

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/308362988>

# Comparação do Desempenho Ambiental de Três Materiais de Cabedal para Calçados: Uma Abordagem de Ciclo de Vida

Conference Paper · September 2016

CITATIONS

0

READS

40

4 authors, including:



**Vinícius Gonçalves Maciel**

University of Nottingham

20 PUBLICATIONS 22 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Igor Barden Grillo**

Universidade Federal da Paraíba

8 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Marcus Seferin**

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

58 PUBLICATIONS 433 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Research Group in Social Life Cycle Assessment in Brazil [View project](#)



Environmental Performance of 3D printing Polymerisable Ionic Liquids [View project](#)



## Comparação do Desempenho Ambiental de Três Materiais de Cabedal para Calçados: Uma Abordagem de Ciclo de Vida

Vinicius Maciel<sup>1,2</sup>, Igor Barden Grillo<sup>1</sup>, Vinicius Meneguzzi Malfatti<sup>2</sup>, Marcus Seferin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PUC-RS/FAQUI, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Química, [igor.grillo@acad.pucrs.br](mailto:igor.grillo@acad.pucrs.br)

<sup>2</sup> PUC-RS/PGETEMA, Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Tecnologia de Materiais,

**Resumo:** A indústria calçadista apresenta consolidada importância no mercado mundial e na vida do homem contemporâneo. Por outro lado, muitos gargalos de desempenho ambiental podem ser apontados ao longo de toda a cadeia calçadista. O uso de avaliações de desempenho ambiental deste sistema de produto pode se constituir em importante critério para a tomada de decisão na seleção de insumos e tecnologias que agreguem valor ao produto final. Neste trabalho é apresentada a avaliação comparativa do desempenho ambiental da produção de três calçados que se distinguem pelas matérias-primas empregadas para uso como cabedal: lona de poliuretano; lona de tecido de *jeans*; lona de tecido de *jeans* reciclado. Para a avaliação comparativa empregou-se a metodologia de avaliação do ciclo de vida (NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044) em escopo do berço ao portão de saída, abrangendo a aquisição e produção de matérias primas para a produção dos tecidos; produção e beneficiamento dos tecidos; transporte dos tecidos até a empresa de fabricação do cabedal; produção do cabedal (corte e costura) e transporte dos resíduos. O método CML 2001 foi utilizado para a avaliação, sendo considerados os impactos: Mudanças climáticas 100a; Potencial de eutrofização; Potencial de acidificação; Ecotoxicidade, humana, terrestre, água potável e marinha. O fluxo de referência utilizado foi de 3000 pares de cabedal, produção média anual de cada tipo de cabedal por empresa do ramo calçadista localizada em Novo Hamburgo/RS. Simulação de Monte Carlo foi utilizada para estimar a incerteza dos impactos calculados e subsequentemente a análise de ANOVA foi aplicada para testar a hipótese nula de igualdade dos impactos ambientais. Dos resultados, concluiu-se que a queima e a extração de biomassa (lenha de eucalipto) para a produção de *jeans* são os processos elementares mais impactantes na produção do cabedal de *jeans* e que a produção do insumo difenilmetilenoisocianato é o processo que mais contribui com os impactos calculados para a produção de calçados baseados em lona de poliuretano. Para o cabedal produzido a partir de lona reciclada, os maiores impactos são relacionados ao uso de energia. Os potenciais de eutrofização, ecotoxicidade marinha e de água potável não apresentam diferenças significativas para os três produtos considerados. O cabedal de lona de poliuretano teve os piores resultados nos outros impactos, exceto quanto à toxicidade humana, para a qual o emprego de cabedal em lona de *jeans* apresentou o pior desempenho.

**Palavras-Chave:** Calçados; Cabedal; Avaliação de Ciclo de Vida.

### Introdução

De cerca de 25 bilhões de calçados fabricados no mundo em 2010, 90% são originários de países chamados emergentes (Cheah, 2013). Estima-se que a participação do América do Sul no mercado mundial seja de 5% (APICAPPS, 2012), já a produção brasileira de 2013 foi de 899 milhões de pares, representando participação importante na balança comercial nacional (IEMI, 2014). A diversidade da cadeia de suprimentos, com muitos diferentes atores de larga disposição geográfica, aliadas a preocupações com as condições de trabalho da mão-de-obra do setor, traz à discussão possíveis impactos ambientais e sociais da indústria calçadista (Sport Business Research Network, 2011). Em resposta a essas pressões sobre as indústrias do ramo têxtil e calçadista muitas companhias começaram a publicar relatórios referentes a seu desempenho ambiental e responsabilidade social. Esse tipo de prática mostra tendências colaborativas entre corporações para medirem e avaliarem os danos ambientais associados aos seus produtos (Zeller, 2011). Segundo Herva (2011) e Matos (2014) estudos para avaliar o desempenho ambiental de novos produtos vão ao encontro da necessidade de uma responsabilidade ambiental atuante e com as suas estratégias de *marketing* nas organizações, uma vez que os consumidores estão mais sensibilizados aos danos antropogênicos ao meio ambiente. A principal ferramenta empregada para avaliar os impactos ambientais de sistemas de produção é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Uma das primeiras aplicações desta ferramenta relacionada à indústria calçadista foi realizada por Mila et al (1998), numa investigação sobre os estágios mais impactantes na produção de sapatos com cabedal de couro bovino na Espanha.

A discussão sobre os impactos ambientais associados ao setor avançou com a aceleração do decréscimo do tempo de vida dos calçados produzidos, aumentando o volume de resíduos sólidos dessa origem. Este pode ser um dos motivos que ocasionou uma considerável quantidade de estudos que discutem cenários de fim de vida nos primeiros anos do século XXI (Rahimifard, 2007; Tatáno, 2012; Staikos, 2006; Lee, 2012). No entanto, dois trabalhos recentes (Albers, 2008 e Cheah, 2013), realizaram estudos de ACV contemplando todos os estágios do ciclo de vida para diferentes calçados, e concluíram que, em comparação com os processos de produção e extração de matérias-primas e de manufatura do calçado, os impactos associados ao descarte podem ser considerados como insignificantes. Em outro estudo, Albers (2008) comparou o desempenho ambiental de calçados que utilizaram diferentes materiais para a

composição da sola e do cabedal, chegando à conclusão que a principal medida de mitigação é a troca dos materiais sintéticos por outros que sejam de origem orgânica e ou reciclada. Este estudo também identificou as principais categorias de impacto para esse tipo de sistema de produto: toxicidade humana, ecotoxicidade para água potável, potencial de acidificação e potencial de aquecimento global. Cheah (2013) avaliou as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir da ACV, da produção de tênis de corrida com cabedal de lona de poliuretano na China, concluindo que a maior fonte de impacto está associada ao uso de eletricidade nos processos de manufatura dos calçados. Também há impactos significativos associados a emissões originadas em processos de beneficiamento intermediários das matérias-primas, reduzindo em muito a contribuição das emissões vinculadas à produção do cabedal propriamente dita.

### Definição do Objetivo e Escopo

O presente trabalho tem como objetivo comparar o desempenho ambiental da produção de cabedais para calçados, em três cenários que diferenciam-se apenas pela natureza dos materiais de composição do cabedal: lona de poliuretano (PU), lona de tecido de *jeans*, lona de *jeans reciclado*. A abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida foi empregada para avaliar a produção dos sistemas em cada um dos três cenários, do "berço ao portão" da fábrica.

Os processos e fluxos elementares associados a componentes comuns aos diferentes calçados foram desconsiderados. A unidade funcional (UF) utilizada é a produção de um par de cabedal, utilizando como referência o modelo de um par de calçados tamanho 35 (considerado como tamanho padrão de produção pela empresa). O fluxo de referência considerado para a construção do inventário e posterior avaliação de impactos de ciclo de vida foi de 3.000 pares de cabedais, que é a produção média anual de cada cabedal realizada pela empresa fonte dos dados de produção foram coletados. As fronteiras do sistema estão descritas na Figura 1. O método de caracterização para a avaliação de impactos foi o CML 2001, e as categorias selecionadas foram: Potencial de Aquecimento Global - 100 anos (PAG); Potencial de Ecotoxicidade de Água Potável (PEAP); Potencial de Ecotoxicidade Marinha (PEM); Potencial de Toxicidade Humana (PTH).

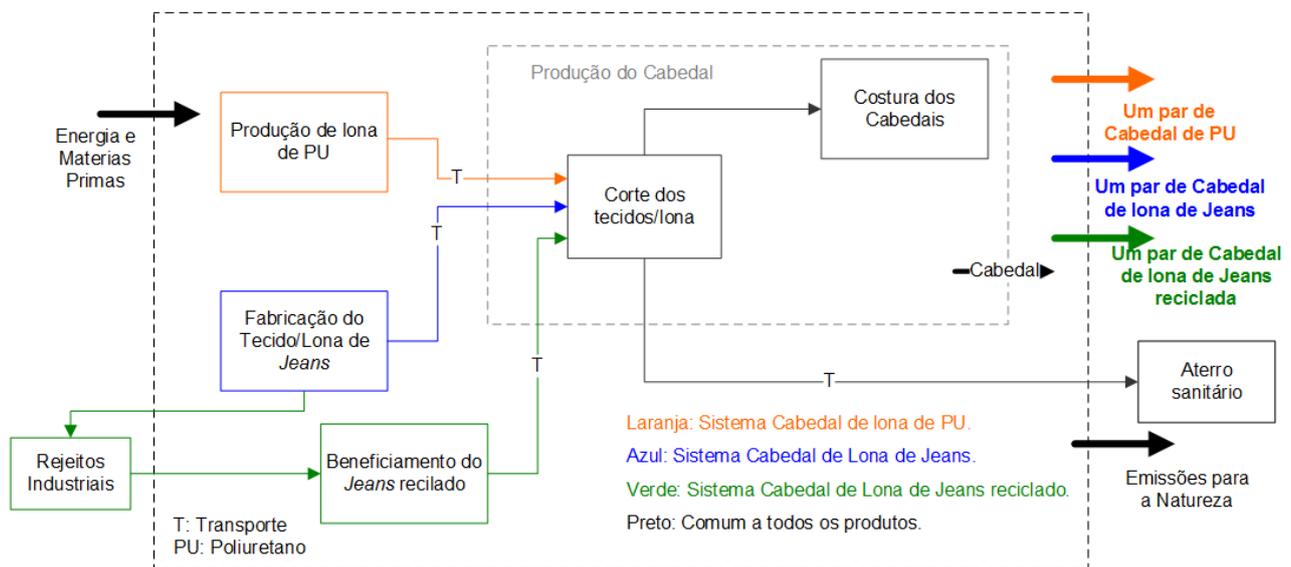


Figura 1: Fronteiras do sistema de produção de cabedal para calçado.

### Construção do inventário

A coleta de dados referente à produção dos cabedais foi realizada *in loco* em uma empresa do ramo calçadista localizada na cidade de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul (RS). As entradas e saídas consideradas foram: energia elétrica, massa de lona para cadedal (PU, *jeans* e *jeans reciclado*), transporte dos resíduos produzidos e um par de cabedal. A matriz energética brasileira do período entre setembro de 2014 e agosto de 2015 (Brasil, 2015) foi considerada para todos os processos de produção do calçado de lona de *jeans*, lona reciclada de *jeans*, e para o estágio de corte e costura do calçado de lona de PU. As informações da fabricação da lona de *jeans* foram cedidas por varejista fornecedor da empresa atacadista. Estes dados são apresentados na Tabela 1 e não incluem fluxos associados aos processos de tingimento devido à pouca disponibilidade de informações. Os dados referentes à produção e extração de



## V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 – Fortaleza, CE

matérias primas para a produção da lona de PU se originam da base de dados Ecoinvent v2.2 (Tabela 1). Os dados de beneficiamento da lona reciclada foram cedidos por uma empresa, fornecedora da empresa calçadista, e incluem a eletricidade utilizada pelos equipamentos, sem considerar a coleta dos resíduos. Cabe salientar que foi identificado a partir da coleta de dados que a substituição do material do cabedal não altera os outros materiais que compõem o calçado.

Tabela 1: Bases de dados Ecoinvent utilizadas na construção do inventário desse estudo

Entrada	Base de dados Ecoinvent v 2.2	Tipo de cabedal
Fibra de algodão	Cotton fibres, ginned, at farm (China)	Lona jeans
Extração de lenha	Logs, hardwood, at forest/RER U	Lona jeans
Queima de lenha	Wood chips, from industry, hardwood, burned in furnace 1000kW (United States)	Lona jeans
Eletricidade (BR)	Electricity, medium voltage, production BR, at grid/BR U	Todos
Lona PU	Polyurethane, rigid foam, at plant/RER U	Lona PU

Os fluxos associados ao transporte de insumos até a empresa de produção dos cabedais estão relacionados na Tabela 2, assim como os sistemas de transporte selecionados de base de dados para o cálculo destes fluxos. A distância dos resíduos de produção considerou o transporte até o aterro sanitário em Minas do Leão (RS), para os três tipos de cabedal.

Tabela 2: Dados de transporte e bases de dados utilizados para a construção do inventário desse estudo

Tipo de Cabedal	Base de dados Ecoinvent v 2.2	Origem	Distância (km)
Lona de PU	Transporte, Fragata oceânica, a diesel RER/U	Shanghai	21107
Lona de PU	Transporte, caminhão 16 ton, frota média RER/U	Itajaí	860
Lona de Jeans reciclado	Transporte, caminhão 16 ton, frota média RER/U	São Paulo	1148
Lona de Jeans	Transporte, caminhão 16 ton, frota média RER/U	Criciúma	303
Todos	Transporte, coleta municipal de resíduos, 21 ton/CH U	Novo Hamburgo	131

PU: Poliuretano

### Análise da Incerteza

Posterior à avaliação de impactos do ciclo de vida, foi realizada a análise da incerteza para as categorias de impacto avaliadas. A simulação de Monte Carlo (SMC) foi utilizada para a obtenção dos parâmetros estatísticos das categorias de impacto, referente a todas as incertezas propagadas associadas aos dados alimentados na construção do inventário e uso de base de dados (LO et al, 2015). Para testar a significância da diferença das categorias de impacto ambientais entre os três variações de produtos avaliados, foi empregada Análise de Variância (ANOVA) aos dados de incerteza calculados pela SMC.

Uma análise de sensibilidade foi realizada para investigar a contribuição do transporte dos resíduos de jeans para produção da lona de jeans reciclado. Cabe salientar, que esta variável foi desconsiderada por não haver dados a seu respeito na empresa consultada.

### Resultados



## V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 – Fortaleza, CE

Os resultados obtidos no estudo comparativo entre os três produtos avaliados estão relacionados na Tabela 3 para a produção de um par de cabedal.

Tabela 3: Resultados caracterizados da avaliação de ciclo de vida dos impactos UF produzidos

Categoria de Impacto	Cabedal de lona de PU	Cabedal de lona de Jeans	Cabedal de lona de Jeans Reciclada	Unidade
Potencial de Aquecimento Global-100a (PAG)	0,8115	0,2991	0,2472	kg CO <sub>2</sub> -eq
Potencial de Toxicidade Humana (PTH)	0,0790	0,1783	0,0417	kg 1,4-DCB-Eq
Potencial de Ecotoxicidade de Água Potável (PEAP)	0,0167	0,0106	0,0053	kg 1,4-DCB-Eq
Potencial de Ecotoxicidade Marinha (PEM)	0,0733	0,0482	0,0185	kg 1,4-DCB-Eq

A Figura 2 apresenta a comparação dos impactos para os três produtos. O Cabedal de PU apresentou valores maiores em todas as categorias de impacto, com exceção do Potencial de Toxicidade Humana, onde o cabedal de tecido de jeans se mostrou o material mais impactante. A lona de jeans reciclada mostrou o material com menor carga ambiental para o sistema de produto avaliado, quase igualando com o jeans somente na categoria de potencial de aquecimento global.

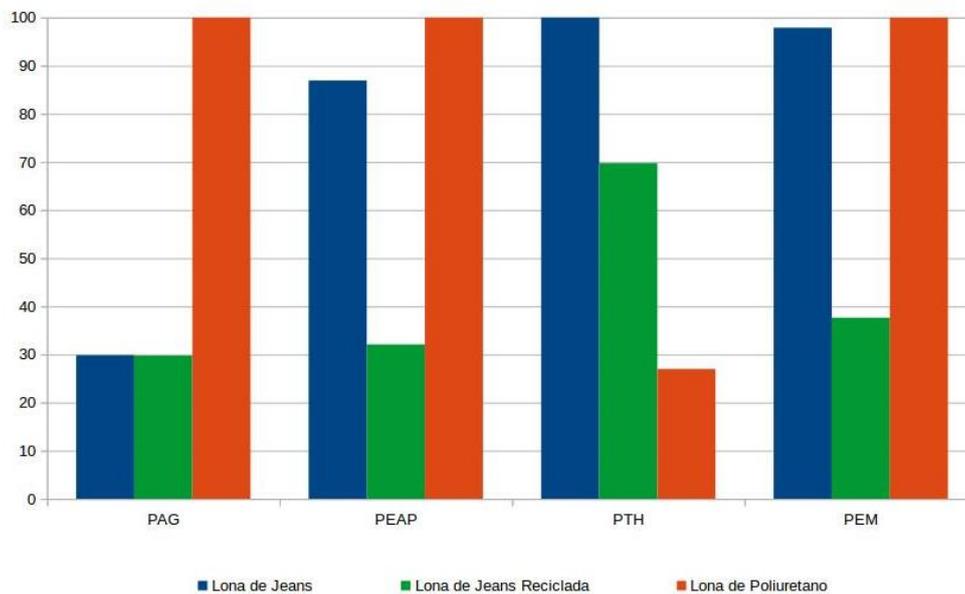


Figura 2:  
Comparação

dos impactos entre os produtos avaliados

A Tabela 4 apresenta os processos elementares considerados que mais contribuíram para os impactos totais de cada cenário. A produção de uma das matérias-primas da resina polimérica é responsável por grandes impactos na produção da lona do PU. Para o calçado produzido a partir do cabedal de lona de jeans, os principais processos impactantes são a extração para a queima da lenha utilizada no processo de chamuscagem para o beneficiamento e acabamento do tecido. Para o cabedal produzido a partir de tecido de jeans reciclado, o processo de produção e distribuição de eletricidade representou a maior carga na contabilização das emissões, embora deva ser mencionado que não foi possível obter dados para as emissões associadas à coleta de resíduos para beneficiamento. No entanto, a análise de sensibilidade nos permite verificar a importância desta variável, uma vez que, considerando o transporte da massa necessário para produção da UF e um caminhão com capacidade de 16-32 t e modelo Euro III com apenas 37km de deslocamento as emissões associadas a categorias PAG se igualam as emissões do cabedal do tecido de Jeans.



## V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 – Fortaleza, CE

Tabela 4: Processos que mais contribuíram para cada categoria de impacto, para a produção de cabedal de lona de poliuretano (PU), lona de jeans e lona de jeans reciclado.

Tipo de cabedal	Processo	PAG	PEAP	PEM	PTH
Lona de PU	Produção do metileno difenil isocianato	40%	–	9%	18%
	Produção de eletricidade (CH grid)	23%	53%	46%	57%
	Produção de eletricidade (BR grid)	–	23%	27%	–
	Produção de polioli	23%	–	7%	10%
	Outros	14%	24%	11%	15%
Lona de jeans	Extração de lenha	0%	78%	66%	69%
	Queima de diesel	–	8%	18%	23%
	Produção de eletricidade (BR grid)	21%	8%	7%	–
	Outros	79%	6%	11%	8%
Lona de jeans reciclado	Produção de eletricidade (BR grid)	83%	87%	70%	83%
	Transporte de resíduos	8%	5%	15%	8%
	Outros	9%	8%	15%	9%

PAG: Potencial de Aquecimento Global; PEAP: Potencial de Ecotoxicidade de água potável; PEAM : Potencial de Ecotoxicidade de Água Marinha; PTH: Potencial de Toxicidade Humana

ANOVA foi utilizada para confirmar diferença significativa entre os impactos que tiveram valores similares (PEAP, PEAM, PTH). Os testes estatísticos utilizaram o parâmetro F, que representa a razão das variâncias dentro da distribuição F no qual os testes são baseados. O valor de p retorna a probabilidade da hipótese nula em relação ao *alfa* (intervalo de confiança de 95%). Portanto, os resultados da análise ANOVA são apresentados na Tabela 5, e a partir deles é possível afirmar, com um intervalo de confiança de 95%, que não há diferença significativa para os valores dos impactos analisados dentre os tipos de cabedal.

Tabela 5: Resultados das Análises de ANOVA

Categoria de Impacto	F	p
PEAP	60.83	2 E-16
PEAM	74.71	2 E-16
PTH	746.6	2 E-16

F: Parâmetro F; Parâmetro estatístico “p”; PEAP: Potencial de Ecotoxicidade de água potável; PEAM : Potencial de Ecotoxicidade de Água Marinha; PTH: Potencial de Toxicidade Humana

### Discussão

A produção do cabedal de PU avaliado por esse estudo teve como suas principais fontes de impacto para a categoria de PAG os processos de produção da lona de PU (Tabela 4) no qual se localizam na China, e foi contabilizado



## V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 – Fortaleza, CE

uma emissão aproximadamente sete vezes menor que o estudo semelhante realizado por Cheah et al (2013) . Este autor, realizou ACV para a produção de tênis de corrida, o cabedal (fabricado a partir de lona de PU) foi responsável por emissões equivalente 5,7 kg CO<sub>2</sub>-eq/par de calçados, para a categoria de PAG. Nesse caso, a origem das emissões se deve ao uso de eletricidade, que utiliza a matriz energética da China, que em comparação com a matriz energética Brasileira, tem fator de impacto para aquecimento global 10 vezes maior, segundo Brander (2011).

Neste contexto, é possível afirmar que a produção de calçados, que se dá em maior parte no leste asiático, poderia ter significativo aprimoramento no desempenho ambiental para a categoria de impacto aquecimento global, no que concerne a produção do cabedal, se fosse realizada no Brasil.

A análise de incerteza demonstrou que os valores de impacto das categorias avaliadas não podem ser considerados semelhantes, apesar de ser muito próximos. Por outro lado, a análise de sensibilidade demonstrou que os resultados são sensíveis ao transporte dos resíduos.

### Conclusões

Os impactos ambientais da produção de calçados com três diferentes materiais de cabedal foram avaliados e comparados neste estudo. Foi possível observar que a produção de calçados com cabedal de lona de *jeans* reciclado apresenta melhor desempenho ambiental frente aos outros sistemas nas quatro categorias de impacto avaliadas . O calçado produzido com cabedal de poliuretano apresenta o pior desempenho para três das quatro categorias de impactos avaliadas. No entanto, o transporte dos resíduos de jeans para beneficiamento pode influenciar consideravelmente o desempenho ambiental do produto cabedal de jeans reciclado. Além disso, ao desconsiderar a etapa de tingimento do jeans pode haver uma subestimação dos resultados beneficiando o cabedal de jeans e de jeans reciclado.

Portanto, a estratégia de utilizar jeans reciclado como matéria-prima para produção de cabedais pode ser considerada um alternativa para mitigar os impactos ambientais na produção de calçados. For fim, a logística de transporte e coleta dos resíduos empregadas como matéria prima deste produto deve ter uma atenção especial sobre o seu desempenho ambiental.

### Referências Bibliográficas

- ALBERS, K.; Canepa, p.; Miller, J. Analyzing the Environmental Impacts of Simple Shoes: A Life Cycle Assessment of the Supply Chain and Evaluation of End-of-Life Management Options. The Donald Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara. 2008.
- APICCAPS – ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS INDUSTRIAIS DE CALÇADOS, COMPONENTES, ARTIGOS DE PELE E SEUSSUCEDÂNEOS. World footwear yearbook. Porto Alegre: APICCAPS, 2011-2012.
- BRANDER, A. M. et al. Electricity-specific emission factors for grid electricity. *Ecometrica*, 1-22, 2011.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Boletim do Monitoramento do Sistema Elétrico, 2015. 17p.
- CHEAH, L. et al. Manufacturing-focused emissions reductions in footwear production. *J. Clean. Prod.* 44, 18-29, 2013.
- IEMI – INSTITUTO DE ESTUDOS DE MARKETING EMPRESARIAL , <<http://www.iemi.com.br/> acessado Janeiro de 2016
- MATOS, Joaquim Filipe Vasconcelos. Desenvolvimento de materiais têxteis com propriedades antimicrobianas para revestimento de calçado. 2014.
- MILÀ, L.; DÒMÈNECH, X.; RIERADEVALL, J.; FULLANA, P.; PUIG, R. Application of Life Cycle Assessment to footwear. *Int. J. Life Cycle Assess.* 3, 203-208, 1998.
- SPORT BUSINESS RESEARCH NETWORK, 2011. Consumer Expenditures on Running/ Jogging Shoes. ZELLER, T., 2011. Clothes makers join to set 'green score'. *New York Times*. p. BILO, Shih-Chi; MA, Hwong-wen; LO, Shang-Lien. Quantifying and reducing uncertainty in life cycle assessment using the Bayesian Monte Carlo method. *Science of the total environment*, v. 340, n. 1, p. 23-33, 2005.