

Análise do Ciclo de Vida como Ferramenta de Apoio ao Design para Sustentabilidade: Aplicação em uma pequena indústria de móveis.

Eduardo Romeiro Filho

Designer Industrial, DSc Engenharia de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
31270-901 - Belo Horizonte – MG – BRASIL
romeiro@ufmg.br

Diogo Marcelino Soares

Engenheiro de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais
diogosoares.ep@gmail.com

Dâmaris Ezra de Medeiros Santana

Engenheira de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais
demsantana@gmail.com

Resumo: A crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no consumo, têm aumentado o interesse no desenvolvimento de produtos a partir de abordagens como o Design para Sustentabilidade. Para o aprimoramento da abordagem ambiental no desenvolvimento de produtos em muito contribui a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Este artigo reúne conceitos e apresenta uma aplicação desta ferramenta, através de um estudo de casos realizado em uma empresa fabricante de móveis personalizados, onde a ACV foi aplicada na avaliação de um produto (Painel de TV), por meio da utilização do software Simapro. Ao final, os resultados apurados na análise revelaram o grande impacto do Medium-density fibreboard (MDF ou Painéis de Fibra de Média Densidade, material utilizado para a construção do painel), do consumo de energia, e da utilização de componentes como ferragens e materiais como a cola de contato.

Palavras-chaves: Análise do Ciclo de Vida, Design para Sustentabilidade, Impacto ambiental, Indústria moveleira, Painel de TV.

1. Introdução

Com o crescimento industrial, o uso da matéria-prima vem aumentando constantemente, contribuindo para problemas de ordem ambiental, como uma possível escassez de determinados recursos naturais e o impacto causado pelo mau uso destes recursos. No contexto ambiental, existem diversos conceitos, práticas e ferramentas, que focam o uso consciente dos recursos naturais e o controle dos impactos ambientais, como a perspectiva do desenvolvimento sustentável, o Ecodesign, e a ACV - Análise do Ciclo de Vida [1]. A indústria moveleira utiliza um grande volume de matéria-prima, daí a importância de que empresas deste segmento tenham conhecimento do impacto ambiental causado pelos sistemas de produção [2]. Um possível caminho para melhoria dos padrões de impacto ambiental está no investimento em tecnologias adequadas, além da utilização de matéria-prima certificada, redução do desperdício e o descarte e tratamentos mais indicados para os resíduos gerados no decorrer do processo de fabricação [3].

A ACV é um dos métodos mais aceitos internacionalmente para avaliação dos impactos ambientais associados a atividades ou produtos [4]. Justifica-se, portanto a importância da ACV para indústrias moveleiras como ferramenta de subsídio a identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos

pontos de seu ciclo de vida [5]. De fato, a busca de soluções ambientalmente adequadas na indústria moveleira tem sido tema de diversos trabalhos [6] [7]. A partir deste cenário, este trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre a Análise do Ciclo de Vida. Aplicamos a ferramenta através de um estudo de caso realizado numa pequena empresa do ramo moveleiro, de forma a determinar o impacto ambiental das etapas do ciclo de vida de um painel de TV. Ao final do artigo, são apresentadas considerações acerca da análise realizada.

2. Análise do Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida é uma das ferramentas mais utilizadas atualmente pelas empresas que desejam aplicar princípios da Gestão Ambiental. A ACV é entendida, segundo a descrição da norma [8], como uma técnica para avaliar aspectos ambientais potenciais associados a um produto em todas as etapas pelas quais o mesmo passa.

Essa ferramenta surgiu da necessidade de se estabelecer uma metodologia que tornasse possível a análise dos impactos ambientais das atividades de produção, incluindo todo o ciclo de vida de um produto: extração de matéria-prima, fabricação, montagem, armazenamento, venda, uso (e consequências do uso para o homem e o meio ambiente) e descarte, entre outras etapas que sejam específicas do produto [9].

A ACV serve como auxílio na tomada de decisão referente à produção de determinados produtos ou escolha de processos, considerando os impactos causados ao meio ambiente. E pode, ainda, identificar oportunidades de melhorias dos aspectos ambientais, considerando as várias fases de um sistema de produção, apresentando alternativas que possam representar economia no consumo de energia e de outros insumos do processo, como a utilização de água. A ACV fornece visão geral do real impacto causado pela fabricação de certo produto, determinando as etapas críticas da produção que proporcionam altas descargas ambientais ou que consumam grandes quantidades de recursos naturais [10].

A execução da ACV é realizada a partir de quatro etapas: Definição do objetivo e escopo, Análise de inventário, Análise de impacto e Interpretação de resultados [8].

Ao dar início a uma ACV é necessária a **definição do objetivo e do escopo**. Nessa fase inicial o produto e o processo são descritos, juntamente com o contexto da avaliação. É fundamental que o objetivo e o escopo de uma ACV sejam consistentes com a aplicação pretendida e claramente definidos, o que evita futuras dificuldades. O escopo bem definido garante que a extensão, profundidade e grau de detalhamento sejam suficientes para atender ao objetivo estabelecido. No escopo serão definidos a unidade funcional, que serve como base de comparação para cada etapa do processo analisado, as fronteiras do sistema, que determinam as unidades do processo a serem incluídas na ACV, e os procedimentos de alocação de impactos, definidos como a participação de fluxos de entrada e saída de um processo no sistema em estudo.

A **análise do inventário** é a etapa que busca identificar e quantificar as entradas e saídas dos processos incluídos no estudo, isto é, a coleta de dados e os cálculos que servirão de base para a análise [4]. A correta estruturação do inventário depende da organização dos dados referentes a todas as etapas do ciclo de vida. Portanto, a aquisição de dados como matéria-prima, energia, resíduos sólidos e emissões faz parte desta análise. Com estes dados em mãos, realizam-se os cálculos da carga ambiental do produto.

A etapa de **análise de impacto da ACV** tem como objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, ou seja, explicitar os impactos decorrentes das cargas ambientais calculadas durante a análise do inventário. Consiste na interpretação dos dados resultantes da fase anterior, transformando os mesmos em resultados ambientais relevantes. Em geral, esse processo envolve associar dados de inventário com categorias e indicadores de impacto específicos, tentando desta forma entender tais impactos.

Na **interpretação**, última etapa da ACV, os resultados obtidos nas fases de inventário e avaliação de impacto são analisados de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo [11]. Consiste em uma avaliação dos resultados alcançados e no tratamento dos mesmos para a elaboração do relatório final da ACV. Para

isso são escolhidos os indicadores de desempenho que possibilitam identificar impactos ambientais a serem reduzidos e as áreas que oferecem oportunidade de melhoria do processo. As conclusões obtidas após a análise dos resultados possibilitam a identificação de pontos críticos do ciclo de vida do produto que necessitam de melhorias, tomando a forma de recomendações aos tomadores de decisão, de forma a permitir implementação de estratégias de produção, como a substituição e recuperação de materiais e a reformulação ou substituição de processos, visando a preservação ambiental.

3. Procedimentos de Pesquisa

A aplicação da ACV pretendida reside na avaliação do ciclo de vida do processo produtivo de uma pequena fábrica de móveis personalizados em Belo Horizonte – MG. O principal motivador para a realização do estudo é o desenvolvimento da análise das interações entre o processo produtivo da empresa e o meio-ambiente, para que a empresa tenha em sua base de dados algum norteador no âmbito das matérias-primas utilizadas e da eficiência de seus subprocessos.

Foi definido que o sistema estudado seria delimitado pelos subprocessos (ou processos elementares, conforme denominado nas normas [8] [12]) que compõem o “Projeto Painel de TV”. Esta definição foi necessária para que a análise realizada abrangesse um bom número dos subprocessos existentes na empresa, sem que a complexidade do processo como um todo prejudicasse o estudo.

Seguindo as premissas iniciais apresentadas, as definições do objetivo e do escopo do trabalho, pôde-se partir para a coleta de dados e análise dos mesmos. É importante ressaltar o caráter exploratório desse levantamento de dados, uma vez que a empresa nunca realizou algum estudo que considerasse a relação entre os insumos de todo seu processo produtivo e os produtos finais da produção. Os dados necessários para a ACV, como os dados de insumos e emissões, por exemplo, foram todos coletados a partir do desenvolvimento deste trabalho. Ressalta-se também o grande interesse da empresa em fornecer determinados dados, uma vez que os resultados da ACV podem nortear uma de suas metas que é a de melhoria contínua de seus processos. A coleta inicial dos dados foi realizada nos locais de produção associados aos subprocessos em estudo, dentro da fronteira do sistema, e em outras fontes, através de medições, cálculos e estimações. Foi utilizada uma folha de coleta de dados, nos moldes apresentados pela norma [12].

Realizaram-se diversas visitas técnicas a empresa, onde foram disponibilizados todos os dados de entrada e saída dos subprocessos envolvidos na produção do painel de TV. Através do volume total de MDF fornecido, principal matéria-prima utilizada na produção de tal produto, foi calculado a entrada e saída do material em unidades de massa, em cada subprocesso. O tempo estimado de duração de cada subprocesso também foi fornecido, de forma que pudesse ser calculado o valor de entrada de energia, ou seja, a energia consumida em cada subprocesso, conforme a duração do tempo de funcionamento do maquinário voltado para o corte e preparação da madeira.

Para o cálculo do inventário total foi utilizado o software de apoio *SimaPro*, uma ferramenta para coletar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Com este software é possível modelar e analisar ciclos de vida complexos de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040. O método de avaliação escolhido dentro do software e a inclusão dos processos conforme necessário para caracterizar a produção do painel de TV seguiram as recomendações do próprio software.

4. Aplicação da Análise do Ciclo de Vida e Resultados

A coleta de dados iniciou-se pela delimitação do processo produtivo a ser estudado. A figura 1 seguir apresenta o fluxograma do processo de produção do painel de TV estudado (figura 2) composto de nove itens.

Todo o processo se inicia com o pedido do cliente. É dado pela empresa um prazo médio de previsão de entrega do produto de 60 dias, contados a partir da assinatura do

contrato de venda. Realiza-se um estudo do projeto enviado pelo decorador, arquiteto e/ou gerente de projetos. Nesta fase inicial são geradas as informações para a execução do projeto, que serão enviadas para o setor de produção, como lista de materiais, recursos necessários para a sua execução, e serviços de marcenaria.

Na primeira etapa da produção do painel de TV, temos o subprocesso de corte em 90° (CT90°) da matéria-prima (dois tipos de MDF, Branco TX e Cru), de forma a produzir os nove itens que compõem o produto. Cada item segue então para um determinado subprocesso. Os itens 1 e 2, por exemplo, seguem para o subprocesso de preparação PR1A, que se trata da colagem de fita de borda, e em seguida para o subprocesso PR2A, que é a preparação do componente na máquina denominada tupia. O item 2 segue então direto para a montagem do produto, enquanto o item 1 passa pro subprocesso PR2D, que é a preparação deste componente na serra circular, para por fim seguir para o subprocesso de montagem. Já os itens 7 e 8 vão do subprocesso CT90° direto para outro subprocesso de corte, desta vez em 45° (CT45°), para então seguirem para a montagem. Os itens restantes (item 3, 4, 5, 6 e 9) seguem direto do subprocesso CT90° para a montagem do painel de TV.

Após os subprocessos descritos acima, é realizada a limpeza, a embalagem e o transporte do painel de TV finalizado até a casa do cliente. O transporte do produto é feito de forma terceirizada, enquanto o transporte dos montadores é realizado em veículos da própria empresa. Por fim temos a montagem do produto na casa do cliente pelos montadores e então a última etapa do processo de produção, onde o produto final é vistoriado pelo cliente. Estando o produto dentro das especificações do projeto, o processo é finalizado. Caso contrário, medidas corretivas são realizadas.

Figura 1: Fluxograma Processo Painel de TV

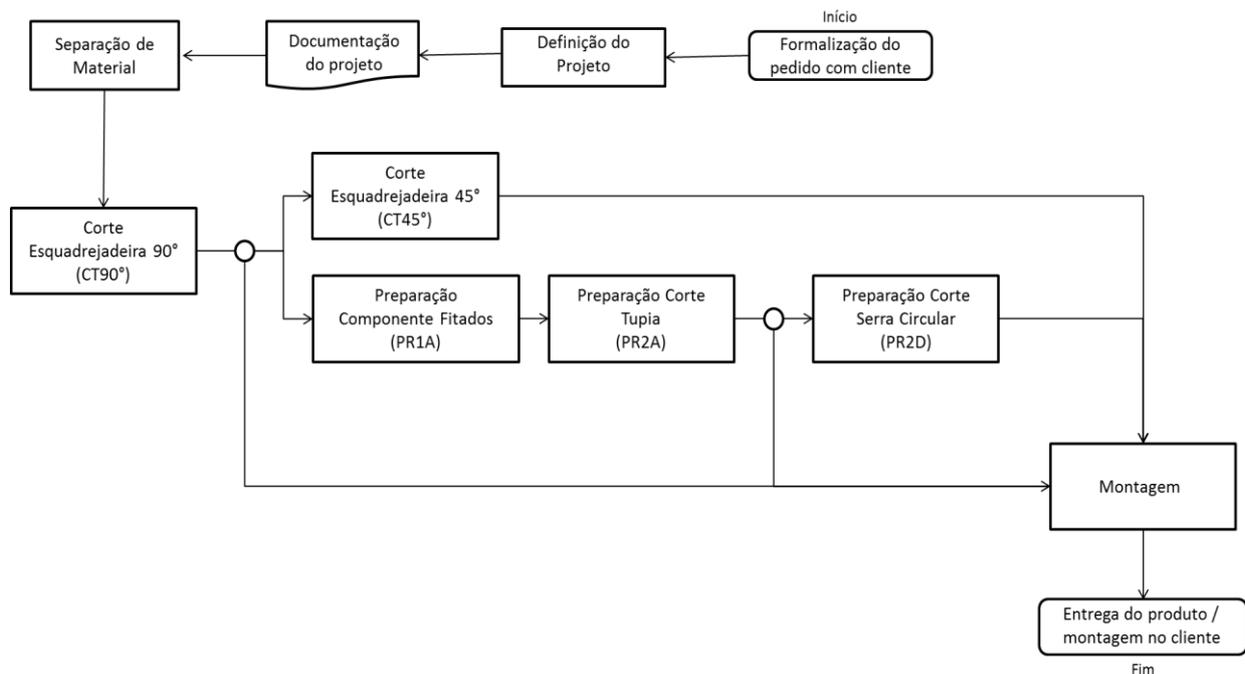
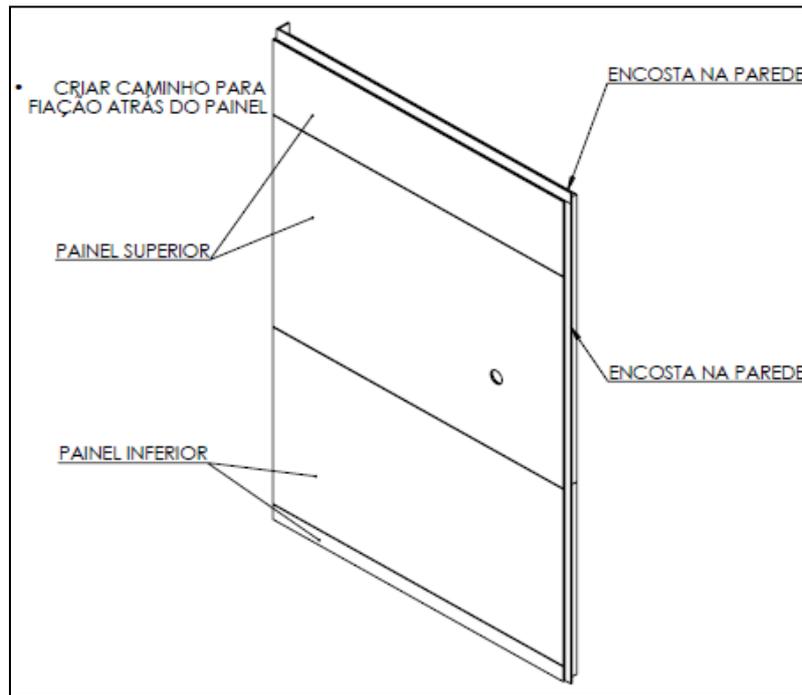
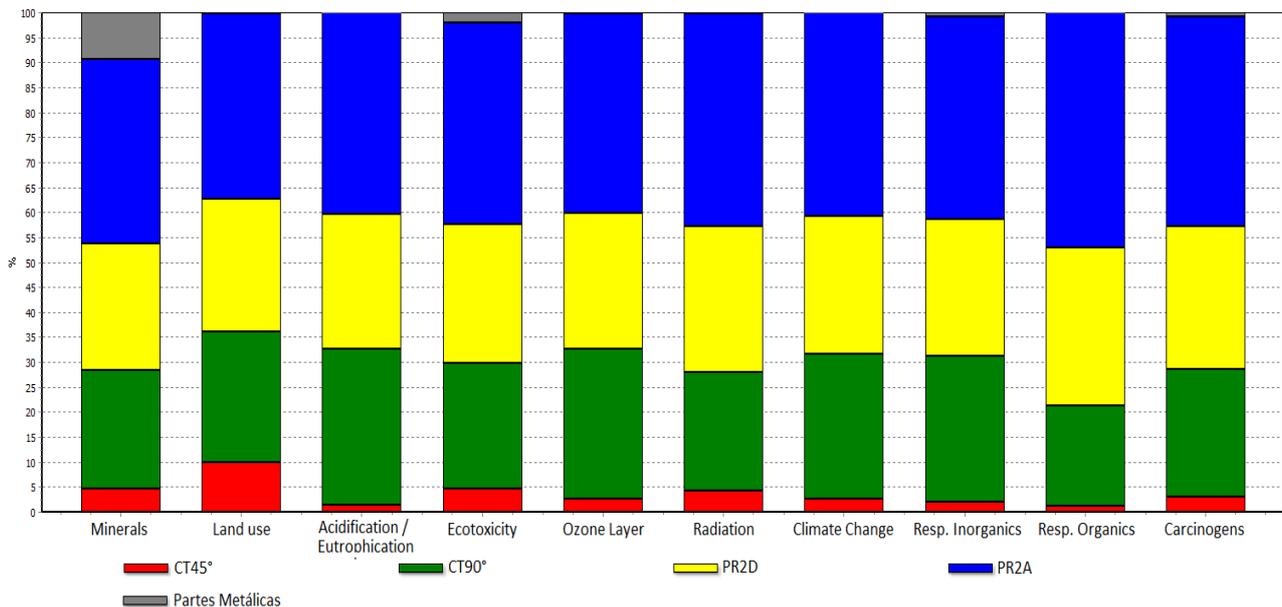


Figura 2: Desenho Simplificado do Painel para TV analisado



São necessários seis processos para construção do produto: Transporte do MDF, Corte 90°, Preparação Fita, Preparação Corte Tupia, Preparação Corte Serra Circular, Corte 45°. À exceção do processo de transporte da madeira, todos os processos foram criados conforme os materiais e quantidades descritos anteriormente. Considerando os processos criados e os dados de entrada, observamos que o impacto de cada fase pode ser atribuído a quatro elementos com impacto considerável no processo: MDF, Consumo de Energia Elétrica, Resina fenólica (cola de contato) e Chapa de Aço (partes metálicas), sendo que o impacto destes elementos é de 77,7%, 7,58%, 11,1% e 2,88% respectivamente. A partir deste impacto total, o software apresenta também a avaliação do impacto do processo por categoria a seguir (Fig. 3):

Figura 3: Avaliação do Impacto (Caracterização)



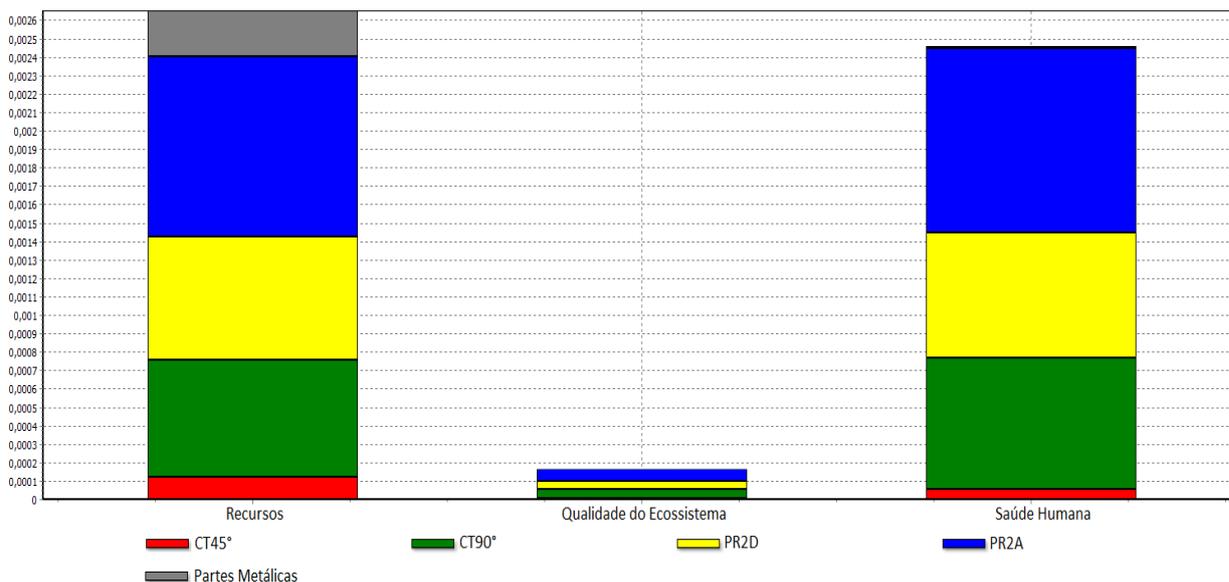
As categorias apresentadas no gráfico são padrão do tipo de análise selecionada para o cálculo do impacto e são agrupadas, posteriormente, em tipo de impacto. Em todas as categorias, os processos que tem maior representatividade são o processo de PR2A, PR2D e CT90°. O alto impacto destes processos é causado pelo grande consumo, nestes, dos elementos que representam maior impacto no produto citados anteriormente, MDF, resina fenólica e energia.

A avaliação representada pelos tipos de impacto segue a seguir, sendo que a categoria “Minerais” compõe o impacto em “Recursos”, as categorias *Uso do solo, Acidificação/Eutrofização, Ecotoxicidade, Camada de Ozônio, Radiação e Mudança Climática* compõem o impacto na *Qualidade do Ecossistema* e as categorias *Respiratórios Inorgânicos, Respiratórios Orgânicos e Carcinogênicos* compõem o impacto na *Saúde Humana*.

Somente na categoria Recursos há representatividade maior de um processo que não os processos cujo impacto possa ser rastreado para o MDF, energia consumida e resina fenólica. Neste quesito, 9,29% do impacto total causado pelo processo de montagem do painel de TV é referente ao uso das partes metálicas. No entanto, mesmo neste quesito, em conformidade com os resultados por categoria de impacto, predomina o impacto dos demais processos.

As duas avaliações mostradas anteriormente não demonstram a dimensão do impacto total em relação a sua representatividade total para o ambiente em que está inserido o processo. A avaliação seguinte é o resultado de uma normalização dos resultados exibidos anteriormente, cujo referencial é a média anual de carga ambiental em um país ou continente dividida pelo número de habitantes da área. Dessa forma, temos o seguinte resultado (Fig. 4):

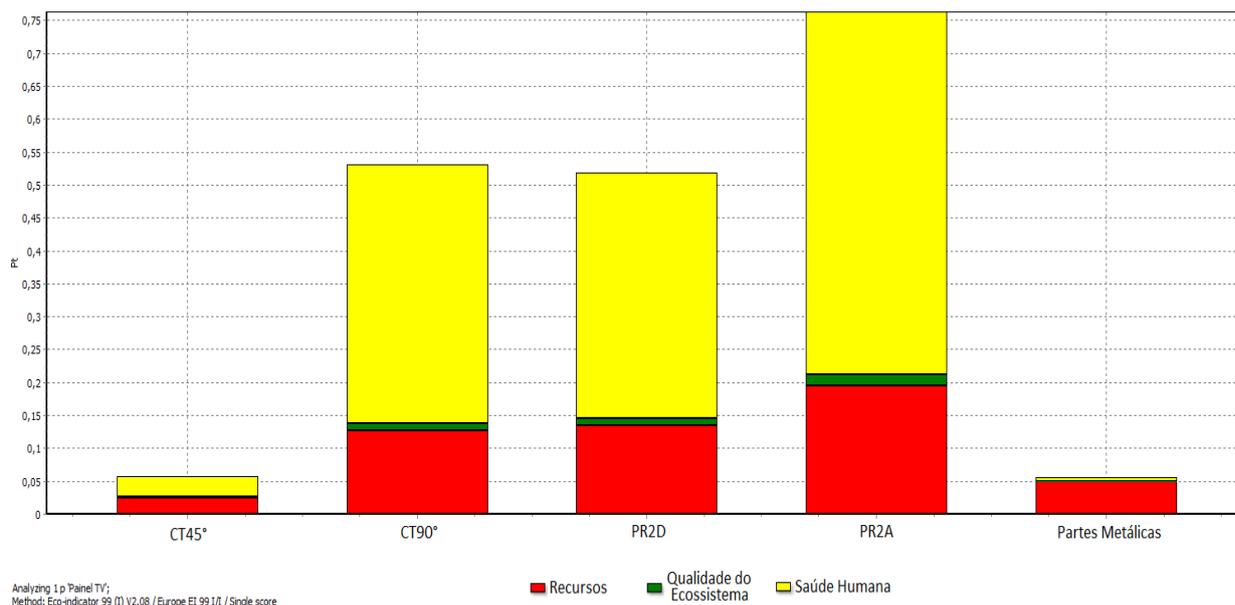
Figura 4: Avaliação do Impacto (Normalização)



Analyzing 1 p 'Painel TV';
Method: Eco-indicator 99 (1) V2.08 / Europe EI 99 1/1 / Normalization

Comparando as três categorias, a que sofre maior impacto é a categoria Recursos, com um total de 0,00265 pontos percentuais. As categorias Saúde Humana e Qualidade do Ecossistema tiveram 0,00246 e 0,000163 pontos percentuais respectivamente. A última análise do processo diz respeito à pontuação única de cada um dos processos que compõe a montagem do painel de TV.

Figura 5: Avaliação do Impacto (Pontuação Única)



A pontuação na avaliação do impacto (Fig. 5) se refere à ponderação das categorias pelo fator de impacto conforme o método de análise utilizado. O processo com maior pontuação é o processo de PR2A (0,763 Pt), seguido pelo processo de CT90° (0,531 Pt) e PR2D (0,518 Pt).

5. Interpretação do processo de montagem do painel de TV

A primeira parte da interpretação da ACV realizada é referente à consistência dos resultados apresentados. Para maior fidelidade ao real impacto ambiental da fabricação, seria necessário realizar um estudo prévio do impacto destes componentes que estão sendo somente representados, o que não foi escopo deste estudo. Outra observação em relação à consistência dos dados diz respeito à não diferenciação entre MDF branco e MDF “cru”, conforme mostrado nos dados coletados. De modo análogo aos processos que foram representados por produtos similares, para garantia do impacto da matéria prima, seria necessário estudar quais as emissões resultantes do processo de fabricação desses dois materiais.

Uma análise do processo produtivo que não consta no resultado final é o reaproveitamento das sobras de materiais das etapas de corte. O destino das sobras de material de cada subprocesso depende exclusivamente da qualidade e do tamanho do mesmo. O restante de madeira não utilizada na confecção do produto, quando se encontra em boas condições de aproveitamento e tamanho, de forma que possa ser reutilizado como matéria-prima na produção de outros produtos, é transportado até um depósito situado nos fundos da fábrica, e armazenado para utilização futura.

Levando em consideração as observações acima, pode-se dizer que o método utilizado pode ser empregado nos demais produtos da empresa com relativa facilidade, sem que fossem alterados dados essenciais, como o tipo de energia considerado ou materiais. Foi observado que os maiores impactos são provenientes do MDF, da energia elétrica consumida e dos materiais utilizados na etapa de preparação. Dessa forma, os esforços da empresa para reduzir o impacto total de seus produtos devem ser orientados para a diminuição desses componentes.

A redução na utilização de energia elétrica pode acontecer a partir da redução no tempo de uso das máquinas ou aquisição de máquinas com menor consumo de energia. Similarmente, para diminuir o impacto causado pelas colas de contato, a empresa pode

reduzir o consumo deste material (por meio de sistemas de encaixe, por exemplo) ou optar por produtos similares que apresentem menores emissões. Já em relação ao MDF, uma vez que a quantidade utilizada é determinada pelo tipo de projeto, a empresa pode optar pela redução do uso do material no produto ou por materiais que representassem uma diminuição significativa nos 77,7% do impacto total do produto.

De forma geral, esforços para racionalização de insumos devem ser acompanhados por um estudo que não busque somente este resultado, mas também a análise dos processos impactados como um todo. Esta redução como forma de amenizar o impacto ambiental de seus processos, deverá ser, portanto, também motivada por outros critérios para sua realização. Do mesmo modo, a substituição de máquinas não é algo trivial, tendo somente a redução do impacto ambiental como motivador, uma vez que representam um custo alto para a empresa. Já em relação à cola de contato, uma breve consulta à literatura disponível já resulta em um grande número de produtos que com menor toxicidade e menos agressiva ambientalmente, como as colas de contato à base d'água.

5. Considerações finais

As questões de caráter ambiental são vistas, a grosso modo, como questões concernentes somente às grandes indústrias. Muitas vezes, as pequenas e médias indústrias não avaliam o impacto de seus processos no meio ambiente por considerarem erroneamente que não representam uma parte significativa neste impacto ou por concluírem que os esforços para redução são grandes demais para sua aplicação. Estudos como a Análise do Ciclo de Vida mostram que a realidade pode ser outra, uma vez que seus resultados podem direcionar outros estudos nas empresas. Desta forma, a aplicação da ferramenta pode ser a base para a adoção de princípios de Design para Sustentabilidade em outros produtos da empresa. Embora limitado em seu escopo e simplificado em sua análise, o estudo realizado demonstrou a possibilidade da identificação das principais fontes de impacto existentes no painel de TV. A realização de outros estudos na empresa poderão contribuir para o refinamento dos resultados e para a criação de diretrizes para a concepção de produtos sustentáveis na empresa.

Os resultados apurados na análise revelaram o grande impacto do MDF, do consumo de energia e de materiais como a cola de contato na produção de um dos produtos do extenso portfólio que a empresa dispõe. A empresa cujo processo foi estudado neste trabalho tem em suas mãos agora uma base de dados para realizar escolhas que apresentem uma melhor solução para seus objetivos alinhados às questões ambientais e, além disso, uma referência para estudos futuros.

Referências

- [1] SATHRE, R. GONZÁLEZ-GARCÍA S. Life cycle assessment (LCA) of wood-based building materials, in PACHECO-TORGAL, F. CABEZA, L. LABRINCHA, J. DE MAGALHAES, A (Ed) **Eco-Efficient Construction and Building Materials - Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014
- [2] MICHELSEN, Ottar, FET, Annik Magerholm, DAHLSTRUD, Alexander. Eco-efficiency in extended supply chains: A case study of furniture production **Journal of Environmental Management**. 3(79)290-297, 2006.
- [3] BOVEA MD, VIDAL R. Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design. **Materials and Design** 25(2004)111–116, 2004.
- [4] FERREIRA, JV **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

- [5] IRITANI, D.R., et al., Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry, **Journal of Cleaner Production** (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.029>
- [6] MESTRE, A. VOGTLANDER, J. Eco-efficient value creation of cork products: an LCA-based method for design intervention, **Journal of Cleaner Production** 57(15)101–114, 2013
- [7] PARIKKA-ALHOLA, K. Promoting environmentally sound furniture by green public procurement. **Ecological Economics**, 1–2(68)472–485, 2008.
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework**. Geneva (Switzerland): European Standard, 2006a.
- [9] BARBOSA, TBC, AMORIM, CC. Avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida do biodiesel produzido por diferentes processos. **2ª Conferência Rede de Língua Portuguesa de Avaliação de Impactos/1º Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto**, São Paulo: ABAI, 2012.
- [10] NIGRI, E, ROMEIRO FILHO, E., & ROCHA, SD. Portland Cement: an application of life cycle assessment. **Product (IGDP)**. , v.8, p.167-172, 2010.
- [11] CHEHEBE, JR. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.
- [12] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14044: Environmental management – life cycle assessment – Requirements and Guidelines**. Geneva (Switzerland): European Standard, 2006.