso, estruturas metálicas.*

1. Introdução

As últimas décadas têm se mostrado palco de constantes discussões sobre temas ambientais, um exemplo disso foi a recente Rio+20. Um dos motivos dessas discussões está em encontrar caminhos alternativos aos modos de produção e consumo atuais, isso porque esses modos de produção e consumo têm se mostrado prejudiciais ao meio ambiente. Nesse cenário, a indústria tem um papel fundamental por ser parte da sociedade, e o estudo do ciclo de vida do produto e propostas de ecoinovação, por exemplo, são pontos muito importantes no contexto do século XXI.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o ciclo de vida de estruturas metálicas produzidas pela Empresa Reccom Equipamentos Industriais, situada na cidade de Sertãozinho- São Paulo. O mesmo surgiu junto à necessidade de levantarmos os aspectos, quantitativos e qualitativos que envolviam o ciclo de vida de um produto, fazendo parta da matéria Engenharia do Ciclo de Vida do Produto, ministrada na Universidade de São Paulo- São Carlos, pelo professor Aldo Roberto Ometto.

A proposta de avaliação do ciclo de vida tem foco na etapa de fabricação das estruturas metálicas e se faz necessária para a compreensão da magnitude dos impactos ambientais causados no processo, bem como para servir de auxilio na tomada de decisão mais sustentável por parte dos gestores da empresa e incentivá-los a buscarem estratégias de P+L. Adicionalmente, o trabalho

busca complementar a literatura sobre o tema com mais um exemplo de aplicação da avaliação do ciclo de vida de produtos.

2. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica apresenta os conceitos para o desenvolvimento do projeto, revisando o conteúdo de sustentabilidade com o foco no tripé da sustentabilidade, ciclo de vida do produto, P+L (produção mais limpa) e logística reversa.

2.1 Sustentabilidade e o tripé da sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito dinâmico e evolutivo, rico, de múltiplas dimensões e sujeito a interpretações variadas que, partindo de modos de vidas e culturas locais, tendem a refletir uma visão de mundo diferente (HERNÁNDEZ et al., 2006). E essa multidimensionalidade da sustentabilidade está presente em alternativas teóricas para o desenvolvimento de: países, cidades e até empresas e organizações. As ações relacionadas à sustentabilidade devem ser transversais em dentro do conceito de dimensões da sustentabilidade. Em relação a empresas, as dimensões da sustentabilidade primordiais e que devem ser constatadas são: a social, a ambiental/ecológica e por fim, a econômica, dimensões conhecidas no mundo empresarial como "*Triple Bottom Line*" ou tripé da sustentabilidade, que se inter-relacionam no contexto da organização. A dimensão econômica da sustentabilidade está diretamente ligada ao capital econômico da empresa, que por sua vez aparece em duas formas: físico, incluindo maquinários, por exemplo; e financeiro. Por sua vez, a dimensão humana se refere ao capital humano e as habilidades e competências que formam a base de conhecimento da organização. Por fim, a dimensão ambiental busca entender o impacto que a organização gera no ambiente e como mitigar os impactos negativos (RUSSO, 2008; SAVITZ & WEBER, 2006).

2.2 Produção mais limpa (P+L)

A busca pela redução da poluição gerou o programa de produção mais limpa, que busca a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados no processo produtivo (RENSI & SCHENINI, 2006).

Dentro dessas propostas a melhoria de práticas operacionais é uma alternativa, já que a padronização dos parâmetros operacionais como temperatura, vazão, volume etc., num processo pode interferir na eficiência e no aumento ou redução do consumo de materiais. A mudança no processo também pode ser um exemplo de P+L, caso esse processo novo apresente melhor desempenho ambiental e econômico, por exemplo. O reuso de materiais antes do descarte pode também ser considerada uma estratégia de P+L, e até mesmo o treinando de funcionários, por meio da capacitação profissional com o foco no desenvolvimento pessoal dos funcionários e de consciência ambiental também pode ser considerada uma estratégia de P+L (CETESB, 2002).

2.3 Logística reversa

Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n° 12.305 de 02 de agosto de 2010 institui-se a Responsabilidade compartilhada pelo Ciclo de vida dos Produtos "conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei." (MMA, 2013).

Sendo uma das formas de Responsabilidade Compartilhada, a logística reversa é um "instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial,

para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos ou em outra destinação" (MMA, 2013).

3. Metodologia

A metodologia para o estudo das estruturas metálicas foi a da avaliação do ciclo de vida do produto, com base nas normas NBR ISO 14040, e no trabalho de WENZEL; HAUSCHILD; ALTING (1997).

3.1 Avaliação do ciclo de vida do produto

A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta muito importante no estudo do ciclo de vida, e apresenta algumas etapas para ser realizada: Definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto; interpretação dos dados. Tudo isso pode ser aplicado diretamente no desenvolvimento e melhoria do produto, no planejamento estratégico; na elaboração de políticas públicas, entre outros (ABNT, 2001).

Na fase de definição do objetivo, os propósitos do estudo são descritos, incluindo as decisões terão como bases o estudo para serem tomadas. Na definição do escopo, vários pontos devem ser apreciados como: apresentação do objeto do estudo; do critério de avaliação; da definição das fronteiras do sistema do produto; o tempo de validade do estudo; o nível tecnológico do estudo, pela qualidade dos dados iniciais; entre outros aspectos (WENZEL, HAUSCHILD, ALTING, 1997; ABNT, 2001). No caso do estudo do ciclo de vida das estruturas metálicas, todos os parâmetros foram definidos no que foi considerado um valor médio de peso das estruturas, pois sendo estas fabricadas conforme a necessidade dos clientes, não existe um produto fixo que é produzido em massa e vendido.

A parte de análise do inventário conta com o formato dos dados coletados, como por exemplo, as unidades que serão utilizadas, e qual será a unidade escolhida para normalizar o processo (uma das mais comuns é a que converte em valores de CO_2); e como os dados serão coletados e modelados (WENZEL, HAUSCHILD, ALTING, 1997; ABNT, 2001). Nesta etapa, dentro de cada processo foram estabelecidas de forma qualitativa suas entradas e saídas. Adicionalmente, um foco quantitativo foi dado ao processo de fabricação da estrutura, que o ocorre na empresa Reccom. Essa escolha foi baseada na obtenção fragmentada dos dados disponíveis sobre os demais processos e na busca de uma proposta de P+L que parta da empresa, por isso, os dados mais importantes são os provenientes do processo produtivo.

Por fim, a avaliação do impacto ambiental é uma fase que do estudo da significância de potenciais impactos ambientais, que utiliza os resultados da análise do inventário, correlacionando-os por categorias de impacto (classificação) e modelando-os dentro das categorias definidas de impacto (caracterização), e também podendo apresentar uma possível agregação dos resultados em casos específicos ou quando muito significativos (ponderação) (ANBT, 2001).

Todas essas etapas permitem uma interpretação dos resultados e a confecção de um relatório que servirá como base nas tomadas de decisão pelos gestores da empresa e/ou responsáveis pelo projeto do produto. Além disso, na avaliação do ciclo de vida, melhorias podem ser implantadas a fim de gerar ganhos ambientais e favorecer a Produção mais limpa (P+L). No presente trabalho, objetivou-se iniciar esse processo de estudo do ciclo de vida por meio de parâmetros obtidos na cadeia de produção de um produto da Reccom Equipamentos Industriais.

4. Resultados

Os dados para a construção do ciclo de vida do produto foram obtidos principalmente de forma direta da empresa estudada, isso para o processo em si de fabricação. Para os processos anteriores e dados pós venda, como os de reciclagem, não foram estimados os valores em virtude da fragmentação dos dados disponíveis.

O trabalho considerou o uso igual de matéria-prima para cada estrutura metálica produzida, sendo que o valor atribuído a cada estrutura produzida corresponde a uma estimativa, um valor médio, do peso de cada estrutura.

4.1 Definição do objetivo e escopo do ciclo de vida

Abaixo são apresentados os componentes do escopo da ACV das estruturas metálicas:

Função do Sistema: Servir como base para inspeção visual de caldeiras.

Unidade Funcional: A unidade funcional é definida como sendo a utilização por 10 anos da estrutura metálica para inspeção de Caldeiras.

Fluxo de Referência: 200 kg de plataforma (corrimão e piso).

Sistema de Produto: Os processos que compõem o sistema de produto das estruturas metálicas são de forma resumida e selecionada:
Extração e tratamento do minério, laminação, conformação e soldagem, fabricação e distribuição, uso/consumo e reciclagem ou destinação final. Todos esses processos tem em comum o transporte de materiais, principalmente por veículos automotores.

A fronteira do sistema foi definida pela quantidade em massa do produto inserido ou gerado na fabricação e pelo possível grau de impacto desse produto no meio ambiente, dessa forma, por exemplo, o papel é um resíduo gerado do processo de fabricação que não foi introduzido no estudo, porque a geração é pequena e seu impacto ambiental negativo não é significativo. No entanto, a emissão de gases estufa provenientes do transporte não foi abordada pelo motivo que o foco do trabalho está em avaliar o processo produtivo interno de fabricação das estruturas, mas em trabalhos futuros, esse aspecto deve ser considerado pela sua relevância nas emissões de gases como o dióxido de carbono, entre outros.

Para a identificação dos tipos de impactos abordados foi utilizado o estudo de Ometto (2005), dessa forma, as categorias de impactos utilizadas foram: consumo de recursos renováveis, de não renováveis e de energia, que podem gerar os seguintes impactos ambientes: aquecimento global, redução da disponibilidade de recursos naturais, poluição sonora, entre outros.

4.2 Análise de Inventário do ciclo de vida

O ciclo de vida esboçado para a avaliação abrange as seguintes etapas: extração e tratamento do minério; laminação; conformação e soldagem; fabricação; uso e consumo; reciclagem; e disposição final. Os dados coletados nesse trabalho se referem principalmente ao processo de fabricação das estruturas metálicas.

A estrutura metálica é composta de tubos e chapas. Os tubos são produzidos por conformação e as chapas por laminação. Os dados de consumo dessas etapas estão contidos na Tabela 3.

O levantamento dos dados para o processo de fabricação foi por meio da análise das notas fiscais das matérias-primas da empresa "Reccom Equipamentos Industriais" como também das notas de venda da mesma. Na análise das entradas em da Reccom Equipamentos Industriais foi observado o consumo médio anual de 47 toneladas de chapas de aço carbono; 410 toneladas de perfis de aço carbono; 134,6 toneladas de tubos de aço carbono anualmente. A produção de estruturas metálicas é de 560 toneladas/ano na empresa. E a produção de sucata metálica de 20 t/ano na empresa. A empresa consome em média 3.000 kWh/mês. Sendo que não possui efluentes líquidos a serem tratados.

Em relação ao consumo e disposição final, a empresa não possui um controle e acompanhamento sobre como seu produto é descartado após o uso, dessa forma, uma hipótese levantada nessa etapa foi que enquanto algumas estruturas são enviadas para reciclagem, outras são diretamente enviadas para a disposição final em aterros.

4.3 Síntese dos dados para a ACV

A Tabela 1 apresenta os itens que por suas características foram considerados ambientalmente relevantes na ACV:

Tabela 1: Síntese do consumo de materiais no processo de fabricação

Item	Qtd. para produção de 560t de produto	Qtd. para fluxo de referência (200kg)
Parafuso	500 kg	178,57 g
Arame MIG/MAG	3.000 kg	1,071 kg
O_2	737 m³	0,263 m³
Chapa Metálica (aço carbono)	47.000 kg	16,7 kg
Tubo de Aço	124.600 kg	44,5 kg
CO_2	2.526 kg	902,15 g
Disco de corte	3.957 unidades	1,5 unidades
Disco de desbaste	550 unidades	0,2 unidades
Perfis de aço	405.000 kg	144,64 kg
Degraus / Grades de aço carbono	10.520 kg	3,75 kg
Consumo de energia elétrica	Aprox. 36.000 kWh/ano	12,8 kWh

Nessa tabela são apresentados os valores de consumo anuais para a produção total, ou seja, o quanto de cada item é utilizado para a produção de 560 toneladas da estrutura estudada e também os valores aplicados ao fluxo de referência de 200 kg de uma estrutura metálica. Como é possível observar, dos valores apresentados, os referentes ao consumo de aço são os mais significativos em peso, isso decorre da grande quantidade desse material para a fabricação da estrutura.

Adicionalmente, os dados obtidos em relação aos resíduos gerados permitiu que fosse construída uma tabela similar. Os itens contemplados nessa tabela se referem diretamente ao processo de fabricação das estruturas, de forma que resíduos como efluentes (esgotos) não foram contabilizados, mesmo sendo necessários para a empresa, na AVC desse produto:

Tabela 2: Síntese do resíduo gerado no processo de fabricação das estruturas

Resíduos	Qtd. [kg/ano]	Qtd. para fluxo de referência (200 kg)
Sucata de metais ferrosos	20.000	7,14 kg
Resíduos de papel e papelão	30	10,71 g
Filmes e pequenas embalagens de plástico	10	3,57 g

Como é possível visualizar, os resíduos gerados pela fabricação de uma estrutura são de: 7,14kg de sucata de metais ferrosos e quantidades muito pequenas de outros materiais.

Com os dados levantados na análise do inventário foi possível desenvolver o fluxo de massa e energia do ciclo de vida estudado. A Figura 2 apresenta no lado esquerdo a situação atual do ciclo de vida do produto, como é possível observar, algumas etapas foram analisadas de forma qualitativa, sendo estimulado a estudos futuros um aprofundamento com o objetivo de quantificar essas entradas e saídas.

Por fim, nesse trabalho foi esboçado o potencial impacto ambiental resultante dos processos de fabricação de estruturas metálicas.

4.4 Avaliação de impacto

A avaliação do impacto busca apresentar o possível impacto ambiental associado a cada aspecto ambiental presente no ciclo de vida do produto. Com os dados levantados, a figura 1 pode ser criada a fim de exemplificar possíveis aspectos desse ciclo, que serão levantados a partir das entradas e saídas de cada uma das etapas.

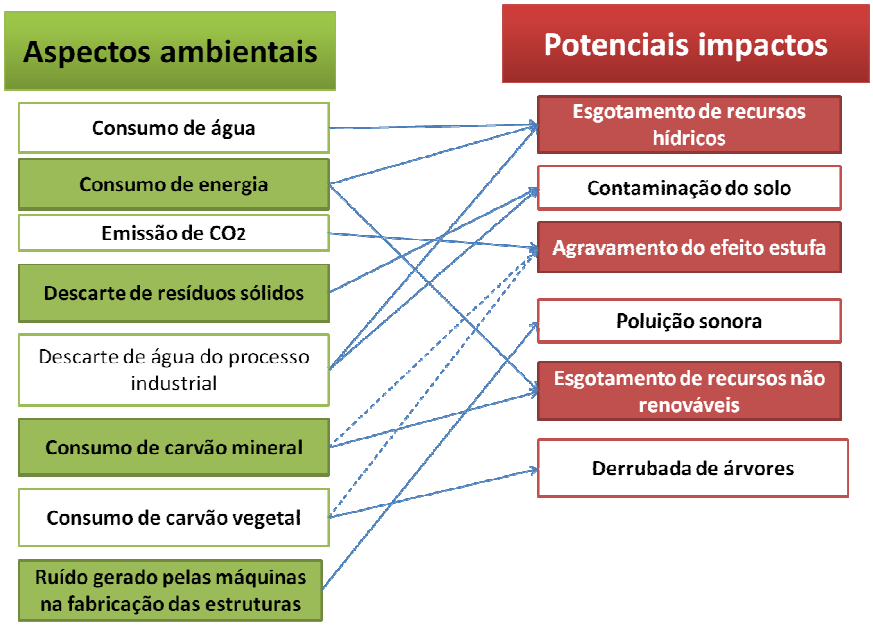

Figura 1 – Correlação de Aspectos e Impactos Ambientais

Como principais aspectos ambientais são destacados: o corte de árvores, o alto consumo de água para a produção do aço que será utilizado para a fabricação dos perfis e tubos de aço carbono. O alto consumo de energia para o processo de conformação dos tubos com solda ERW.

Como principais impactos ambientais do processo analisado destacamos: diminuição da disponibilidade hídrica, emissão de gases do efeito estufa (produção de energia por hidrelétricas), poluição sonora na fabricação das estruturas metálicas. Quanto maior a racionalização do uso das matérias-primas, menor o Impacto Ambiental da atividade.

Ainda na avaliação do impacto foi possível construir uma tabela com dados e fatores de conversão para avaliação do impacto causado pela fabricação das estruturas.

Tabela 3: Conversão dos dados para emissões de CO_2-eq.

Processo	Entradas/Saídas (resumo)	Fator de conversão para CO_2-eq.	Emissões de CO_2-eq.	Fonte
Extração e tratamento do minério	- / 200 kg aço carbono	1,06 $kgCO_2$/kg Aço produzido	212 kg	IPCC (2006)[1]
Laminação[3]	- / 161,34kg de aço (chapas e	Energia:	-	Ministério de

	perfis)	0,0686 $kgCO_2/kWh$ Água: 0,50 $kgCO_2/m^3$		Ciência e Tecnologia (2012)[2]; Álvarez & Heras (2009)
Conformação e soldagem	2,95 kWh; 1,02 litros de água/ 44,5 kg de tubos		0,21 kg	
Fabricação e distribuição	~200kg de aço (tubos, chapas e perfis); 12,8kWh/ 200kg de estruturas metálicas		0,88 kg	
Uso/consumo				Não Avaliado
Reciclagem ou destinação final				
Transporte				

Legenda: [1] - The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – o fator de conversão corresponde a uma média global dos processos de produção de aços, por esta razão não foram expostas entradas e saídas do processo "extração e tratamento do minério" que não fossem o aço, uma vez que o fator de conversão global já contempla tudo isso; [2]- Dados do Ministério referente ao ano de 2012. [3] - Dados não disponíveis.

Com os dados disponíveis do processo, a estimativa de emissões de CO2 no ciclo de vida esboçado na Figura 2 é de 213,1 kg. Obviamente, esse valor é inferior ao valor verdadeiro, porque se acredita que as emissões provenientes dos transportes dos materiais e do transporte das pessoas sejam significativas. No entanto, esse valor já auxilia na mitigação do impacto atual da empresa. Para isso, optou-se pela plantação de árvores como forma de sequestro do CO2 emitido. No bioma da Mata Atlântica, em média, a cada 5 árvores plantadas é possível neutralizar a emissão de 1 ton de carbono (CARBONO NEUTRO, 2010), então será necessário o plantio de no mínimo uma árvore para cada 200 Kg de estrutura metálica produzida a fim de compensar-se as emissões atuais do ciclo. Adicionalmente, como parte estratégica do processo, algumas sugestões de P+L podem ser estabelecidas como medidas mais eficazes na redução das emissões de gases estufa, como o dióxido de carbono.

4.5 Melhorias segundo a P+L

A partir da análise do diagrama e dos dados, observou-se o alto consumo de água para a produção do aço. Quanto à conformação dos tubos observou-se um alto consumo de energia. Quanto à produção das estruturas metálicas, observou-se um alto desperdício de matéria-prima, pela produção de sucata metálica analisada. Além disto, poder-se-ia realizar projetos de engenharia que otimizassem a utilização da matéria-prima, retirando-se partes desnecessárias.

Quanto à mão-de-obra é aconselhável que seja treinada, a fim de que as execuções, fabricações possuam poucos erros e assim possa diminuir-se o desperdício.

A partir desta avaliação é possível analisar para cada processo a possibilidade de aplicarmos o conceito de produção mais limpa, a fim de aumentar a eficiência do uso de todos os insumos envolvidos, seja através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados.

Além das chamadas técnicas de "fim de tubo", é necessário integrar objetivos de desempenho ambiental aos processos industriais. Esta abordagem induz a inovação nas empresas, dando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentado e competitivo, não apenas para elas, mas para toda a região que abrangem.

Podem ser utilizadas várias estratégias visando a Produção mais Limpa e a minimização de resíduos, Tais como: redução na fonte, modificação no processo, substituição de matéria-prima, modificação de tecnologia, modificação no produto, reutilização de resíduos e emissões, reciclagem externa.

4.6 Solução com foco gerencial

Uma estratégia proposta foi esboçada no fluxo de massa e energia do processo, agora modificado (Figura 2 - direita).

A proposta apresentada nesse fluxo seria a de acordo entre as empresas de: laminação, a Reccom, seus clientes e a empresa de reciclagem. Nessa proposta, a Reccom seria responsável pelo acompanhamento da utilização da estrutura pelo seu cliente e este ficaria responsável em destinar, ao final da vida útil, a sucata da estrutura para a empresa conveniada no acordo. Essa empresa ganharia pela conquista de novos e fidelizados clientes, e repassaria o material reciclado para indústria de laminação a um preço com um desconto a ser definido. Da mesma forma, a empresa de laminação concederia um desconto para a Reccom na compra do material laminado, configurando um ganho econômico direto a empresa. Além disso, os clientes conveniados também teriam um desconto na aquisição de uma nova estrutura.

No entanto, alguns pontos devem ser considerados. Primeiro, os clientes, bem como as indústrias envolvidas nos processos deveriam estar localizadas próximas, ou seja, serem regionais, a fim de garantir que o impacto gerado pelo transporte desse material seja menor do que o ganho ambiental associado.

Ainda assim, os potenciais ganhos ambientais seriam evidentes, pois a quantidade de material de possível reciclagem destinado a diferentes aterros diminuiria, estendendo as vidas úteis desses aterros.
Outro ponto positivo seria na redução da extração do material, o que já evidencia grandes melhorias, visto que esse processo de extração parece ser um dos mais críticos do ciclo em termos de emissões de CO_2 e impacto no ambiente.
Vale ressaltar que ao acompanhar o uso do produto vendido (estrutura metálica) pelos clientes e garantir que seja feita a melhor destinação para o produto já desgastado está de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que possivelmente num futuro próxima defina esse tipo de atividade como um exemplo de responsabilidade compartilhada pelo produto, e faça disso uma obrigação legal.

5. Conclusão

A avaliação do ciclo de vida tem sido hoje uma técnica muito importante na escolha e identificação de melhorias em um produto. Essa importância tem sido aumentada pela busca pelos consumidores de empresas mais responsáveis tanto com as questões sociais quanto com as ambientais. Nesse trabalho, por meio desse estudo de caso real das estruturas metálicas, muitos pontos puderam ser discutidos e melhorias diretas já foram esboçadas, principalmente para a fase de descarte de materiais.

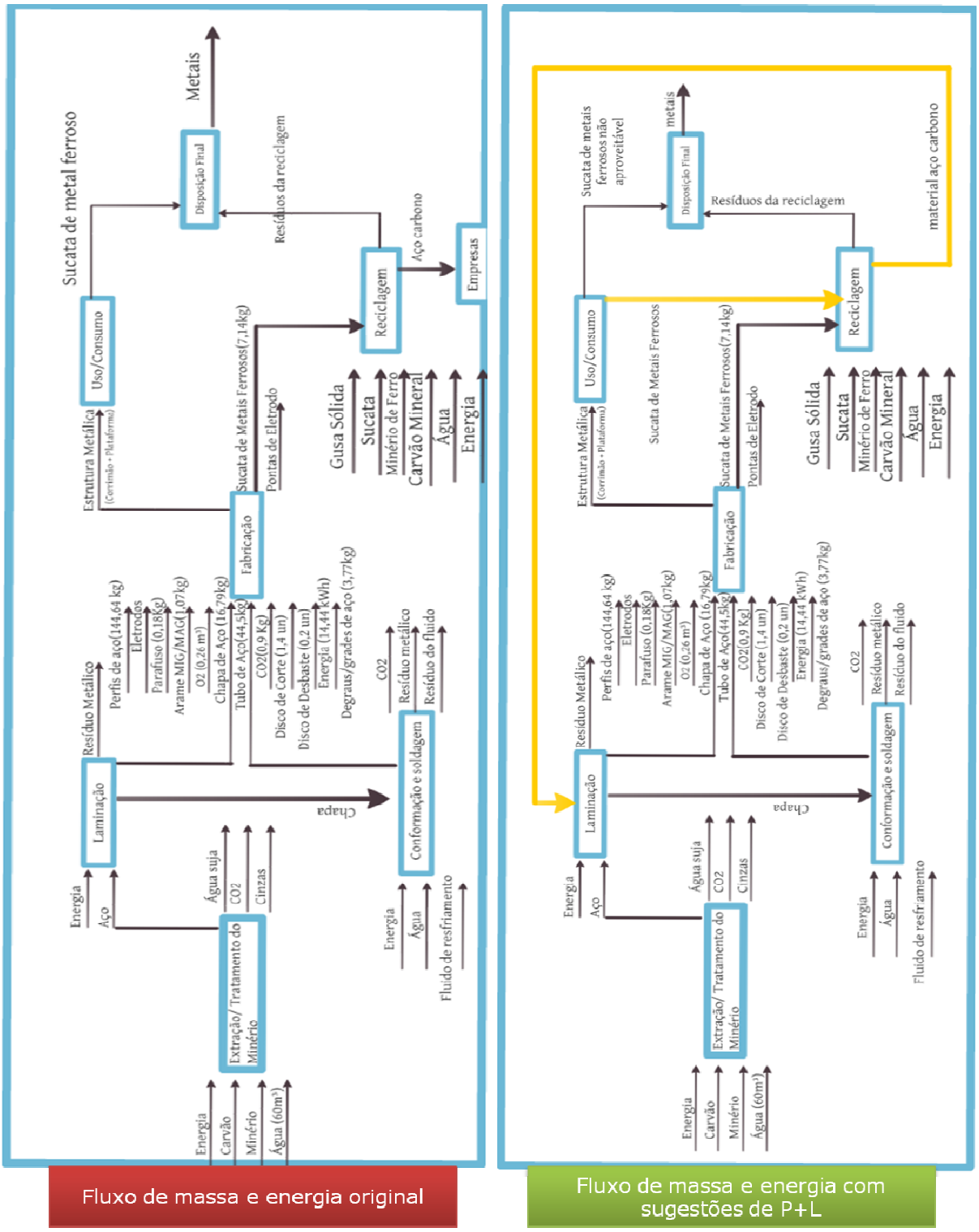

Figura 2: Fluxos de massa e energia em suas situações: lado esquerdo representa o confeccionado com base nos dados e análise do ciclo de vida atual das estruturas metálicas; lado direito está com as propostas de P+L. Fonte: Elaborado pelos autores.

Como forma de complementar o trabalho, a busca por fatores de conversão para uma unidade comum equivalente se fez necessária para pelo menos compensar, por meio de plantio de árvores, por exemplo, o impacto gerado nesse ciclo atualmente. No entanto, o verdadeiro ganho está ao buscar melhorias logo no início do planejamento do produto, utilizando para isso a P+L, o eco-design e outras medidas, técnicas, modelos de desenvolvimento de produtos mais responsáveis em termos ambientais.

6. Bibliografia

ÁLVAREZ, N.L.; HERAS, D.B. Impacto Ambiental da universidade de Santiago de Compostela**.** Oficina de Desenvolvemento Sostible. Vecerreitoría de calidade e planificación. Universidade de Santiago de Compostela, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. ABNT, 2001.

CARBONO NEUTRO EM PARATY, RJ. Revista Educação Ambiental - BE597. Vol.3, 2010.

CETESB – São Paulo. Manual para a implementação de um programa de prevenção à poluição/ CETESB – 4ª edição – São Paulo, 2002.

HERNÁNDEZ, R.C.; CASTILLO, O.G.; MÁRQUEZ, E.M. Hacia una gestión sustentable del campus universitario. Revista Casa del Tiempo, n.93-94 – Universidade Autônoma Metropolitana, 2006.

LEITE, P. R.Logística Reversa. Prentice Hall. São Paulo, 2003.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Fatores de emissão de CO2. Brasil, 2012. Disponível em < http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora> Acesso: 07/2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Logística Reversa, http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa, acessado em fevereiro/2013.

RENSI, F; SCHENINI, P.C. Produção mais limpa – Revista de ciências da administração, vol. 8, num. 16, 2008.

RUSSO, M. V. Environmental Management – Readings and cases. California – USA. Sage Publications, 2008.

SAVITZ, A.W.; WEBER, K. The Triple Bottom Line – How Today's best-run companies are achieving economic, social and environmental success, and how you can too. San Francisco, CA – USA. Ed. Jossey-Bass, 2006.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Metal Industry emissions. Chapter 4. Volume 3: Industrial Processes and Product Use. IPCC, 2006.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. Environmental assessment of products – Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. Kluwer Academic Publishers, 1997.