

## 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  
Parque Estação Biológica - PqEB s/n, Brasília, DF - Brasil  
mirian.souza@embrapa.br

**Daniela Vieira Marques**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Parque Estação Biológica PqEB, s/n, Brasília, DF - Brasil  
daniela.marques@embrapa.br

### RESUMO

A metodologia usada na avaliação dos impactos sociais e ambientais das tecnologias geradas pelos centros de pesquisa da Embrapa é composta por indicadores ponderados que são dependentes de critérios subjetivos, o que dificulta avaliar a influência de cada indicador sobre os demais e sobre os índices finais. Desse modo, este artigo propõe novos pesos na construção desses índices. O diferencial da metodologia proposta é o uso de métodos de análise multivariada na construção dos pesos, oferecendo uma alternativa ao método usado atualmente pelos seus centros de pesquisa. Comparando-se os novos pesos gerados com os da metodologia de referência, nota-se que houve uma melhor distribuição dos pesos em ambos os impactos, principalmente no impacto ambiental. Os resultados indicam que a metodologia alternativa diminui o grau de subjetividade na escolha dos pesos dos indicadores e ajuda a identificar qual deles possui maior influência nos índices dos impactos avaliados.

**PALAVRAS CHAVE.** Centros de Pesquisa, Análise Multivariada, Índices de Impactos.

**Área principal:** Estatística (EST)

### ABSTRACT

The methodology used in the assessment of social and environmental impacts of technologies generated by Embrapa's research centers is composed of weighted indicators that are dependent on subjective criteria, making it difficult to evaluate the influence of each indicator on others and on the final indices. Thus, this paper proposes new weights in the construction of these indices. The differential of the proposed methodology is the use of multivariate analysis in the construction of the weights, providing an alternative to the method currently used by its research centers. Comparing the new weights generated with the reference method, it is noticed that there was a better weight distribution in both impacts, especially on environmental impact. The results indicate that the alternative methodology reduces the degree of subjectivity in the choice of the weights of indicators and helps to identify which one has a greater influence on the indices of impacts evaluated.

**KEYWORDS.** Research centers. Multivariate Analysis. Impact Indices.

**Main area:** Statistics

## 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.

Este processo foi iniciado nos anos 2000 e naquela época cada centro apresentava apenas os impactos econômicos de suas tecnologias. No entanto, percebeu-se a importância e a necessidade em se demonstrar os outros impactos gerados por uma tecnologia e quão relevantes eles são para explicar o papel da Embrapa no desenvolvimento da sustentabilidade da agricultura. Portanto, a partir de 2003, os impactos sociais e ambientais também passaram a ser apresentados no Balanço Social da Empresa.

A metodologia utilizada como referência para os 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 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.

O artigo está organizado da seguinte forma: os referenciais teórico e metodológico são apresentados respectivamente nas Seções 2 e 3. Os resultados e discussão são apresentados na Seção 4. Por fim, a última Seção é dedicada às conclusões.

## 2. Referencial Teórico

A apresentação do tema avaliação de impactos será feita no referencial teórico abordando a experiência da Embrapa na realização das avaliações de impacto de suas tecnologias, bem como uma breve abordagem das metodologias usadas como referência por seus centros de pesquisa na realização desta atividade.

### 2.1. A experiência da Embrapa em avaliação de impactos de tecnologias

A Embrapa é uma instituição de pesquisa formada por uma rede de 47 centros de pesquisa 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, os mesmos fazem a avaliação dos impactos dessas tecnologias.

A Embrapa possui uma longa experiência na avaliação dos impactos gerados por suas tecnologias, como pode ser visto em Monteiro e Rodrigues (2006), Marques et al. (2009), Rodrigues et al. (2010), dentre outras. 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 média, por 37 centros de pesquisa. Cada centro apresenta, em média, 3 tecnologias, perfazendo uma amostra de mais de 100 tecnologias/ano.

A Figura 1 mostra o número de tecnologias avaliadas anualmente durante o período 2001/2012 pelos centros de pesquisa da Embrapa.

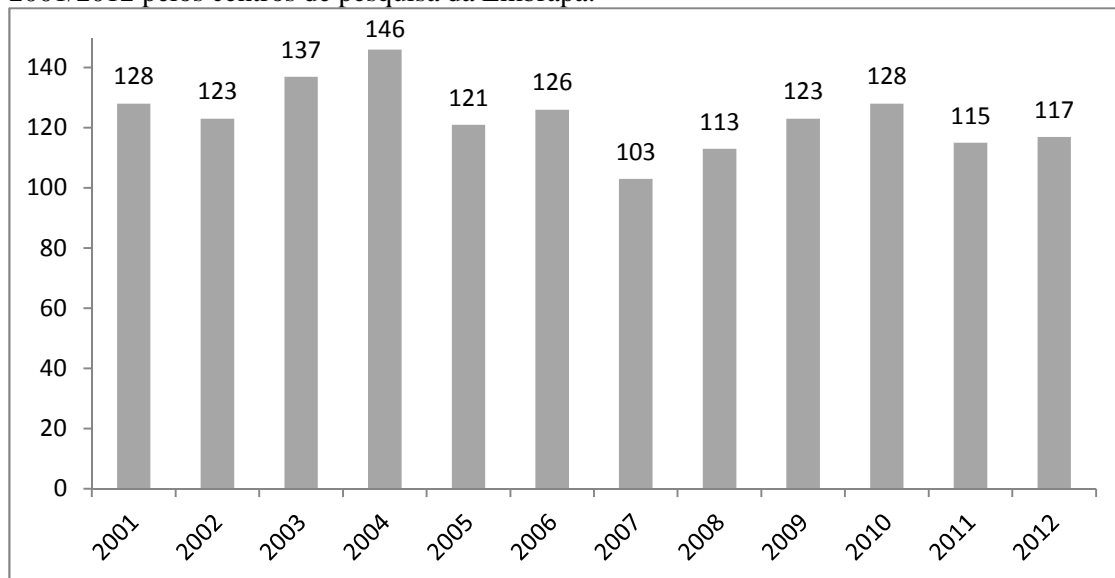


Figura 1: Número de tecnologias avaliadas por ano, no período de 2001-2012.

Fonte: Fonte: Balanço Social 2001-2012 (Organizado pelos autores)

O Balanço Social (BS) da Embrapa é o instrumento de divulgação dos resultados das avaliações de impactos das tecnologias e divulgado todos os anos. Em 2013, o BS trouxe cerca de 117 tecnologias apresentadas por 36 centros de pesquisa da Embrapa 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 e ambientais), por isso serão consideradas um total de 113 tecnologias nesse trabalho. (EMBRAPA, 2013).

## 2.2. A metodologia de referência para avaliação de impacto

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 compõem o impacto avaliado. O coeficiente de alteração do componente varia de -3 a +3, conforme segue:

- +3 = Grande aumento no componente,
- +1 = Moderado aumento no componente,
- 0 = Componente inalterado,
- -1 = Moderada diminuição no componente e
- -3 = Grande diminuição 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, 2 e 5, definidos da seguinte forma:

- Pontual – os impactos da tecnologia se restringem apenas ao ponto de sua ocorrência, sendo ponderado por 1,
- Local – os impactos extrapolam o ponto de ocorrência da tecnologia, contudo não ultrapassa o estabelecimento em avaliação, sendo ponderado por 2 e

- No entorno – os impactos ultrapassam os limites do estabelecimento, por isso é ponderado por 5.

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

### 2.2.1. 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: a) emprego, b) renda, c) saúde e d) 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 indicadores: geração de renda do estabelecimento, diversidade de fontes de renda e valor da propriedade.

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

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

Para a realização deste trabalho foi considerada na análise e geração do novo índice de impacto social todos os indicadores disponíveis na metodologia e a média dos dados por centro de pesquisa das tecnologias apresentadas no universo da amostra. Assim, foram consideradas as médias das tecnologias de cada centro de pesquisa, resultando numa amostra de 28 centros, após terem sido excluídos as tecnologias/centro de pesquisa que apresentaram algum *missing value*.

### 2.2.2. Ambitec Agro

Para a avaliação de impactos ambientais, segundo a metodologia de referência (AVILA et al., 2008) tem-se o 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:

- Agricultura (impactos por unidade de área): composto por oito indicadores e trinta e sete componentes agrupados nos aspectos Alcance, Eficiência, Conservação e Recuperação Ambiental,
- 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 e

- 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 havia um grande número de *missing values* referentes às variáveis dos outros Ambitec's. Para a análise desses dados foi considerada a média das tecnologias de cada centro de pesquisa totalizando uma amostra de 21 centros.

### 3. Referencial Metodológico

A abordagem metodológica utilizada neste trabalho padronizou todas as variáveis, com o intuito de eliminar a influência de localização e escala. 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, com o intuito de obter grandezas adimensionais e robustas nas amostras estudadas.

Após esta 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. Esses pesos foram obtidos a partir de uma medida de comunalidade de cada variável utilizada na análise, seguindo a técnica sugerida em Moreira et al. (2004, 2005).

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.

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  $\sigma_i^2$ , não correlacionadas entre si e com os fatores comuns.

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

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

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. A comunalidade, portanto, é característica de cada variável. A quantidade  $\sigma_i^2$  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), Cunha et al. (2008), Marques (2010), Souza e Burnquist (2011), Carvalho et al. (2012) e Valente et al. (2012).

No entanto, possui algumas limitações, como as apontadas por Chatfield e 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 com a solução fatorial, as comunalidades absolutas  $h_i^2$  são constantes, isto é, não variam por rotações ortogonais dos fatores.

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*. Portanto, pretende-se utilizar como peso de cada variável uma medida de comunalidade relativa ajustada pela direção predeterminada para definir tanto o escore de impacto social quanto ambiental, ao invés de estimar escores diretamente via Análise Fatorial. A medida relativa de comunalidade tem a vantagem de ser independente de rotações ortogonais, e pode também ser aproximada por um método heurístico, o que elimina hipóteses restritivas associadas à extração de fatores.

O método heurístico de aproximação da comunalidade dá-se por meio do coeficiente de determinação da regressão de  $X_i$  nas demais variáveis (JOHNSON e WICHERN, 1992, MOREIRA et al., 2004, 2005).

A relação de causalidade ou mesmo de condicionalidade entre variáveis existente numa regressão implica na necessidade de especificação dos modelos em termos de variáveis exógenas. No caso da análise fatorial tal especificação não é necessária visto que o intuito é determinar uma relação de interdependência entre variáveis que é feita por meio de fatores comuns não observáveis. Uma descrição detalhada desta relação pode ser vista em Johnson e Wichern (1992).

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  $\gamma_i$  é a direção ou sinal estabelecido a priori para  $X_i$  e:

$$b_i = \frac{smc_i}{\sum_{j=1}^p smc_j} \quad (7)$$

é a *prox*y da comunalidade relativa sendo  $smc_i$  a comunalidade absoluta  $h_i^2$  estimada.

Cada índice é, portanto definido a partir de uma média ponderada cujos pesos das variáveis são fixados por meio de medidas de comunalidade relativa.

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. (MANLY, 1994, MOREIRA et al., 2004). Os valores de  $I$  permitem ordenar os elementos da amostra, os



centros de pesquisa, segundo a intensidade com que respondem a esta medida agregada do índice final de cada impacto.

Em resumo, o novo índice utiliza a média como ponto de referência, a padronização unitária e o sistema de pesos definido pela intensidade da correlação de cada variável com o seu respectivo fator, social ou ambiental. Dessa forma, cada índice obtido, além de padronizar as variáveis de modo independente também leva em conta a importância relativa de cada do ponto de vista de variabilidade na dimensão.

Para fins de comparação entre os novos índices gerados, o conceito estatístico de importância na caracterização de associação entre atributos usado 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

Os resultados e as discussões alcançados com o uso dos métodos apresentados na seção anterior serão apresentados em dois itens separadamente, pois a intenção é discutir os resultados dos impactos social e ambiental distintamente e sem comparações como é feito na metodologia de referência.

##### 4.1. Impacto Social

A Tabela 1 apresenta as proxies para as comunalidades absolutas ( $h_i^2$ ), as comunalidades relativas ( $b_i$ ) das 14 variáveis determinantes do novo índice de impacto social e os pesos utilizados na metodologia de referência:

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

Variável	Metodologia proposta		Metodologia de referência
	$h_i^2$	$b_i$	$P_i$
Capacitação	0,884	0,078	0,100
Oportunidade de emprego local	0,873	0,077	0,100
Oferta de emprego e condição do trabalhador	0,849	0,074	0,050
Qualidade do emprego	0,751	0,066	0,100
Geração de renda do estabelecimento	0,775	0,068	0,050
Diversidade de fonte de renda	0,848	0,074	0,050
Valor da propriedade	0,941	0,083	0,050
Saúde ambiental e pessoal	0,735	0,064	0,050
Segurança e saúde ocupacional	0,696	0,061	0,050
Segurança alimentar	0,821	0,072	0,050
Dedicação e perfil do responsável	0,904	0,079	0,100
Condição de comercialização	0,816	0,072	0,100
Reciclagem de resíduos	0,594	0,052	0,100
Relacionamento institucional	0,908	0,080	0,050
<b>Total</b>	<b>11,394</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Vale ressaltar que na construção dos pesos propostos,  $b_i$ , as comunalidades estimadas levam em conta a influência de cada variável sobre todas as outras, o que não ocorre com os

pesos de referência,  $P_i$ . Enquanto os pesos usados na metodologia de referência alternam entre 0,05 e 0,10, na metodologia proposta existe maior variabilidade na distribuição dos pesos, sendo possível identificar com clareza quais variáveis têm, de fato, papel mais relevante na construção do índice final de impacto social. E neste caso, o indicador que apresentou maior influência foi Valor da Propriedade, enquanto que o menor foi Reciclagem de Resíduos. (Tabela 1)

Os índices de impacto social para os centros de pesquisa da Embrapa foram construídos conforme o seguinte exemplo do Centro de Pesquisa 37 (CP37):

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

lembrando que os  $X_i$  são primeiramente ranqueados e depois padronizados.

A Tabela 2 indica os centros de pesquisa da amostra com os seus respectivos índices ranqueados em ordem decrescente, onde IFS é o índice final de impacto social originado da metodologia de referência e IS é o índice de impacto social gerado pela metodologia proposta.

Tabela 2: Índices finais de impacto social, IFS e IS, dos centros de pesquisa da Embrapa em ordem decrescente

Centro de Pesquisa	IFS	Centro de Pesquisa	IS
CP33	6,060	CP1	1,512
CP1	5,980	CP33	1,444
CP16	4,930	CP16	1,158
CP22	4,420	CP22	1,021
CP6	3,750	CP5	0,668
CP3	3,720	CP35	0,633
CP5	3,450	CP6	0,616
CP35	2,940	CP15	0,594
CP14	2,890	CP14	0,444
CP15	2,750	CP17	0,271
CP36	2,210	CP9	0,265
CP10	2,170	CP30	0,177
CP2	1,990	CP2	0,167
CP9	1,980	CP31	0,084
CP37	1,910	CP36	0,043
CP28	1,890	CP10	-0,001
CP18	1,850	CP28	-0,048
CP31	1,810	CP3	-0,081
CP30	1,690	CP23	-0,446
CP17	1,510	CP18	-0,578
CP34	1,160	CP24	-0,582
CP23	0,900	CP20	-0,602
CP20	0,800	CP37	-0,689
CP8	0,770	CP8	-0,730
CP21	0,680	CP34	-0,750
CP24	0,630	CP21	-0,776
CP11	0,420	CP32	-0,847
CP32	0,410	CP11	-1,017

Os índices finais de impacto social em relação aos novos índices de impacto propostos, de acordo com a Tabela 2, apresentaram-se bem diferentes, conferindo uma nova possibilidade de análise. Conforme ainda pode ser visto na tabela, com o novo índice de impacto gerado (IS), dos 28 centros de pesquisa analisados, 12 apresentaram alguma melhora no seu posicionamento, enquanto 11 diminuíram. O centro de pesquisa que mais perdeu posição foi o CP3, caindo 12



posições. Ao contrário do CP17, que melhorou sua classificação em 10 posições. Ainda pode-se observar que cinco CP's (2, 8, 14, 16 e 22) não tiveram nenhuma alteração na sua ordem de classificação.

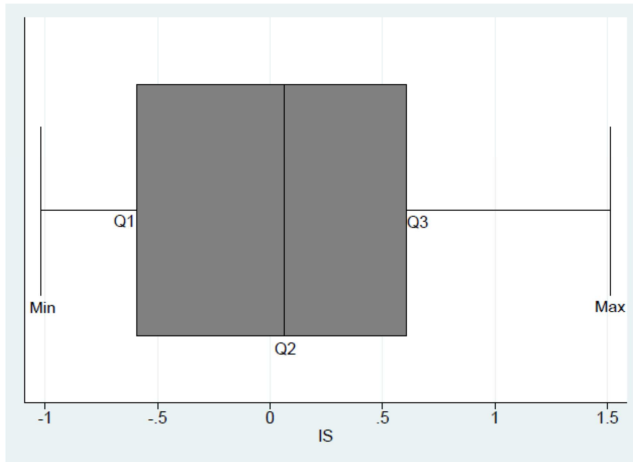


Figura 2: *Box plot* do índice de impacto social (IS) gerado pela metodologia proposta

Na Figura 2, o primeiro quartil ( $Q_1$ ) indica que cerca de 25% das observações se situam abaixo de -0,592, e o terceiro quartil ( $Q_3$ ) mostra que cerca de 75% dos dados apresentam valores menores que 0,605. Isso indica que na composição do índice de impacto social, a maioria dos indicadores apresenta sinal positivo.

Por fim foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman entre IFS e IS, cujo resultado foi 0,86 indicando que os índices originados da metodologia de referência e os índices da metodologia proposta estão altamente correlacionados.

#### 4.2. Impacto Ambiental

Para a elaboração do novo índice de impacto foram gerados novos pesos para os indicadores e, posteriormente, gerado o índice final de impacto ambiental.

A Tabela 3 apresenta proxies para as comunalidades absolutas ( $h_i^2$ ), as comunalidades relativas ( $b_i$ ) das 8 variáveis determinantes do índice de impacto ambiental e os pesos utilizados na metodologia de referência:

Tabela 4: 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	0,506	0,110	0,125
Energia	0,768	0,166	0,125
Recursos Naturais	0,636	0,138	0,125
Atmosfera	0,345	0,075	0,125
Qualidade do Solo	0,681	0,148	0,125
Qualidade da Água	0,540	0,117	0,125
Biodiversidade	0,513	0,111	0,125
Recuperação Ambiental	0,626	0,136	0,125
<b>Total</b>	<b>4,615</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Conforme pode ser observado na Tabela 4, na metodologia de referência todos os indicadores apresentam o mesmo nível de importância, ou seja, possuem pesos ( $P_i$ ) constantes. O diferencial da nova proposta metodológica é exatamente o oposto disso, uma vez que gera pesos ( $b_i$ ) variáveis, possibilitando identificar com clareza quais indicadores têm maior influência na

construção do índice de impacto ambiental. Nesse caso, Energia foi o indicador que apresentou maior influência, ao passo que Atmosfera foi o que menos contribuiu na construção do IA.

Um exemplo do cálculo dos índices de impacto ambiental é apresentado a seguir para o Centro de Pesquisa 1 (CP1) da Embrapa:

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

observando, mais uma vez que os  $X_i$  são primeiramente ranqueados e depois padronizados.

A Tabela 4 indica os centros de pesquisa da amostra com os seus respectivos índices ranqueados em ordem decrescente, onde IFA é o índice final de impacto ambiental originado da metodologia de referência e IA é o índice de impacto ambiental gerado pela metodologia proposta.

Tabela 4: Índices finais de impacto ambiental, IFA e IA, dos centros de pesquisa da Embrapa em ordem decrescente

Centro de Pesquisa	IFA	Centro de Pesquisa	IA
CP1	5,08	CP3	0,69
CP3	3,10	CP20	0,67
CP16	2,56	CP1	0,61
CP30	1,92	CP30	0,60
CP33	1,86	CP33	0,58
CP20	1,07	CP16	0,56
CP18	0,87	CP24	0,45
CP15	0,86	CP8	0,09
CP8	0,74	CP15	0,02
CP5	0,71	CP23	0,01
CP21	0,59	CP21	-0,17
CP23	0,56	CP22	-0,35
CP24	0,45	CP5	-0,36
CP11	0,31	CP4	-0,41
CP4	0,26	CP18	-0,41
CP34	-0,01	CP11	-0,48
CP32	-0,16	CP28	-0,51
CP28	-0,19	CP2	-0,58
CP22	-0,22	CP9	-0,64
CP9	-0,31	CP34	-0,73
CP2	-0,42	CP32	-0,82

Comparando os *ranks* do IFA com o IA é possível observar que com a geração do novo índice de impacto ambiental (IA), dos 21 centros de pesquisa analisados, 10 tiveram ascensão no ranking, três CP's (21, 30 33) permaneceram inalterados e 8 caíram. Dentre os centros analisados o que teve maior destaque foi o CP22 subindo sua classificação em 7 posições enquanto o centro que mais perdeu posição no ranqueamento foi o CP18, caindo 8 posições. (Tabela 4)

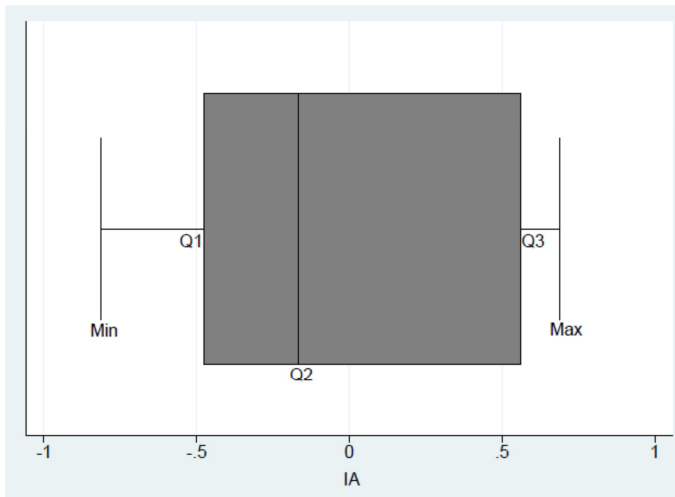


Figura 3: *Box plot* do índice de impacto ambiental (IA) gerado pela metodologia proposta

Como pode ser visto na Figura 3, aproximadamente 25% dos dados fica abaixo do primeiro quartil,  $Q_1$  (-0,478), metade dos dados fica abaixo da mediana,  $Q_2$  (-0,017) e 75% desses dados ficam abaixo de  $Q_3$  com valores até 0,561. Isso indica que na composição do índice de impacto ambiental, a maioria dos indicadores apresenta sinal negativo.

Ao final foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman entre IFA e IA, cujo resultado foi 0,84, 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 uma proposta de uma metodologia alternativa para a mensuração dos índices de impactos sociais e ambientais das tecnologias da Embrapa, por meio de métodos estatísticos de análise multivariada.

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.

Na construção desses pesos foi considerada a inter-relação existente entre todas as variáveis para definição da importância de cada indicador na formação do índice final de impacto configurando o diferencial metodológico.

O indicador que teve maior influência no índice de impacto social (IS) foi Valor da Propriedade. Na composição do IS, a maioria dos indicadores apresenta sinal positivo. No ranqueamento feito a partir do índice gerado, aproximadamente 82% dos centros de pesquisa mudaram de posição.

Com relação ao índice de impacto ambiental (IA), a Energia foi o indicador mais representativo. A maioria dos indicadores do IA apresenta sinal negativo. No ranqueamento desse índice, cerca de 14% dos centros de pesquisa analisados na amostra mantiveram sua posição.

Os coeficientes de correlação de Spearman foram: 0,86 entre IFS e IS e 0,84 entre IFA e IA, indicando que, em ambos os casos, há uma alta correlação 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. e Vedovoto, G. L.** (2008). *Avaliação dos Impactos de tecnologias da Embrapa: Metodologia de Referência*. Embrapa. Secretaria de Gestão e Estratégia. Brasília.
- Embrapa.** (2013). *Balanco Social da Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, Secretaria de Gestão Estratégica.
- Carvalho, L. C.; Di Serio, L. C. e Vasconcellos, M. A.** (2012). Competitividade das nações: análise da métrica utilizada pelo World Economic Forum. *ERA*, São Paulo, 52, 4, 421-434.
- Cunha, N. R. S., Lima, J. E., Gomes, M. F. M. e Braga, M. J.** (2008). A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 46, 2, 291-323.
- Johnston, R. A. e Wichern, D. W.** (1992). *Applied multivariate statistical analysis*. 3th ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Lira, S. A. e Neto, A. C.** (2006). Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. *Recie*, Uberlândia, 15, 1/2, 45-53.
- Marques, A. F.** (2010). Aplicação da análise multivariada na infraestrutura e no desempenho das escolas públicas do Ensino Fundamental e Médio pertencentes ao Núcleo Regional de Educação de Paranavaí. *Acta Scientiarum Technology*, 32, 1, 75-81. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/1188>> Acesso em 18.04.2013.
- Marques, D. V., Vedovoto, G. L. e Avila, A. F. D.** (2009). Avaliação de impactos econômicos, sociais e ambientais de tecnologias: a experiência da Embrapa no período 2001/2008. *Anais do XLI SBPO*, 427-438.
- Menezes, A. C. S., Moreira, T. B. S. e Souza, G. S.** (2005). Credibilidade e Crises Cambiais: uma Aplicação do Modelo de Velasco. *Revista de Economia Aplicada*, 9, 3, 1-19.
- Monteiro, R. C. e Rodrigues, G. S.** (2006). A System of Integrated Indicators for Socio-environmental assessment and Eco-certification in Agriculture – Ambitec-agro. *Journal Technology Management & Innovation*, 1, 3, 47-59.
- Moreira, T. B. S., Pinto, M. B. P. e Souza, G. S.** (2004). Uma metodologia alternativa para mensuração de pressão sobre o mercado de câmbio. *Estudos Econômicos Instituto de Pesquisas Econômicas*, 34, 1, 73-99.
- \_\_\_\_\_. (2005). Crises Cambiais dos Anos 90: Uma análise sob o enfoque custo-benefício a la Barro-Gordon. *Análise Econômica (UFRGS)*, 23, 43, 5-23.
- Rodrigues, G. S., Buschinelli, C. C. de A. e Avila, A. F. D.** (2010). An Environmental Impact Assessment System for Agricultural Research and Development II: Institutional Learning Experience at Embrapa. *Journal Technology Management & Innovation*, 5, 4, 38-56.
- 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, 909-940.
- Valente, L. C. M., Souza, E. C., Vale, S. M. L. R. e Braga, M. J.** (2012). 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, 212-220.