

CADERNOS DO IME – Série Estatística

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Rio de Janeiro - RJ - Brasil

ISSN impresso 1413-9022 / ISSN on-line 2317-4536 - v.34, p. 01 - 15, 2013

UMA METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA CÁLCULO DOS ÍNDICES DE IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS DAS TECNOLOGIAS DA EMBRAPA

Mirian Oliveira de Souza

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

mirian.souza@embrapa.br

Daniela Vieira Marques

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

daniela.marques@embrapa.br

Geraldo da Silva e Souza

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

geraldo.souza@embrapa.br

Resumo

A metodologia usada atualmente na Embrapa para avaliar os impactos sociais e ambientais das tecnologias geradas pelos seus centros de pesquisa é composta por indicadores ponderados que são dependentes de critérios subjetivos, não permitindo avaliar a influência de cada indicador sobre os demais e nem sobre os índices finais gerados. Desse modo, a proposta deste artigo é definir novos pesos na construção desses índices. O diferencial da metodologia proposta é o uso de métodos estatísticos de análise multivariada na construção dos pesos, oferecendo uma alternativa ao método usado atualmente pelos seus centros de pesquisa. A abordagem metodológica aqui utilizada padroniza todas as variáveis, com o intuito de eliminar a influência de localização e escala. Todas as análises são feitas após o ranqueamento das variáveis, gerando grandezas adimensionais e robustas nas componentes dos índices de impactos social e ambiental. Nota-se que esses índices são analisados separadamente. Ao final da análise conclui-se que a metodologia proposta diminui o grau de subjetividade na escolha dos pesos dos indicadores e ajuda a identificar com mais clareza qual deles exerce maior influência nos índices de impactos das tecnologias analisadas.

Palavras-chave: *Tecnologias, Pesos, Análise Multivariada, Índices de Impactos.*

1. Introdução

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa é uma instituição de pesquisa cuja missão é viabilizar soluções, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade brasileira.

Há mais de uma década, a avaliação de impactos das tecnologias geradas pelos centros de pesquisa da Embrapa tem sido o principal instrumento utilizado para demonstrar à sociedade seus resultados. Essas tecnologias geradas pelos centros e adotadas pela sociedade são divulgadas anualmente no Balanço Social da Empresa.

A metodologia utilizada como referência pelos centros na avaliação dos impactos sociais e ambientais foi desenvolvida pela Embrapa Meio Ambiente e denominada Sistema de Avaliação de Impacto de Inovações – Ambitec. Esta metodologia é composta por indicadores ponderados com vistas a gerar índices finais de impacto para cada dimensão.

No entanto, a ponderação desses indicadores depende de critérios subjetivos para avaliar quais são mais relevantes, não permitindo avaliar a influência de cada indicador sobre os demais e nem sobre o índice final gerado. É importante saber como as variáveis estão inter-relacionadas para melhor interpretar os dados e a Análise Multivariada é uma boa alternativa para explicar esse tipo de relação, especificamente por meio da análise dos coeficientes de determinação, a qual permite definir um novo conjunto de pesos.

Nesse contexto, a ideia desse artigo é propor um novo sistema de pesos para os indicadores sociais e ambientais, por meio do uso da análise multivariada. A partir desses pesos, novos índices de impactos sociais e ambientais são gerados, permitindo uma comparação entre estes com os da metodologia de referência.

2. A experiência da Embrapa em avaliação de impactos de tecnologias

A Embrapa é uma instituição de pesquisa formada por uma rede de 47 centros espalhados pelo território nacional, organizados em centros de produtos, ecorregionais, temas básicos e de serviços. Estes centros desenvolvem suas tecnologias e quando adotadas pela sociedade realizam a avaliação de seus impactos.

A Embrapa possui uma longa experiência na avaliação dos impactos gerados por suas tecnologias, como pode ser visto em Monteiro & Rodrigues (2006), Marques *et al.* (2009), Rodrigues *et al.* (2010), dentre outros. Estas avaliações são do tipo *ex-post*, ou seja, analisa-se o impacto após a adoção da tecnologia com instrumentos de coleta de

dados específicos para cada tipo de impacto que se quer avaliar. Desde 2001 a Embrapa tem usado metodologias de referência para avaliar os impactos das tecnologias geradas por seus centros de pesquisa, como pode ser visto em Avila *et al.* (2008).

As avaliações dos impactos são feitas, em geral, por 37 centros de pesquisa. Cada centro apresenta, no mínimo, 3 tecnologias, perfazendo uma amostra de mais de 100 tecnologias/ano.

Em 2013, o Balanço Social da Embrapa trouxe cerca de 117 tecnologias apresentadas por 36 centros de pesquisa da Empresa, referentes ano base 2012, uma média de 3,25 tecnologia/centro de pesquisa. Das apresentadas, 4 foram excluídas da amostra analisada neste artigo por não apresentarem nenhum dos impactos estudados (sociais ou ambientais), por isso serão consideradas um total de 113 tecnologias nesse trabalho (EMBRAPA, 2013b).

Para a mensuração dos impactos sociais e ambientais são usados os Ambitec's (Sistema de Avaliação de Impacto de Inovações).

Os Ambitec's Social e Agro são metodologias compostas por um conjunto de planilhas eletrônicas que integram indicadores da contribuição de uma dada inovação tecnológica agropecuária no âmbito de um estabelecimento rural. (Avila *et al.*, 2008)

Ambas as metodologias iniciam com o levantamento de dados por meio de um questionário dirigido ao adotante da tecnologia. A entrevista deve ser conduzida com o intuito de obter o coeficiente de alteração dos componentes de cada um dos indicadores que compõe o impacto avaliado. O coeficiente de alteração do componente varia entre -3 (grande diminuição no componente), -1 (moderada diminuição no componente), 0 (componente inalterado), +1 (moderado aumento no componente) e +3 (grande aumento no componente).

Além da indicação da direção de alteração do componente, o coeficiente é ponderado por fatores referentes à escala de ocorrência e ao peso do componente na composição do indicador.

A escala de ocorrência do impacto da tecnologia possui os seguintes fatores de ponderação 1 (pontual), 2 (local) e 5 (no entorno), definidos da seguinte forma:

- Pontual – os impactos se restringem apenas ao ponto de sua ocorrência;
- Local – os impactos extrapolam o ponto de ocorrência da tecnologia, contudo não ultrapassa o estabelecimento em avaliação;

- No entorno – os impactos ultrapassam os limites do estabelecimento.

O peso do componente varia conforme o número de componentes do indicador e somam 1. Este fator de normalização pode admitir valores positivos ou negativos, variando conforme a direção do impacto de cada indicador.

Portanto para o cálculo do coeficiente de impacto para cada indicador tem-se:

$$Cia_i = \sum_{j=1}^m A_{ji} * E_{ji} * P_{ji} \quad (1)$$

em que: Cia_i é o coeficiente de impacto i , A_{ji} é o coeficiente de alteração do componente j do indicador i , E_{ji} é o fator de ponderação para escala de ocorrência espacial do componente j do indicador i , P_{ji} é o fator de ponderação para importância do componente j na composição do indicador i e, m é o número de componentes do indicador i .

Após o cálculo de cada um dos indicadores, estes passam a ser considerados em um conjunto para construção do índice final de impacto dado por:

$$Iia_t = \sum_{i=1}^m P_i * Cia_i \quad (2)$$

em que: Iia_t é o índice de impacto da tecnologia t , P_i é o fator de ponderação para importância do indicador i na composição do índice de impacto da tecnologia t , m é o número de indicadores e Cia_i é o coeficiente de impacto do indicador i .

2.1.1. Ambitec Social

De acordo com Avila *et al.* (2008), o Ambitec-Social é formado por quatorze indicadores organizados em quatro aspectos de avaliação, quais sejam: emprego, renda, saúde e, gestão e administração.

O aspecto emprego abrange quatro indicadores: capacitação, oportunidade de emprego local qualificado, oferta de emprego e condição do trabalhador e, qualidade do emprego.

O aspecto renda engloba os três indicadores: geração de renda do estabelecimento, diversidade de fontes de renda e valor da propriedade.

O aspecto saúde avalia também três indicadores: saúde ambiental e pessoal, segurança e saúde ocupacional e, segurança alimentar.

Finalmente, compõem o aspecto gestão e administração os quatro seguintes indicadores: dedicação e perfil do responsável, condição de comercialização, reciclagem de resíduos e relacionamento institucional.

Neste trabalho foram considerados na análise e geração do novo índice de impacto social todos os indicadores disponíveis na metodologia de referência para o total da amostra analisada, 113 tecnologias.

2.1.2. Ambitec Agro

Segundo a metodologia de referência (Avila *et al.*, 2008) para avaliar os impactos ambientais, faz-se uso do conjunto Ambitec Agro que possibilita a combinação de indicadores, de acordo com a tecnologia avaliada, dividindo-se em três metodologias, quais sejam: Ambitec's Agricultura, Agroindústria e Produção Animal. Os Ambitec's são assim caracterizados:

- a) Agricultura (impactos por unidade de área): composto por oito indicadores e trinta e sete componentes agrupados nos aspectos: Alcance, Eficiência, Conservação e Recuperação Ambiental;
- b) Agroindústria (impactos por estabelecimento agroindustrial): formado por oito indicadores e trinta e seis componentes organizados nos aspectos: Alcance, Eficiência, Conservação, Qualidade do Produto e Capital Social;
- c) Produção Animal (impacto por unidade animal): caracterizado por onze indicadores e cinquenta e dois componentes distribuídos nos aspectos: Alcance, Eficiência, Conservação Ambiental, Recuperação Ambiental, Qualidade do Produto e Bem-estar e Saúde Animal.

Na análise dos dados desse artigo, foram usadas as tecnologias que aplicaram a metodologia Ambitec Agricultura. Tal opção foi necessária, pois a grande maioria das tecnologias da amostra disponível faz uso dessa metodologia, ou seja, 74, e caso fossem consideradas as tecnologias que aplicaram as outras metodologias, haveria um grande número de *missing values* referentes aos indicadores pertencentes exclusivamente aos Ambitec's Agroindústria e Produção Animal o que prejudicaria a composição da base de dados analisada.

Assim, no Ambitec-Agricultura o alcance da tecnologia é composto por dois indicadores qualitativos: abrangência e influência. Por serem meramente descritivos não compõem o índice de impacto. A eficiência tecnológica é composta 3 indicadores: uso

de agroquímicos, uso de energia e uso de recursos naturais. A conservação ambiental é formada por quatro indicadores: atmosfera, qualidade do solo, qualidade da água e biodiversidade. Por fim, o oitavo indicador é o aspecto recuperação ambiental. (Avila *et al.* 2008)

3. Referencial Metodológico

A abordagem metodológica utilizada neste trabalho padronizou todas as variáveis, com o intuito de eliminar a influência de localização e escala dos dados. Essa padronização foi feita subtraindo-se de cada observação a observação média e dividindo esse resultado pelo desvio padrão do conjunto de observações. É importante ressaltar que todas as análises foram feitas após o ranqueamento das variáveis, gerando grandezas adimensionais e robustas nas componentes dos índices de impactos social e ambiental.

Após a organização dos dados foi escolhida a análise multivariada para a definição dos novos pesos usados na construção dos índices de impactos social e ambiental das tecnologias geradas pelos centros de pesquisa da Embrapa.

A principal vantagem das técnicas multivariadas é sua habilidade em acomodar múltiplas variáveis em uma tentativa de compreender as relações complexas não possíveis com métodos univariados e bivariados.

Neste estudo, o interesse está na análise de um único fator para cada índice final gerado, determinante dos valores das variáveis que são utilizadas tanto no modelo social, quanto no ambiental. Nesse sentido, a direção da associação entre o fator com suas respectivas variáveis, é conhecida *a priori*.

A abordagem para determinação desses índices tem como motivação principal a ideia central de análise fatorial. Segundo Moreira *et al.* (2004, 2005), o modelo de análise fatorial possibilita descrever um conjunto de p variáveis X_1, X_2, \dots, X_p em termos de um número menor de m fatores não diretamente observáveis. Especificamente, esse modelo postula que:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i \quad (3)$$

onde $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}$ são as cargas fatoriais (pesos fatoriais) da variável X_i nos fatores F_1, F_2, \dots, F_m , respectivamente. Os m fatores F_j são denominados fatores comuns e supõe-se que sejam não correlacionados, cada um com média zero e variância unitária. Os e_i são

os fatores específicos para os X_i e representam medidas de erro com variância constante σ_i^2 , não correlacionadas entre si e com os fatores comuns.

Supondo que as variáveis (indicadores) sejam padronizadas e com variância unitária obtém-se:

$$a_{i1}^2 \text{var}(F_1) + a_{i2}^2 \text{var}(F_2) + \dots + a_{im}^2 \text{var}(F_m) + \sigma_i^2 = 1 \quad (4)$$

e, portanto:

$$1 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2 + \sigma_i^2 \quad (5)$$

onde $h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2$ é um termo denominado comunalidade absoluta de X_i , que representa a parte da variância de X_i associada aos fatores comuns ou explicada por estes. Esta comunalidade, portanto, é característica de cada variável. A quantidade σ_i^2 é também denominada de especificidade de X_i e representa a parte da variância que não é relacionada com os fatores comuns. Se uma variável demonstra uma elevada comunalidade, isto significa que a variabilidade nela observada é fortemente explicada pelos fatores comuns.

Moreira *et al.* (2004, 2005) mostram que as comunalidades absolutas de atributos padronizados têm como *proxies* os coeficientes de correlação múltipla obtidos com regressões de cada variável com todas as demais.

O modelo geral de análise fatorial exposto acima tem diversas aplicações como pode ser visto em Moreira *et al.* (2004, 2005), Souza & Burnquist (2011), Carvalho *et al.* (2012) e Valente *et al.* (2012).

No entanto, possui algumas limitações, como as apontadas por Chatfield & Collins (1980), e descritas a seguir:

- i) É difícil determinar o número de fatores a serem retidos no modelo. A utilização de testes sob a hipótese de normalidade é possível para este fim, mas a convergência do processo de estimação fatorial não é garantida.
- ii) As soluções a_{ij} das cargas fatoriais, por qualquer método de estimação (extração de fatores), fixado o número de fatores comuns, não são únicas. Estimativas distintas são obtidas aplicando-se rotações ortogonais nos fatores.
- iii) Não havendo solução única, torna-se subjetiva a interpretação dos fatores e também da medida da importância relativa de cada variável nestes a partir das cargas fatoriais (apud Moreira *et al.*, 2004, p. 7).

Ainda de acordo com Moreira *et al.* (2004), mesmo que os a_{ij} possam variar em sinal e magnitude com a solução fatorial, as comunalidade absolutas h_i^2 são constantes, isto é, não variam por rotações ortogonais dos fatores.

Portanto, pretende-se utilizar como peso de cada variável uma medida de comunalidade relativa ajustada pela direção predeterminada para definir tanto o escore do impacto social quanto do impacto ambiental, ao invés de estimar escores diretamente via Análise Fatorial. Desse modo, questões como tamanho da amostra são irrelevantes.

De acordo com Moreira *et al.* (2004, 2005), o indicador agregado dos índices de impactos é dado por:

$$I = \sum_{i=1}^p \gamma_i b_i X_i \quad (6)$$

em que γ_i é a direção ou sinal estabelecido *a priori* para X_i e:

$$b_i = \frac{h_i^2}{\sum_{j=1}^p h_j^2} \quad (7)$$

é uma *proxy* para a comunalidade absoluta de X_i .

O índice final I é semelhante a um fator geral no modelo fatorial. Outra analogia seria definida pelo escore do primeiro componente na análise de componentes principais. (Moreira *et al.*, 2004). Os valores de I permitem ordenar as tecnologias e por consequência, os centros de pesquisa, segundo a intensidade com que respondem a esta medida agregada do índice final de cada impacto.

Para fins de comparação entre os novos índices gerados, o conceito estatístico de importância na caracterização de associação entre atributos usados foi o coeficiente de correlação por postos de Spearman (*Spearman Rank Correlation Coefficient*). Este coeficiente nada mais é do que o cálculo do coeficiente de Pearson, só que usando as ordens (*ranks*) dos dados, sendo calculado da seguinte forma:

$$\rho_{xy} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (8)$$

onde d_i é a diferença entre os postos de dois atributos x e y , e n é o número de (x, y) . (Lira & Neto, 2006)

4. Resultados e Discussão

4.1. Impacto Social

A Tabela 1 apresenta as comunalidades absolutas (h_i^2) e relativas (b_i), que deram origem aos novos pesos, das 14 variáveis determinantes do novo índice de impacto social, assim como os pesos (P_i) utilizados na metodologia de referência:

Tabela 1: Comunalidades absolutas, relativas e pesos da metodologia de referência do impacto social

Variável	Metodologia proposta		Metodologia de referência
	h_i^2	b_i	P_i
Capacitação	0,655	0,091	0,100
Oportunidade de emprego local	0,573	0,079	0,100
Oferta de emprego e condição do trabalhador	0,658	0,091	0,050
Qualidade do emprego	0,447	0,062	0,100
Geração de renda do estabelecimento	0,418	0,058	0,050
Diversidade de fonte de renda	0,335	0,046	0,050
Valor da propriedade	0,655	0,091	0,050
Saúde ambiental e pessoal	0,534	0,074	0,050
Segurança e saúde ocupacional	0,488	0,068	0,050
Segurança alimentar	0,283	0,039	0,050
Dedicação e perfil do responsável	0,652	0,090	0,100
Condição de comercialização	0,408	0,057	0,100
Reciclagem de resíduos	0,369	0,051	0,100
Relacionamento institucional	0,736	0,102	0,050
Total	7,210	1,000	1,000

Fonte: Elaborada pelos autores

Vale ressaltar que na construção dos pesos propostos, b_i , as comunalidades absolutas estimadas, h_i^2 , têm como *proxies* os coeficientes de correlação de cada variável com todas as outras, o que não é feito na obtenção dos pesos de referência, P_i . Diante disso, o indicador que apresentou a mais alta correlação com os demais, e consequentemente, o maior peso foi Relacionamento Institucional, enquanto Segurança Alimentar apresentou a mais baixa correlação e logo, o menor peso. (Tabela 1)

Como pode ser visto na Tabela 1, os pesos usados na metodologia de referência alternam entre dois valores 0,05 e 0,10, já na metodologia proposta, existe maior variabilidade na distribuição dos pesos, sendo possível identificar com clareza quais indicadores têm papel mais relevante na construção do índice de impacto social.

Os índices de impacto social das tecnologias geradas pelos centros de pesquisa da Embrapa foram construídos conforme o exemplo da Tecnologia 1 gerada pelo Centro de Pesquisa 1 (CP1):

$$IS = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 - b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 - b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11} + b_{12}X_{12} + b_{13}X_{13} + b_{14}X_{14} \quad (9)$$

onde b_i é a *proxy* da comunalidade relativa (peso) e X_i o indicador, lembrando que os X_i são primeiramente ranqueados e depois padronizados.

A Tabela 2 indica os centros de pesquisa e suas tecnologias geradas com os respectivos índices finais de impacto ranqueados em ordem decrescente, onde IS é o

índice de impacto social gerado pela metodologia proposta e IFS é o índice final de impacto social originado da metodologia de referência. Esta tabela foi abreviada devido à limitação de espaço.

Tabela 2: Índices finais de impacto social, IS e IFS, em ordem decrescente.

Centro de Pesquisa	Tecnologia	IS	Posição	Centro de Pesquisa	Tecnologia	IFS
CP33	100	1,58	1º	CP29	91	10,72
CP33	99	1,56	2º	CP16	45	9,60
CP1	2	1,55	3º	CP1	2	8,57
CP16	45	1,47	4º	CP33	100	8,17
CP1	1	1,27	5º	CP33	99	7,56
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CP24	82	-0,12	54º	CP36	108	1,68
CP23	76	-0,12	55º	CP18	63	1,66
CP20	67	-0,12	56º	CP35	107	1,59
CP2	7	-0,14	57º	CP7	20	1,56
CP17	56	-0,15	58º	CP7	19	1,52
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CP32	98	-0,89	109º	CP21	72	0,30
CP24	80	-0,92	110º	CP11	32	0,29
CP27	87	-0,94	111º	CP32	98	0,28
CP7	19	-0,98	112º	CP4	12	0,27
CP11	32	-1,00	113º	CP27	87	0,20

Fonte: Elaborada pelos autores. Por limitação de espaço algumas linhas da tabela foram suprimidas.

Ao se comparar os índices de impacto social propostos com os índices finais da metodologia de referência, nota-se que eles são bem diferentes, visto que os novos índices apresentam valores positivos e negativos, o que não ocorre na metodologia de referência. Com relação à amplitude desses índices, observa-se que enquanto o IFS varia de 0,2 a 10,72, o IS possui uma baixa variação, de -1 a 1,58. Com o novo índice de impacto gerado, das 113 tecnologias analisadas, 63 obtiveram índices que contribuíram com a melhora do posicionamento dos seus centros de pesquisa na nova classificação. Da amostra considerada, apenas 6 permaneceram inalteradas e o restante caiu de posição. Com o novo índice, o CP 29 com sua tecnologia 91, foi o centro de pesquisa que mais perdeu posição, 74, saindo da primeira para a 75ª posição. Ao contrário do CP23 com sua tecnologia 79, que obteve uma melhora de 36 posições na sua classificação.

Por fim, foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman entre IFS e IS, cujo resultado foi 0,82 indicando que os índices originados da metodologia de referência e os índices da metodologia proposta estão altamente correlacionados.

4.2. Impacto Ambiental

A Tabela 3 apresenta as comunalidades absolutas (h_i^2) e relativas (b_i), que geraram os novos pesos, das 8 variáveis determinantes do índice de impacto ambiental, bem como os pesos (P_i) utilizados na metodologia de referência.

Tabela 3: Comunalidades absolutas e relativas e pesos da metodologia de referência do impacto ambiental

Variável	Metodologia proposta		Metodologia de referência
	h_i^2	b_i	P_i
Agroquímicos	0,314	0,105	0,125
Energia	0,418	0,140	0,125
Recursos Naturais	0,332	0,111	0,125
Atmosfera	0,354	0,119	0,125
Qualidade do Solo	0,487	0,163	0,125
Qualidade da Água	0,372	0,125	0,125
Biodiversidade	0,397	0,133	0,125
Recuperação Ambiental	0,308	0,103	0,125
Total	2,982	1,000	1,000

Fonte: Elaborada pelos autores

Conforme pode ser observado na Tabela 3, na metodologia de referência todos os indicadores apresentam o mesmo peso, (P_i). O diferencial da nova proposta metodológica é exatamente o oposto disso, uma vez que gera pesos (b_i) variáveis, possibilitando identificar quais indicadores têm, de fato, maior contribuição na construção do índice de impacto ambiental. Nesse caso, Qualidade do Solo foi o indicador que apresentou correlação (h_i^2) mais alta com os outros indicadores, portanto, maior peso, ao passo que Recuperação Ambiental foi o indicador menos correlacionado com os demais.

Um exemplo do cálculo dos índices de impacto ambiental é mostrado pela formulação da Tecnologia 1 gerada pelo Centro de Pesquisa 1 (CP1) da Embrapa e apresentado a seguir:

$$IA = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 - b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 \quad (10)$$

onde b_i é a *proxy* da comunalidade relativa (peso) e X_i é o indicador, observando, mais uma vez que, os X_i são primeiramente ranqueados e depois padronizados.

A Tabela 4 mostra os centros de pesquisa e suas tecnologias geradas com os respectivos índices ranqueados em ordem decrescente, sendo IA o índice de impacto ambiental gerado pela metodologia proposta e IFA o índice final de impacto ambiental originado da metodologia de referência. Esta tabela foi abreviada devido à limitação de espaço.

Tabela 4: Índices finais de impacto ambiental, IA e IFA, em ordem decrescente, das 74 tecnologias geradas por 29 centros de pesquisa da Embrapa

Centro de Pesquisa	Tecnologia	IA	Posição	Centro de Pesquisa	Tecnologia	IFA
CP20	43	1,06	1º	CP1	2	7,03
CP1	1	1,02	2º	CP16	32	4,30
CP20	44	0,99	3º	CP3	9	3,56
CP23	51	0,91	4º	CP1	1	3,12
CP25	58	0,89	5º	CP3	8	2,63
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CP21	47	0,01	35º	CP18	39	0,65
CP4	11	-0,07	36º	CP8	17	0,61
CP28	61	-0,08	37º	CP23	52	0,50
CP17	34	-0,09	38º	CP29	64	0,50
CP8	18	-0,09	39º	CP17	34	0,48
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CP7	14	-0,79	70º	CP22	50	-0,80
CP2	6	-0,90	71º	CP28	62	-0,85
CP22	50	-0,92	72º	CP7	14	-1,05
CP9	19	-1,18	73º	CP2	7	-1,76
CP2	7	-1,24	74º	CP9	19	-1,90

Fonte: Elaborada pelos autores. Por limitação de espaço algumas linhas da tabela foram suprimidas.

Comparando o ranqueamento do índice de impacto ambiental da nova metodologia com o da metodologia de referência (IA x IFA), é possível observar que das 74 tecnologias geradas pelos centros de pesquisa da Embrapa, somente 2 mantiveram seu posicionamento, 39 tiveram ascensão no ranking e 33 caíram. Destas, a tecnologia 26, gerada pelo CP14, foi a que mais caiu, perdendo 29 posições. Por outro lado, os centros de pesquisa, CP22 (tecnologia 49) e CP27 (tecnologia 60) foram os que mais ascenderam na classificação final, ganhando 19 posições. A amplitude do IA mostrou-se bem menor do que a do IFA, pois enquanto o primeiro varia de -1,24 a 1,06, o segundo varia de -1,90 a 7,03. (Tabela 4)

Ao final foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman entre IFA e IA, cujo resultado foi 0,89, indicando que há uma alta correlação entre os índices originados da metodologia de referência e os índices da metodologia proposta.

5. Conclusões

Este estudo propôs um novo sistema de pesos para o cálculo dos índices de impactos sociais e ambientais das tecnologias da Embrapa, por meio de métodos estatísticos de análise multivariada, oferecendo uma metodologia alternativa à adotada atualmente na Empresa.

Os índices de impactos sociais e ambientais foram definidos a partir de uma média ponderada cujos pesos das variáveis foram fixados por meio de medidas de comunalidade, cujo conceito decorre dos modelos de análise fatorial. Cabe ressaltar que o uso desses modelos se restringiu somente a esse fim e não como um método de redução e sumarização dos dados. Portanto buscou-se manter o número de indicadores usados na metodologia de referência para cada impacto analisado.

Na construção desses pesos foi considerada a correlação existente de cada indicador com todos os outros para definição da importância de cada indicador na formação do índice final de impacto, configurando o diferencial metodológico.

No índice de impacto social (IS), o indicador que apresentou maior correlação com os demais, e consequentemente, o maior peso foi Relacionamento Institucional, enquanto Segurança Alimentar apresentou a mais baixa correlação e logo, o menor peso. No ranqueamento feito a partir do índice gerado, aproximadamente 56% das tecnologias contribuíram na melhora da classificação dos seus centros de pesquisa.

Com relação ao índice de impacto ambiental (IA), o indicador Qualidade do Solo foi o que apresentou correlação mais alta com os outros indicadores, portanto, maior peso, ao passo que Recuperação Ambiental foi o indicador menos correlacionado com os demais, ficando com o menor peso. No ranqueamento desse índice, cerca de 53% das tecnologias fizeram com que os centros que a geraram, subissem de posição.

Os coeficientes de correlação de Spearman foram: 0,82 entre IFS e IS e 0,89 entre IFA e IA, indicando que, em ambos os casos, há uma alta correlação (associação) entre os índices originados da metodologia de referência e os índices gerados pela metodologia proposta.

Ao final da análise pôde-se concluir que a metodologia proposta fornece uma opção ao método usado atualmente na Embrapa. A principal vantagem desse método está na objetividade da determinação dos pesos dos indicadores utilizados na geração dos índices de impactos das tecnologias da Embrapa, visto que utiliza métodos estatísticos na construção destes pesos.

Referências

- AVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G. R.; VEDOVOTO, G. L. **Avaliação dos Impactos de tecnologias da Embrapa: metodologia de referência**. Embrapa. Secretaria de Gestão e Estratégia. Brasília, 2008.
- CARVALHO, L. C.; DI SERIO, L. C.; VASCONCELLOS, M. A. Competitividade das nações: análise da métrica utilizada pelo World Economic Forum. **ERA**, São Paulo, 52, 4, p. 421-434, 2012.
- EMBRAPA. **Mapa das unidades da Embrapa no Brasil**. Disponível em: <http://www.embrapa.br/a_embrapa/enderecos/mapa1_uni_br_simpl_v2.jpg/image_view_fullscreen>. Acesso em: 20 maio 2013a.
- EMBRAPA. **Balanco Social da Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, Secretaria de Gestão Estratégica, 2013b.
- LIRA, S. A.; NETO, A. C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Recie**, Uberlândia, 15, 1/2, p. 45-53, 2006.
- MARQUES, D. V.; VEDOVOTO, G. L.; AVILA, A. F. D. Avaliação de impactos econômicos, sociais e ambientais de tecnologias: a experiência da Embrapa no período 2001/2008. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41, 2009, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2009. p. 427-438.
- MENEZES, A. C. S.; MOREIRA, T. B. S. E SOUZA, G. S. Credibilidade e Crises Cambiais: uma Aplicação do Modelo de Velasco. **Revista de Economia Aplicada**, 9, 3, p. 1-19, 2005.
- MONTEIRO, R. C.; RODRIGUES, G. S. A System of Integrated Indicators for Socio-environmental assessment and Eco-certification in Agriculture – Ambitec-agro. **Journal Technology Management & Innovation**, 1, 3, p. 47-59, 2006.
- MOREIRA, T. B. S.; PINTO, M. B. P.; SOUZA, G. S. Uma metodologia alternativa para mensuração de pressão sobre o mercado de câmbio. **Estudos Econômicos Instituto de Pesquisas Econômicas**, 34, 1, p. 73-99, 2004.
- MOREIRA, T. B. S.; PINTO, M. B. P. E SOUZA, G. S. Crises Cambiais dos Anos 90: Uma análise sob o enfoque custo-benefício a la Barro-Gordon. **Análise Econômica** (UFRGS), 23, 43, p. 5-23, 2005.
- RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. DE A.; AVILA, A. F. D. An Environmental Impact Assessment System for Agricultural Research and Development II: Institutional Learning Experience at Embrapa. **Journal Technology Management & Innovation**, 5, 4, p. 38-56, 2010.
- Souza, M. J. P. e Burnquist, H. L. (2011). Impactos da facilitação de comércio: evidências do modelo gravitacional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 49, 4, p. 909-940.
- VALENTE, L. C. M.; SOUZA, E. C.; VALE, S. M. L. R.; BRAGA, M. J. Relação entre gastos preventivos e com tratamento: levantamento da situação em fazendas produtoras de leite de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41, 1, p. 212-220, 2012.

AN ALTERNATIVE METHODOLOGY FOR CALCULATION OF INDICES OF SOCIAL AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF EMBRAPA'S TECHNOLOGIES

Abstract

The methodology currently used in Embrapa to assess the social and environmental impacts of the technologies developed by its research centers is composed of weighted indicators that are dependent on subjective criteria, not allowing to evaluate the influence of each indicator on others nor on the final indices generated. Thus, the purpose of this paper is to define new weights in the construction of these indices. The differential of the proposed methodology is the use of statistical methods of multivariate analysis in the construction of the weights, offering an alternative to the method currently used by research centers. The methodological approach used here standardizes all variables in order to eliminate the influence of location and scale. All analyzes are made after the ranking of variables, generating dimensionless quantities and robust components in the indices of social and environmental impacts. Note that these indices are analyzed separately. After the analysis, it is concluded that the proposed method reduces the degree of subjectivity in selecting the weights of indicators and helps to more clearly identify which of them exerts a greater influence on the indices impact of the technologies analyzed.

Key-words: *Tecnologies, Weights, Multivariate Analysis, Impact Indices.*