



Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: critérios para recomendação de métodos e modelos de caracterização para o Brasil

Cassia M. L. Ugaya^{1,7,8}, Rodrigo Alvarenga^{2,8}, Ana L. R. Pavan^{3,8}, Aldo R. Ometto³, Elaine G. Lima¹, Jéssyca M. Oliveira¹, José A. de Almeida Neto^{4,8}, Leandro A. Pegoraro¹, Leticia de S. Barrantes¹, Natália C. Mendes^{5,8}, Yara Tadano¹, Maria C. Figueiredo^{6,8}

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), cassiaugaya@utfpr.edu.br

² Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

³ Universidade de São Paulo (USP)

⁴ Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)

⁵ Technical University of Denmark (DTU)

⁶ Embrapa Agroindústria Tropical

⁷ Bolsista Produtividade CNPq

⁸ Comitê Coordenador da Rede de Pesquisa em Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Resumo. As etapas de da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para a realização de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) são mandatórias até a caracterização, de acordo com as normas NBR ISO 14040 e 14044. Para tanto, deve-se estabelecer fatores de caracterização, que quantificam a relação entre os fluxos elementares e as categorias de impacto associadas às áreas de proteção (AoP). Existem diversos métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), que incluem modelos de caracterização para várias categorias de impacto. Enquanto alguns impactos ambientais ocorrem de forma independente do contexto geográfico e temporal, outros são dependentes da região. Por exemplo, a mesma quantidade de emissões de gases causadores da depleção da camada de ozônio, mesmo que ocorrendo em regiões distintas, tem a mesma contribuição nesta categoria de impacto. Por outro lado, a retirada da mesma quantidade de água de regiões com disponibilidade hídrica distintas provoca um impacto diferente. Alguns dos modelos de caracterização já apresentam fatores de caracterização regionalizados, entretanto, não obrigatoriamente no nível de regionalização adequado para o contexto do escopo do estudo, demandando que novos fatores sejam estabelecidos, para garantir a qualidade dos resultados da ACV. Desta forma, é relevante avaliar e recomendar modelos de caracterização mais apropriados ao contexto brasileiro, e ainda que tenham fatores de caracterização que considerem os biomas, solos, climas e divisões geográficas que reflitam as vulnerabilidades das regiões brasileiras. Para tanto, os critérios da Joint Research Center foram adaptados e complementados durante o II Workshop Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida: Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, realizado em setembro de 2014. Na oportunidade, surgiram os primeiros esforços para formação da Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (RAICV), organização civil, não governamental, sem fins lucrativos, que busca adaptar e desenvolver modelos de caracterização para categorias de impacto, considerando o contexto ambiental e socioeconômico brasileiro. Na primeira fase de trabalho da RAICV foram selecionados para avaliação as categorias de impacto de escassez hídrica, recursos abióticos, recursos bióticos, eutrofização, acidificação e toxicidade. Foram definidos 3 critérios gerais de avaliação das categorias mencionadas, utilizando diferentes níveis de avaliação: escopo (níveis alto, médio-alto, médio, médio-baixo e baixo), robustez científica (alta, média-alta, média, média-baixa, e baixa), e adequação do nível de regionalização (atende totalmente, parcialmente e não atende). Os resultados mostraram que os critérios são objetivos, em geral, e de fácil aplicação. Além disso, necessitou-se adaptar os critérios gerais e específicos para cada categoria de impacto.

Palavras-chave. ACV, AICV, RAICV, categorias de impacto ambiental, regionalização.

Introdução

De acordo com as normas NBR ISO 14040 e 14044, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ocorre em quatro fases, sendo a terceira a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV); que por sua vez é subdividida em seis etapas: escolha das categorias de impacto, classificação, caracterização, normalização, agrupamento e ponderação (ABNT, 2009a,b).

Na etapa de caracterização, os fluxos elementares do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) são relacionados quantitativamente aos impactos ambientais. Para isso, são utilizados modelos de caracterização que fornecem valores de impacto dos fluxos elementares para cada categoria, conhecidos como fatores de caracterização (FC). Um exemplo de modelo de caracterização é o IPCC (2013), em que os fluxos elementares são avaliados de acordo com o potencial de aquecimento global, sendo a unidade do fator de caracterização dada pela massa de dióxido de carbono equivalente.



Algumas categorias de impacto apresentam diversos modelos de caracterização. Portanto, um mesmo estudo de ACV pode apresentar resultados diferentes para alguma categoria de impacto (p.ex., eutrofização), dependendo do modelo/métodos utilizado, aumentando assim a incerteza dos resultados.

Neste contexto, a UNEP e SETAC (Rosenbaum et al., 2008) e o ILCD (JRC, 2011) realizaram esforços para recomendar modelos de caracterização. Os primeiros autores recomendaram o modelo para a toxicidade humana, inclusive adaptando-o e apresentando fatores de caracterização, e o último recomendou modelos para diversas categorias de impacto de pontos médio e final para o contexto Europeu.

Alguns tipos de impactos ambientais ocorrem de forma independente do contexto geográfico e temporal, como a depleção da camada de ozônio. Por outro lado, outras categorias de impacto apresentam variabilidade nas magnitudes de impacto, dependendo do local em que ocorrem e/ou ainda da sazonalidade, como eutrofização e impactos do uso do solo, evidenciando a necessidade de regionalização destes modelos.

Potting e Hauschild (2006) classificaram modelos de caracterização em três níveis de regionalização: (1) genéricos; (2) dependentes do local; e (3) específicos para o local. De acordo com estes autores, modelos de caracterização dependentes do local (opção 2) são ideais para estudos de ACV no caso de categorias que necessitam de regionalização, pois consideram-na parcialmente, mantendo a característica da ACV de não ser focada em um local apenas (ao contrário de Estudos de Impacto Ambiental).

Considerando os avanços da ACV no Brasil nos últimos anos, como o surgimento do Programa Brasileiro de ACV (Conmetro, 2010) e a Rede Empresarial de Avaliação do Ciclo de Vida, e os esforços para dados regionais do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), é relevante que a comunidade científica Brasileira recomende modelos de caracterização. Portanto, o objetivo deste trabalho foi definir critérios de avaliação dos modelos de caracterização de AICV para o contexto Brasileiro.

Materiais e métodos

O procedimento adotado para avaliação do potencial de regionalização dos modelos de caracterização contempla três etapas: (I) a agregação de esforços de AICV no Brasil, (II) o levantamento das categorias de impacto e definição de grupos de trabalho, e (III) a definição da sistemática e dos critérios de avaliação.

Agregação de esforços em AICV no Brasil

Face às diversas categorias de impacto existentes e ao fato de existirem esforços dispersos de alguns pesquisadores para o avanço da AICV no Brasil, percebeu-se a necessidade de colaboração no tema.

Desta forma, foram identificados os pesquisadores atuantes ou com interesse no tema no Brasil. A primeira reunião virtual ocorreu em 2013, quando se notou que havia potencial de colaboração, tendo sido observado que havia poucas oportunidades para discutir estes temas, devido à limitação de experiência no país. Como decorrência, mais reuniões foram realizadas ao longo do ano de 2014, em que se percebeu a necessidade de formalização das atividades conjuntas, que culminou na criação da Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (RAICV) durante a realização do IV CBGCV, em São Bernardo do Campo – SP. Os fundadores da RAICV são pesquisadores com atuação na área de ACV de sete instituições: a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), a Universidade de São Paulo (USP), o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) e o Instituto Federal Sul Riograndense (IFSUL).

Portanto, hoje a RAICV é uma organização civil, não governamental, sem fins lucrativos, que tem como objetivo (RAICV, 2014):

I - potencializar a formação e a interação entre grupos de pesquisa existentes no desenvolvimento, no aperfeiçoamento e na aplicação dos métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida em produtos contextualizados social, econômica e ambientalmente no Brasil e no mundo.

II – apoiar a formulação de políticas públicas, por meio da transferência, disseminação e intercâmbio de conhecimento com governo, empresas e sociedade.



V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

III – contribuir com a Pesquisa e Desenvolvimento, por meio da proposição conjunta de projetos de pesquisa, de publicações técnico-científicas e de livros.

IV – fomentar a educação científica e a formação de novos pesquisadores, por meio da inclusão de alunos de iniciação científica, mestrandos, doutorandos e pós-doutorandos nas atividades promovidas pela rede.

Desta forma, a RAICV inclui dentre suas atividades, adaptar e desenvolver modelos de caracterização para categorias de impacto, considerando o contexto ambiental e socioeconômico brasileiro e está aberta a novos participantes.

Levantamento das categorias de impacto e divisão por grupo

Os pesquisadores foram divididos em grupos de trabalho, sendo que cada um ficou responsável pela recomendação de uma categoria de impacto específica. A divisão dos grupos ocorreu baseada na identificação de pesquisadores que já atuaram ou que estão desenvolvendo pesquisas relacionadas à cada categoria de impacto.

Foram formados oito grupos, englobando as seguintes categorias de impacto: escassez hídrica, depleção de recursos abióticos, RAM (método de contabilidade de recursos, do inglês, *Resource Accounting Methods*), depleção de recursos bióticos, eutrofização, acidificação, toxicidade e impactos aos serviços ecossistêmicos devido ao uso da terra.

Definição da sistemática e critérios de avaliação

Para definir a sistemática geral de avaliação dos modelos de caracterização, os procedimentos e critérios adotados pela JRC (2011) foram analisados durante o II Workshop Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida: Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, realizado em setembro de 2014 em Curitiba, PR, organizado pela UTFPR e pela Embrapa. Nesse Workshop, decidiu-se por adotar os critérios da JRC (2011) para avaliação de modelos de caracterização.

Inicialmente, identificou-se a cadeia de causa e efeito ambiental, considerando o estado da arte de cada categoria de impacto mencionada anteriormente. Em seguida, localizou-se a posição de cada modelo de caracterização nessa cadeia, identificando-se os aspectos e vias de impacto considerados em cada modelo.

Foram escolhidos dois critérios de qualidade científica utilizados pela JRC (2011) para integrar as avaliações da RAICV: escopo e robustez científica. O critério escopo busca avaliar a completeza do modelo em termos de aspectos e vias de impacto considerados, assim como o escopo geográfico adotado pelo modelo (global, continental, país ou região). Já na robustez científica é analisado o reconhecimento da comunidade científica e transparência quanto às equações, variáveis e bases de dados utilizadas na geração dos fatores de caracterização.

Além desses critérios baseados em JRC (2011), foi incluído também um adicional para identificar a existência de fatores de caracterização para o Brasil a partir do modelo utilizado, as escalas geográficas e temporais adotadas para o país, e a conformidade entre o nível de impacto associado a regiões consideradas mais vulneráveis em relação a real situação de cada região.

Aplicação dos critérios

Cada grupo estabeleceu o próprio cronograma de trabalho considerando a necessidade de realizar as seguintes atividades: i) identificação dos modelos de caracterização a serem avaliados; ii) aplicação dos critérios gerais na avaliação dos modelos e complementação com critérios específicos à cada categoria de impacto; iii) apresentação e discussão da avaliação; iv) elaboração de relatório final da avaliação; e v) revisão do relatório e publicação dos resultados. Para o levantamento dos modelos de caracterização foram realizadas pesquisas nas bases de dados científicas disponibilizadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a base de dados de periódicos e outras publicações em *Web of Knowledge*.

A apresentação e discussão dos resultados foi realizada em reuniões plenárias da RAICV em sistema de videoconferências. Os relatórios de avaliação estão sendo elaborados por categoria de impacto com escolha de um líder e envolvendo mais de 20 pesquisadores e especialistas atuantes na área de ACV. Ao final, cada



relatório será avaliado criticamente por um conjunto de especialistas em ACV integrantes da RAICV, retornando aos líderes dos grupos para adequação ou justificativas. A previsão de conclusão dos trabalhos para as categorias de impacto inicialmente selecionadas (depleção de recursos bióticos, eutrofização, acidificação, toxicidade e impactos aos serviços ecossistêmicos devido ao uso da terra) para estudo é dezembro de 2016.

Resultados e Discussão

Para aplicação dos critérios, foi elaborada uma planilha padrão (Quadro 1) padrão contendo os critérios gerais em que se deve indicar as opções de valoração, tendo sido estabelecida a seguinte escala de resposta para cada critério: 1 (baixo); 2 (médio-baixo); 3 (médio); 4 (médio-alto); e 5 (alto) e a pontuação final de cada método foi obtida por média simples das pontuações.

A forma de classificação foi adaptada e, quando pertinente, complementada na avaliação de cada categoria de impacto específica, pelos respectivos grupos de trabalho. A adaptação e aplicação destes critérios para as categorias escassez hídrica, depleção de recursos abióticos, RAM, impactos nos serviços ecossistêmicos devido ao uso da terra e depleção de recursos bióticos pode ser encontrada respectivamente em Castro et al. (2016), Alvarenga et al. (2016), Almeida Neto et al. (2016), Pavan et al. (2016) e Pegoraro et al. (2016). Devido à complexidade envolvida no levantamento de dados em todas as principais bases de dados nacionais, a aplicação de um quarto critério que avalia o potencial de geração de novos fatores de caracterização nacionais ainda está em desenvolvimento. Assim, os trabalhos mencionados focaram-se na avaliação dos três primeiros critérios.

Quadro 1: Critérios para avaliação dos modelos de caracterização

Critérios		Modelo	
		Classificação	Justificativa/ Observação
Critério 1 - Escopo (avaliação final)			
1.1	Abrangência do escopo de aplicação		
1.1.1	Em nível de diferenciação espacial (geográfico)		
1.1.2	Em nível de fluxos elementares considerados		
1.1.3	Quais os compartimentos cobertos (ar, água, solo, sedimento...)		
Critério 2 - Robustez Científica (avaliação final)			
2.1	Faz parte de algum método de AICV ou é reconhecido pela comunidade científica		
2.2	Apresentação da cadeia de causa e efeito		
2.3	Transparência e acessibilidade		
2.3.1	Clareza das equações do Modelo de Caracterização		
2.3.2	Clareza das variáveis		
Critério 3 - FC nacionais /Regionalização (avaliação final)			
3.1	Possui FC para o Brasil		
3.1.1	Escala geográfica		
3.1.2	Escala temporal		
3.1.3	FC apropriado para o contexto nacional		



Considerações finais

A partir da criação da Rede de Pesquisa em AICV foi possível elaborar uma sistemática comum entre diversos grupos de pesquisa brasileiros para analisar a qualidade e o potencial de regionalização de modelos de caracterização de diversas categorias de impacto.

Desde o surgimento da RAICV, houve um avanço no tema relacionado à AICV e da sua comunicação, buscando um alinhamento com as atividades do Programa Brasileiro de Ciclo de Vida. Além disso, as atividades da rede geraram interesse também no setor privado, levando à adição de dois novos membros: a Fundação Espaço Eco e a Braskem e atualmente não há membro atuante da IFSUL e do CTBE.

Os próximos passos da RAICV consistem na finalização do relatório detalhando os resultados obtidos nesta primeira fase. Paralelamente, outra atividade a ser realizada consiste na análise da disponibilidade de dados para regionalização dos modelos, que ainda não foi concluída em todos os grupos, tendo em vista a abrangência e demanda elevada de tempo em alguns casos.

Adicionalmente, outras atividades da RAICV serão: obter e disponibilizar fatores de caracterização regionalizados a partir de dados socioeconômicos e ambientais nacionais, quando pertinente, recomendar métodos para outras categorias de impacto ou ainda, e identificar categorias de impacto relevantes cujos modelos devem ser desenvolvidos.

Com isto, a RAICV, espera contribuir com a melhoria dos resultados de ACV, por meio do desenvolvimento e adaptação de modelos, fatores de caracterização e métodos de AICV que possibilitem resultados mais pertinentes para o contexto brasileiro.

Ressalta-se que a RAICV está aberta a novos integrantes, que deve ser indicado por um dos membros do Comitê Coordenador para colaboração em pesquisa na área de AICV.

Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009.

ALVARENGA, R.A.F.; LINS, I.; ALMEIDA NETO, J.A. Recomendação de métodos de AICV para depleção de recursos abióticos. **Anais do V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (V CBGCV)**. 19 a 22 de setembro de 2016. Fortaleza – CE (submetido).

ALMEIDA NETO, J.A.; LINS, I.; ALVARENGA, R.A.F. Recomendação de métodos de contabilização de recursos. **Anais do V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (V CBGCV)**. 19 a 22 de setembro de 2016. Fortaleza – CE (submetido).

CASTRO et al. (2016) Recomendação de modelos de caracterização mais apropriados ao contexto brasileiro para avaliação de impacto na escassez hídrica **Anais do V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (V CBGCV)**. 19 a 22 de setembro de 2016. Fortaleza – CE (submetido).

CONMETRO (2010) **Resolução n.04 de 15 de dezembro de 2010**. 13p.

JRC – Joint Research Centre (2011) EUROPEAN COMMISSION-JOINT RESEARCH CENTRE - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- **Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. First Edition, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 145 p.

PAVAN, A. L. R.; ALMEIDA NETO, J. A.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ALVARENGA, R.A.F.; OMETTO, A. R.; KABE, Y. H. Avaliação de impactos do uso da terra em serviços ecossistêmicos: uma revisão bibliográfica. **Anais do V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (V CBGCV)**. 19 a 22 de setembro de 2016. Fortaleza – CE.

PEGORARO, L. A.; LIMA, E. G.; BARRANTES, L. S.; UGAYA, C. M. L. Avaliação de Métodos para a Categoria de Impacto de Recursos Bióticos em Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) para o Brasil. **Anais do V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (V CBGCV)**. 19 a 22 de setembro de 2016. Fortaleza – CE.

POTTING, J. e HAUSCHILD, M.Z. (2006) Spatial differentiation in life cycle impact assessment: a decade of method development to increase the environmental realism of LCIA **International Journal of Life Cycle Assessment**, 11 (Special Issue 1) (2006), pp. 11–13

REDE DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (RAICV) (2014). **Regimento da Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida**. São Bernardo do Campo, 11/11/2014.

ROSENBAUM, R.K.; BACHMANN, T.M.; GOLD L.S.; HUIJBREGTS, M.A.J.; JOLLIET, O.; JURASKE, R.; KOEHLER, A.; LARSEN, H.F.; MACLEOD, M.; MARGNI, M.; MCKONE, T.E.; PAYET, J.; SCHUHMACHER, M.; van de MEENT, D.; HAUSCHILD, M.Z.



V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

(2008) USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 13, n.7, p.532-546.