

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/308172010>

Avaliação Estatística dos Inventários de Ciclo de Vida da Produção de Soja no Brasil

Conference Paper · September 2016

CITATIONS

0

READS

79

4 authors:



Igor Barden Grillo
Universidade Federal da Paraíba

8 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vinícius Gonçalves Maciel
University of Nottingham

20 PUBLICATIONS 22 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rafael Zortea
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Granden...

29 PUBLICATIONS 23 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:



Tese de Doutorado [View project](#)



Life Cycle Assessment of a Bi-fuel Thermal Power Plant [View project](#)

Avaliação Estatística dos Inventários do ciclo de vida da produção de soja no Brasil

Igor Barden Grillo¹

Vinicius Gonçalves Maciel²

Rafael Batista Zortea³

Marcus Seferin^{1,2}

Resumo

A observação de divergências em resultados de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que contemplam a produção de commodities agrícolas, mesmo que tenham objetivos e escopos similares, tem sido atribuída especialmente à representatividade estatística de dados utilizados na construção dos inventários de ciclo de vida. Uma vez que é frequente o uso de dados obtidos a partir de médias nacionais na construção de ICVs de produtos agrícolas, torna-se interessante estudar a representatividade de dados nacionais agrupados, ou se é aconselhável levar-se em consideração dados regionais. O presente trabalho teve como objetivo a realização de testes estatísticos relacionados à representatividade dos dados nacionais e regionais da produção do grão de soja no Brasil e a relação entre a dispersão dos dados com as informações de região, ano e qualidade dos dados através de métodos de Análise Multivariada. Para isso, dados de inventário de ciclo de vida de 8 trabalhos, referentes a 11 safras de cultivo de soja, foram selecionados. As variáveis estudadas incluem as aplicações de defensivos e fertilizantes, uso de diesel, emissões caracterizadas de CO₂, quantidade de sementes e produtividade, o ano da safra e origem dos dados coletados. A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada à matriz de dados para reduzir sua dimensionalidade e tornar possível a identificação de relações e agrupamentos. Análise de Variância também foi empregada, com objetivo de testar as relações quantitativas entre grupos regionais e as variáveis do estudo. A partir da PCA foi possível observar a correlação entre a produtividade, o calcário e os fertilizantes fosfatados e potássicos. O uso de defensivos agrícolas e a quantidade de sementes revelam forte correlação, e a adição de nitrogênio e uso de diesel não apresentaram padrões significativos. Os escores de PCA indicam forte agrupamento dos

¹ Faculdade de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul-PUCRS, seferin@pucrs.br

² Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Tecnologia de Materiais-PGTEMA- PUCRS

³ Instituto Federal Sul Rio-Grandense de Sapucaia do Sul

inventários do Mato Grosso com o de São Paulo e consideráveis dissimilaridades entre os trabalhos que contemplam a produção nacional. Os testes de significância confirmaram a relação entre os dados de produtividade com a região. O mesmo foi encontrado para fósforo e potássio. Para o uso de diesel, é possível afirmar que não há diferenças. Em conclusão, verifica-se que os dados regionais não são estatisticamente similares aos dados nacionais para a avaliação de sistemas de produto da produção primária de soja no Brasil, independentemente da parcela de contribuição para a produção total.

Palavras-chave: *ICV. Soja. Análise Multivariada.*

Introdução

Segundo a Food and Agricultural Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, sigla em inglês: FAO) e a Organisation for Economic Co-operation and Development (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, sigla em inglês: OECD) haverá forte demanda de alimentos proteicos entre os anos de 2015 a 2024 (FAO, 2015). Nesse contexto, o grão de soja destaca-se por ser a maior fonte de proteína do mundo e uma das principais *commodities* capaz de suprir tal necessidade (FAO, 2013). Estima-se que essa considerável demanda favoreça a expansão da produção de soja no mundo e principalmente no Brasil (FAO, 2015). Entretanto, devido a sua grande produção e exportação, o grão de soja brasileiro chama a atenção da comunidade científica para os impactos ambientais associados ao seu cultivo, trazendo relevância para a aplicação de metodologias de avaliação de desempenho ambiental de sua cadeia produtiva. Também é fonte de 70% da matéria-prima utilizada para fabricação do biodiesel brasileiro, sendo o cultivo o estágio que mais contribui para emissões de gases de efeito estufa (MACIEL et al., 2015). A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é recorrente nas construções de inventários de produção e avaliação de sustentabilidade ambiental do grão de soja e seus subsistemas no Brasil. No entanto, tem sido apontada e discutida a

existência de discrepâncias quanto aos resultados de ACVs de produção de soja (PANICHELLI et al., 2008 e MALÇA & FREIRE, 2011), principalmente por causa de especificidades regionais que são fatores-chave para a avaliação de impactos ambientais. Além disso, discrepâncias podem surgir a partir de considerações de fontes energéticas, tipos de transporte, práticas agrícolas e se a mudança do uso do solo será contabilizada ou não (PIEKARSKI et al., 2012). De acordo com Malça & Freire (2011), as principais fontes e variabilidade em estudos de ACV para biodiesel na Europa estão relacionadas com incertezas associadas às emissões de N₂O e CO₂.

O Brasil é o quinto país mais extenso do mundo, possui vários tipos de solo, climas, e distintas práticas de cultivo. Assim, espera-se que as especificidades regionais no cultivo de soja no Brasil resultem em diferentes resultados de inventários de ciclo de vida (ICV). Entretanto, o relatório nacional brasileiro sobre os benefícios ambientais do biodiesel (BRASIL, 2013), que contabilizou nos impactos ambientais o estágio do cultivo de soja, utilizou apenas dados de produção dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

No entanto, há vários estudos de ACV que abordam a produção de soja brasileira em diferentes regiões e utilizando diferentes fontes de dados (CAVALETT, 2008; RAUCCI et al., 2014; CASTANHEIRA & FREIRE, 2012; CARVALHO, 2012; MACIEL et al., 2015; RAMAZZOTTE, 2010; MOURAD, 2008; MARZULLO, 2007), sugerindo que a representatividade de determinado estudo sobre o cenário brasileiro pode ser discutida. A análise de componentes principais (PCA) vem sendo utilizada em estudos de ACV para avaliarem-se as principais fontes de variação, correlações e agrupamentos nos dados (ZORTEA, 2015). O PCA é uma técnica estatística que cria novas variáveis a partir de uma combinação linear entre as variáveis originais, chamados componentes principais (PCs), que são ordenados pelo quanto explicam a variação dos dados. O uso dessa técnica estatística tem sido adotado em estudos de ACV, pois normalmente eles têm como resultado grande quantidade de dados multidimensionais difíceis de compreender e interpretar (BERSIMIS &

GEORGAKELLOS, 2013; GUTIERREZ et al., 2010). Mais sobre o funcionamento da PCA pode ser encontrado em Wold & Geladi (1987) e Camacho & Ferrer (2010). Além disso, outra técnica que ganha espaço em estudos de ACV é a Análise de Variância (ANOVA). De acordo com Stahle & Wold (1989), a ANOVA reúne técnicas estatísticas que decompõem a variância dos dados, calculam parâmetros estatísticos específicos e os testam para verificar hipóteses. Em ACV a técnica vem sendo empregada para testar a significância das diferenças nos impactos entre diferentes cenários (NEMECK, 2011; FLYSJO, 2012). Mais detalhes sobre a metodologia ANOVA em Stahle & Wold (2010).

No presente trabalho, analisou-se a representatividade dos dados de ICV de estudos brasileiros para a produção de soja a partir de técnicas estatísticas, buscando verificar se dados regionais podem ser utilizados para caracterizar a produção nacional, como observado no relatório nacional brasileiro sobre os benefícios ambientais do biodiesel (BRASIL, 2013).

Metodologia

Os dados de ICV de 8 trabalhos, referentes a 11 safras de cultivo de soja, foram selecionados, 5 deles referentes a dados de cultivo estaduais (chamados de regionais neste estudo) e 6 com o escopo para todo o território nacional. Os dados de entrada e saída considerados para este estudo foram: produtividade; aplicação de potássio, calcário, nitrogênio e fósforo; quantidade de sementes; aplicação de defensivos; consumo de Diesel; ano da safra; emissões de CO₂-eq; e região. Cabe salientar que os defensivos foram contabilizados como a soma das aplicações de herbicidas, fungicidas, pesticidas e inseticidas e, com exceção da produtividade, todos os outros dados numéricos foram contabilizados em respeito a 1 kg de soja produzida. A tabela 1 apresenta a fonte dos trabalhos avaliados neste estudo, classificação dos dados e ano da safra. Todos os dados são de ICVs sem passar por nenhum processo de caracterização.

A partir desses dados a PCA foi empregada para estudar as principais fontes de variação, possíveis correlações e agrupamentos nos dados. A ANOVA foi utilizada para testar a significância da dependência regional dos dados avaliados e para outros possíveis agrupamentos.

Tabela 1: Estudos avaliados, classificação dos dados e ano da safra

| Trabalho | Região | Classificação dos dados | Ano da safra | Referência |
|-------------|--------|-------------------------|--------------|------------------------------|
| Cavalet | Brasil | Secundários | 2004/2005 | Cavalett, (2008) |
| Raucci_a | MT | Primários | 2007/2008 | Raucci et al., (2014) |
| Raucci_b | MT | Primários | 2008/2009 | Raucci et al., (2014) |
| Raucci_c | MT | Primários | 2009/2010 | Raucci et al., (2014) |
| Castanheira | Brasil | Secundários | 2010/2011 | Castanheira & Freire, (2012) |
| Carvalho | Brasil | Secundários | 2010 | Carvalho, (2012) |
| Maciel | RS | Primários | 2012/2013 | Maciel et al., (2015) |
| Vlândia | Brasil | Secundários | 2006 | Ramazzotte, (2010) |
| Mourad | SP | Primários | 2006 | Mourad, (2008) |
| Marzullo | Brasil | Secundários | 2005 | Marzullo,(2007) |
| Embrapa | Brasil | Primários | 2006 | Embrapa, (2007) |

RS: Rio Grande do Sul; MT: Mato Grosso; SP: São Paulo

Inicialmente, realizou-se uma análise de distribuição das variáveis e medida de correlação. Para testar a hipótese de que os dados seriam oriundos de uma distribuição normal, utilizou-se o teste Shapiro-Wilk (Shapiro, 1965).

Para a análise da PCA, o teste de distribuição normal foi desconsiderado por não ser necessário, devido à natureza não paramétrica dessa técnica. Entretanto, as variáveis foram centradas na sua respectiva média e escalonadas em respeito ao seu desvio padrão, para que possam ser comparadas da mesma forma independente da faixa de seus valores absolutos.

A PCA foi utilizada para reduzir a dimensionalidade da matriz de dados de forma que as variáveis consideradas sejam representadas por quatro ou menos variáveis (PCs). Através dessa transformação, espera-se que as principais estruturas dos dados sejam interpretáveis, como: correlações entre variáveis, agrupamentos e importância das variáveis e objetos. Cabe salientar que a variável “região” não foi considerada no PCA devido ao fato de ter sido empregada para avaliar a hipótese de agrupamentos dos ICVs.

Assim, os ICVs foram divididos em dois grupos para os testes de significância: produção regional e produção nacional. As análises de ANOVA tiveram como objetivo decompor a variância das variáveis testadas entre uma parte aleatória e outra em função da diferença dos tratamentos (grupos criados). A razão entre as variâncias, com os devidos graus de liberdade, foi utilizada para calcular o parâmetro estatístico F, utilizado para testar a igualdade das variâncias comparando com a distribuição F teórica. A hipótese nula testada é da igualdade das variâncias, significando que não há diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Para os dados de fertilizante, os dados de cálcio e potássio foram transformação quadrática para corrigir problemas de distribuição. Cabe salientar que a emissão de CO₂ eq. não foi avaliada por ter sido prejudicada pela falta de dados da aplicação de nitrogênio, que altera consideravelmente a emissão de GEE (gases de efeito estufa) e a natureza da distribuição de seus valores.

Resultados

Na tabela 2 os PCs resultantes da análise da PCA estão representados por ordem de variação explicada. A partir da análise da PCA, é possível afirmar que cinco PCs já podem explicar 94% da variação dos dados, indicando boa redução de dimensionalidade. Por outro lado, três PCs explicam 74% da variação dos dados, portanto, sendo considerados suficientes para representar as principais estruturas dos dados. Uma vez que a variável “ano da safra” não mostrou correlação significativa com nenhuma outra variável, foi desconsiderada da análise de PCA.

Tabela 2: Variação explicada dos componentes principais (PCs)

| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 | PC8 | PC9 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Desvio Padrão | 1,66 | 1,45 | 1,33 | 1,00 | 0,89 | 0,57 | 0,38 | 0,13 | 0,08 |
| Variação Proporcional | 0,30 | 0,23 | 0,19 | 0,11 | 0,08 | 0,03 | 0,01 | ~0,00 | ~0,00 |
| Variação Cumulativa | 0,30 | 0,54 | 0,74 | 0,85 | 0,94 | 0,98 | 0,99 | ~1,00 | 1,00 |

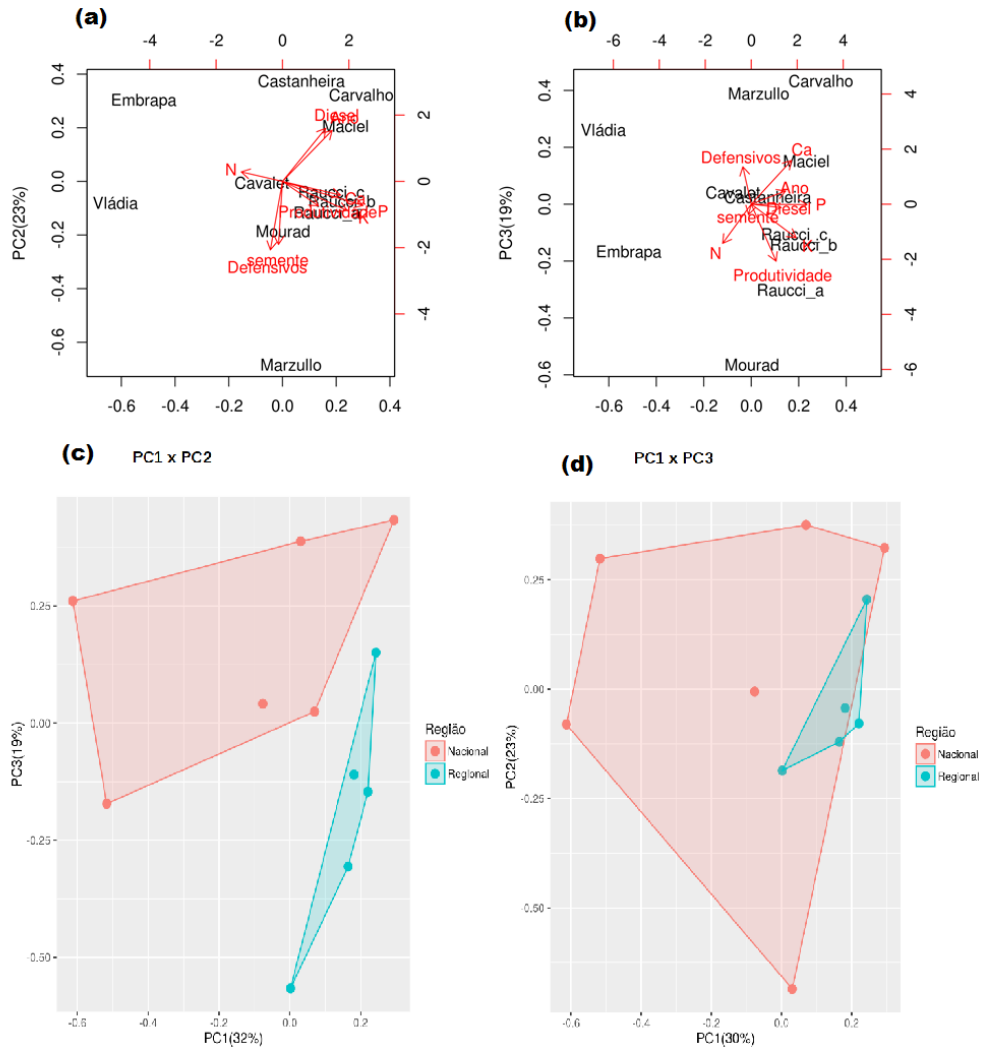
Os valores para os objetos (escores) para os PC1, PC2 e PC3 e a contribuição de cada variável para a construção dos PCs (*Loadings*) estão apresentados na figura 1(a), (b). Os valores dos escores estão representados na borda inferior e esquerda dos gráficos, e o dos *loadings* na borda superior e direita. As setas vermelhas indicam o valor de *loading* para a variável mostrando a sua contribuição para aquele PC. As variáveis que mais contribuem para os PCs com maior variação explicada, ou que contribuem para mais PCs, são consideradas variáveis importantes. Variáveis com valores de *loadings* semelhantes dos mesmos PCs demonstram forte correlação. Como se observa na figura 1(a), há expressiva correlação entre aplicação de fertilizantes (exceto nitrogênio)

e a produtividade para o PC1, e nenhuma relação com sementes e defensivos; já para o PC3, a aplicação de defensivos mostra correlação negativa com a produtividade.

Outros resultados importantes foram correlação negativa entre aplicação de nitrogênio para com os outros fertilizantes e a própria produtividade; aplicação de defensivos e uso de sementes por kg de soja produzida; correlação contrária entre uso de diesel e aplicação de defensivos e uso de sementes; correlação fraca com aplicação de fertilizantes e o diesel.

Ainda na figura 1(a) e (b), a posição dos objetos (trabalhos de onde foram retirados os dados) permite observar, através da proximidade dos escores, que há uma relação de similaridade indicando agrupamento. Esta relação pode ser mais claramente observada na figura 1(c) e (d), onde os dados avaliados foram agrupados em função de sua origem regional, demonstrando que há diferenças significativas entre os dados regionais e os nacionais. Portanto, é possível observar o distanciamento geral entre os ICVs que contemplam a produção nacional.

A tabela 2 traz os resultados dos testes de significância da ANOVA, mostrando a fração de variância atribuída devido a diferenças do grupo regional, à fração de variância dada para a natureza aleatória da variável, os graus de liberdade utilizados para calcular o parâmetro F, o parâmetro F utilizado no teste, e valor p. Os resultados mostram a significância entre as diferenças das variâncias, sendo que quando o valor p é menor que 0,05, pode ser descartada a hipótese nula da igualdade das variâncias para um intervalo de confiança de 95%.

Figura 1: Biplots da Análise de Componentes Principais (PCA)

(a) gráfico de escores e representação dos loadings (flechas vermelhas) para os PC1 e PC2; (b) gráfico de escores e representação dos loadings (flechas vermelhas) para os PC1 e PC3; (c) gráfico de escores com representação dos agrupamentos formados em função da região onde os dados foram obtidos para os PC1 e PC2; (d) gráfico de escores com representação dos agrupamentos formados em função da região onde os dados foram obtidos para os PC1 e PC3

Tabela 3: Resultado dos testes de significância do ANOVA

| Tratamento | Variável | GL | Soma das variâncias | F | p |
|------------|---------------|----|---------------------|-------|---------|
| Região | Produtividade | 1 | 273197 | 28,9 | 0,00044 |
| Resíduos | Produtividade | 9 | 85066 | - | - |
| Região | Potássio | 1 | 4,236e-07 | 4,855 | 0,055 |
| Resíduos | Potássio | 9 | 7,853e-07 | - | - |
| Região | Fósforo | 1 | 0,0001757 | 2,456 | 0,52 |
| Resíduos | Fósforo | 9 | 0,0006439 | - | - |
| Região | Cálcio | 1 | 0,000634 | 0,337 | 0,576 |
| Resíduos | Cálcio | 9 | 0,016897 | - | - |
| Região | Defensivos | 1 | 0,000581 | 1,366 | 0,273 |
| Resíduos | Defensivos | 9 | 0,003827 | - | - |
| Região | Diesel | 1 | 0,0000005 | 0,012 | 0,913 |
| Resíduos | Diesel | 9 | 0,0003753 | - | - |

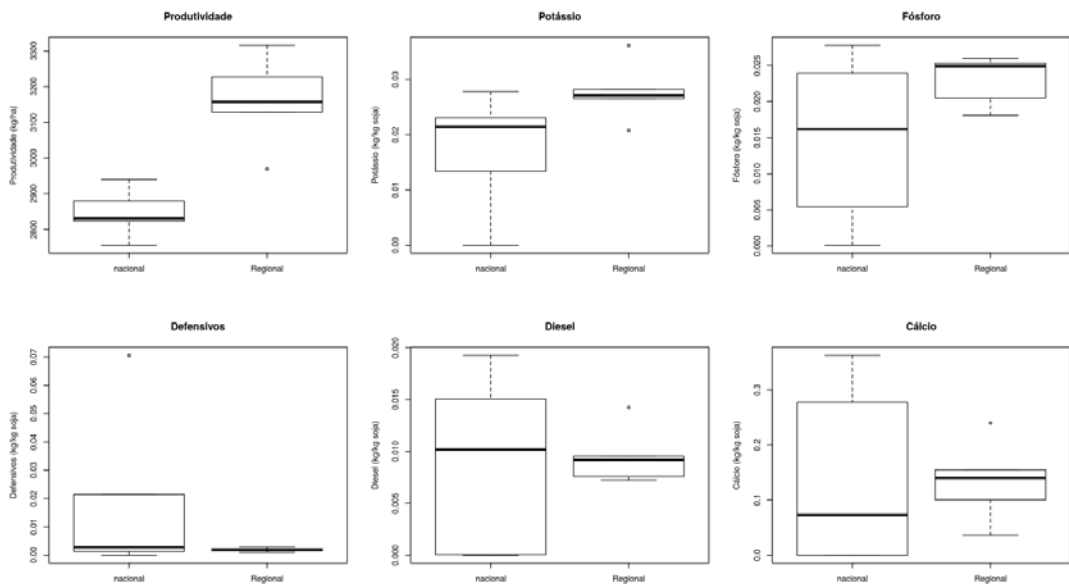
GL: Graus de liberdade; F: Parâmetro F; p: probabilidade.

A partir dos resultados dos testes de significância apresentados na tabela 2 é possível inferir que a hipótese nula, em que produtividade não depende da região, possa ser descartada com 99% de confiança. Isso ajuda a corroborar que as características regionais de produção são fatores chave e que dados de produtividade de determinado estado brasileiro não representam os dados de produção em escala nacional. Este é um resultado importante, uma vez que em estudos de ACV da produção agrícola a produtividade é frequentemente empregada como fluxo de referência. Além disso, para os fertilizantes potássio e fósforo, a hipótese nula pode ser descartada para um intervalo de 90% e 80% de confiança, respectivamente, ou seja, é possível afirmar que há diferenças

estatísticas entre os estudos. Entre tanto, para o diesel as análises indicam que não há diferenças estatísticas entre os ICVs regionais e os nacionais.

Na figura 2 são apresentadas as distribuições das variáveis testadas em função dos grupos regionais. É possível observar que a dispersão dos dados referentes à produção nacional é maior do que a dos ICVs regionais, com exceção da produtividade. Os pontos fora da caixa são os dados anômalos, isto é, aqueles que apresentam valores superiores ou inferiores ao intervalo de 95%. Esses pontos são mais frequentes para o grupo formado pelos ICVs regionais, o que era esperado, pois o grupo possui safras de localidades bem distintas entre si.

Figura 2: Distribuição das variáveis em função do grupo regional



Discussão

Um dos resultados da análise da PCA que mais se destacou foi a forte correlação negativa entre a quantidade aplicada de nitrogênio referente aos outros fertilizantes. O padrão encontrado não era esperado, pelo menos para fósforo, isso porque, segundo a FAO (2015), 40 % dos fertilizantes que são fontes de fósforo utilizados no Brasil também possuem nitrogênio em sua formulação. Portanto, esperava-se uma correlação positiva entre nitrogênio e fósforo, e conseqüentemente correlação com as outras variáveis de fertilizantes e produtividade. A recomendação técnica (EMBRAPA, 2011, 2012) para o plantio de soja não indica a adubação nitrogenada para o cultivo da soja. No entanto, todos os ICVs de dados primários avaliados neste estudo contabilizam aplicação de nitrogênio. Por outro lado, outros três ICVs avaliados, cujos dados são secundários e o escopo nacional, registraram aplicação zero de nitrogênio.

Assim, combinando essa informação com a grande dispensabilidade dos dados nacionais e a falta de similaridade entre si (ausência de agrupamento na PCA), pode-se indicar as seguintes possibilidades: as práticas agrícolas para cultura de soja diferem consideravelmente entre as regiões avaliadas, e estudos que contemplam dados estimados (dos ICVs secundários) não se baseiam em informações representativas dessa diversidade. Os ICVs regionais apresentam maior coerência entre si, formando agrupamentos e possuindo baixa dispersão dos dados, comparados com os nacionais. Por sua vez, mais estudos regionais poderiam ser feitos e utilizados para criar modelos de distribuição de usos de insumos pelo país, assim fornecendo dados de melhor qualidade para estudos que contemplem todo o território brasileiro.

Conclusões

O presente trabalho levantou dados comuns de ICVs de produção de soja no Brasil, *commodity* de grande relevância mundial, para testar a sua

representatividade estatística. A aplicação da técnica de PCA foi utilizada com sucesso para a redução de dimensionalidade, provendo meios de visualizar os principais padrões nos dados para todas as variáveis simultaneamente. Os testes de significância e análise da dispersão das variáveis foram utilizados para verificar a dependência dos dados de ICV com a sua região de escopo.

Combinando os resultados das análises e testes, é possível afirmar que os dados regionais não são estatisticamente similares aos dados nacionais para a avaliação de sistemas de produto da produção primária de soja no Brasil, independentemente da parcela de contribuição para a produção total. Além disso, devido à ausência de similaridades e dispersão dos dados, os estudos nacionais não representam o mesmo sistema de produção de soja.

Portanto, adotar um estudo de determinada região para representar a produção de soja nacional pode não ser uma prática adequada. Por fim, o estudo também fornece indícios de que os dados de estudos nacionais podem estar equivocados com a realidade das práticas agrícolas, e que é necessário priorizar a representatividade dos dados no momento da construção do inventário. Esta medida pode evitar discrepâncias em futuros estudos de avaliação de desempenho ambiental relacionado à produção do grão de soja.

Referências

- BERSIMIS, S. & Georgakellos, D. (2013) A probabilistic framework for the evaluation of products' environmental performance using life cycle approach and Principal Component Analysis. *Journal of Cleaner Production*. 42, 103–115.
- BRASIL. (2013). Benefícios Ambientais da Produção e do Uso do Biodiesel – 1a Edição Relatório apresentado à Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel em outubro de 2013. Brasília.
- CAMACHO, J., Picó, J. & Ferrer, A. (2010) Data understanding with PCA: Structural and Variance Information plots. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 100, 48–56.

CARVALHO, Patricia Turano. (2012) Balanço de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Biodiesel Produzido a Partir de Soja e Dendê no Brasil. Diss. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CASTANHEIRA, É, G.; Freire, F. (2012) Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems, *Journal of Cleaner Production*, 54 (2013) 49-60,

CAVALETT, Otávio. (2008). Análise do ciclo de vida da soja. Tese doutorado. Universidade de Campinas. São Paulo, Brasil.

EMBRAPA. (2011). Empresa de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013. Online at: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf>.

EMBRAPA. Empresa de Pesquisa Agropecuária. (2012) Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014. Passo Fundo. Embrapa Trigo e Apassul, 2012, 242p, (ISSN 1516-5582)

FAO. (2013). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Final 2011 Data and Preliminary 2012 Data for 5 Major Commodity Aggregates Now Available [Online]. Disponível em : <http://faostat.fao.org>.

FAO. (2015). OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. . doi:10.1787/agr_outlook-2015-en. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>

FLYSJÖ, A., Cederberg, C., Henriksson, M., & Ledgard, S. (2012). The interaction between milk and beef production and emissions from land use change—critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 134-142, 2012.

GUTIERREZ, E., Lozano, S., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Assessing relationships among life-cycle environmental impacts with dimension reduction techniques. *Journal of environmental management*, 91(4), 1002-1011.

MACIEL, G. V., Zortea, B. R., Silva, W., Cybis, L., Einloft, S., Seferin, M., (2015). Life Cycle Inventory for the agricultural stages of soybean production in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Cleaner Production* 93, 6574.

MALÇA, J., Freire, F., (2011). Life-cycle studies of biodiesel in Europe: A review addressing the variability of results and modeling issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 338351.

MARZULLO, Rita de Cassia Monteiro. (2007). Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOURAD, A. L. Avaliação da Cadeia Produtiva de Biodiesel obtido a partir da Soja. (2008). Tese de Doutorado. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NEMECEK, Thomas et al. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems*, v. 104, n. 3, p. 233-245, 2011.

PANICHELLI, L., Dauriat, A., Gnansounou, E., (2008). Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. *J. Life Cycle Assess.* 14, 144e 159

PIEKARSKI, C.M., Da Luz, L.M., Zocche, L., Francisco, A.C., (2012). Life cycle impact assessment methods: a discussion of methods adoption in Brazilian species. *Rev. Gest. Ind.* ISSN: 1808-0448

RAMAZZOTTE, V. C.B. (2010) Inventário do ciclo de vida da soja no Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica e de materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus de Curitiba.

RAUCCI, G., Moreira, C., Alves, P., Mello, F., Frazão, L., Cerri, C., Cerri, C., (2014). Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State. *Journal of Cleaner Production*.96, 418-425.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

STAHLE, L., Stahle, L. & Wold, S. (1990). Multivariate analysis of variance (MANOVA). *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 9, 127-141.

STHLE, L. & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 6, 259-272.

WOLD, S., Esbensen, K. & Geladi, P. (1987) Principal component analysis. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 2, 37-52.

ZORTEA, Rafael Batista. (2015). Avaliação da Sustentabilidade do Biodiesel da Soja no Rio Grande do Sul: uma abordagem de ciclo de vida. Porto Alegre. 213f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisa Hidráulicas – UFRGS.