

# Degradação Ambiental nos Municípios do Rio Grande do Sul e Relação com os Fatores de Desenvolvimento Rural

Nelson Guilherme Machado Pinto<sup>1</sup> e  
Daniel Arruda Coronel<sup>2</sup>

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi analisar o padrão de degradação ambiental agropecuária dos municípios gaúchos e verificar como esse padrão é impactado pelos fatores de desenvolvimento rural desses mesmos municípios em dois períodos distintos de tempo. Neste sentido, foi utilizada a metodologia do Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA) como *proxy* para a degradação ambiental agropecuária e a técnica de análise fatorial para encontrar os fatores determinantes do desenvolvimento rural. A fim de estudar o impacto desses fatores na degradação ambiental agropecuária do Rio Grande do Sul, foi estimado um modelo de regressão com dados em painel por meio do método de Efeitos Fixos. Os valores de degradação ambiental agropecuária para as mesorregiões gaúchas mostraram-se elevados, e a mesorregião Centro Oriental apresentou as maiores médias de degradação. Nas relações entre o IDAA e os fatores, todos os coeficientes demonstraram significância estatística. Os fatores Condições de Moradia e Educação Rurais, Alavancagem e Corretivos da Produção Rural e Energia Elétrica Rural apresentaram relação positiva com a degradação, e os fatores Estrutura e Desempenho do Setor Agropecuário, Área de Produção Agropecuária e Econômico e Financeiro Rural apresentaram relação negativa. Isso demonstra efeitos divergentes entre os aspectos estudados.

**Palavras-chaves:** Degradação ambiental agropecuária; Rio Grande do Sul; Desenvolvimento rural.

**Abstract:** *This study aimed to analyze the pattern of agricultural environmental degradation of the cities in Rio Grande do Sul State in Brazil and verify how this pattern is affected by the factors of rural development in these same cities in two different periods of time. In this sense, the methodology used was the Agricultural Environmental Degradation Index (IDAA) as a proxy for agricultural environmental degradation and the technique of*

---

1. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: nelguimachado@hotmail.com

2. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: daniel.coronel@uol.com.br

*factor analysis was used to find the determinants of rural development. In order to study the impact of these factors on agricultural environmental degradation of Rio Grande do Sul, a regression model with panel data was estimated by the method of Fixed Effects. The values of agricultural environmental degradation for the mesoregions in Rio Grande do Sul shown to be high and the central-eastern mesoregion presented the greatest degradation averages. In the relationship between IDAA and the factors, all coefficients were statistically significant. The factors Conditions of Housing and Rural Education, Leverage and Correction of Rural Production and Rural Electricity presented a positive relationship with degradation and Structure and Performance of the Agricultural Sector, Agricultural Production Area and Economic and Financial Rural showed a negative relationship. This aspect demonstrates divergent effects between the areas studied.*

**Key-words:** *Agricultural environmental degradation; Rio Grande do Sul; Rural development.*

<http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005302005>

## 1. Introdução

As mudanças ocorridas no meio ambiente acompanham a evolução do ser humano enquanto ser social. Essas mudanças ocorrem no uso de novos meios, novas tecnologias e novas técnicas, tanto referentes à produção econômica quanto a mecanismos para a melhoria do bem-estar social. Entretanto, algumas dessas mudanças vêm provocando problemas para a sociedade. Dentre eles está a questão da qualidade ambiental, que se caracteriza como um tema de relevância e de grandes debates do século XXI.

Diante deste contexto, há uma interação mundial com o propósito de evitar uma catástrofe no planeta por meio de medidas de investimentos e gastos governamentais a fim de mobilizar a população para a preservação do meio ambiente. Essa mobilização ocorre por meio da construção de mecanismos na busca de mensurar o desenvolvimento sustentável de localidades regionais para tornar essa informação pública (SILVA, SELIG e MORALES, 2012). As propostas com a finalidade de construir indicadores ambientais começaram a surgir no final da década de 1980, para fornecer auxílio na formulação de políticas públicas, acordos internacionais e tomada de decisão (BRAGA *et al.*, 2004).

A partir desse contexto de desenvolvimento ambiental e socioeconômico, surge a questão da degradação ambiental, a qual, no decorrer dos anos, apresenta-se como um grande desafio para uma diversidade de países. Isso é decorrente do maior conhecimento que se obtém das transformações que o meio ambiente mundial vem sofrendo. Esse fenômeno pode ser entendido, conforme afirma Lemos (2001), como destruição, deterioração ou desgaste gerados ao meio ambiente a partir de atividades econômicas, aspectos populacionais e biológicos. Um conjunto de causas é apontado como responsável pelo atual processo de degradação; entretanto, no cenário brasileiro, essa questão tem grande parcela oriunda da exploração da agropecuária, que transforma o local de sua atuação.

Devido aos impactos da degradação ambiental oriundos das atividades agropecuárias, ocorrem alterações no desenvolvimento rural das localidades, pois o ambiente rural está em uma realidade mais próxima da ocorrência desse fenômeno por esse tipo de atividade. Neste cenário, trabalhos que visem a criação de indicadores e que possam embasar a tomada de decisão para medidas corretivas são de extrema relevância (BRAGA *et al.*, 2004). Tal realidade, no campo da degradação ambiental, ocasionou o surgimento

de pesquisas a fim de mensurar a problemática da degradação e procurar explicitar as suas principais causas. A mensuração desse fenômeno ocorre por meio da construção de um Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA), que surge como *proxy* para determinar a área de degradação de uma determinada região causada a partir da atividade agropecuária.

No Brasil, a degradação ambiental é uma questão que vem se agravando no decorrer dos anos. Esse fenômeno, no contexto brasileiro, tem suas causas ligadas a alguns aspectos tais como clima, pobreza, impactos do agronegócio e questões socioeconômicas (PINTO e CORONEL, 2013). Não obstante a isso, há, no Rio Grande do Sul, um paradigma, pois apesar de o estado ser um dos melhores do Brasil no que tange aos aspectos de desenvolvimento humano e econômico, os indicadores de qualidade ambiental revelam-se em níveis muito baixos, demonstrando fraca associação entre si no cenário gaúcho (ROSSATO, 2006).

Seguindo essa temática, a fim de caracterizar a degradação ambiental agropecuária no Rio Grande do Sul e contribuir para suprir a lacuna na literatura entre esse fenômeno e outros aspectos do desenvolvimento das regiões, o objetivo deste trabalho é analisar o padrão de degradação ambiental agropecuário dos municípios e mesorregiões do Rio Grande do Sul e verificar como esse padrão é impactado pelos fatores de desenvolvimento rural em dois períodos de tempo correspondentes às décadas de 2000 e 2010. Esse estudo se justifica, pois há uma escassez de estudos que tratam da questão da degradação ambiental no decorrer do tempo, que relacionam essa questão com o desenvolvimento regional das regiões estudadas e ainda trabalhos empíricos com índices de degradação no Rio Grande do Sul (PINTO e CORONEL, 2013).

O presente artigo está estruturado, além desta introdução, em três seções. Na segunda seção, são apresentados os procedimentos metodológicos aplicados. Na terceira, apresentam-se os resultados e suas discussões. Por fim, são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

## 2. Procedimentos metodológicos

### 2.1. Análise fatorial

Com o objetivo de verificar os fatores que condicionam a degradação ambiental nos municípios gaúchos, utilizou-se a técnica multivariada de análise fatorial em componentes principais. A utilização dessa técnica vai ao encontro dos estudos empíricos sobre o tema (LEMOS, 2001; SILVA e RIBEIRO, 2004; FERNANDES, CUNHA e SILVA, 2005; CUNHA *et al.*, 2008; PAIS *et al.*, 2012). Da mesma forma, para a questão do desenvolvimento rural, devido à multidimensionalidade desse tema, foi utilizada a mesma técnica de acordo com as evidências empíricas (MELO e PARRÉ, 2007; STEGE e PARRÉ, 2011).

Um modelo de análise fatorial, de acordo com Mingoti (2005), é dado, genericamente, em forma matricial por:

$$X_i = a_{ij}F_j + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que:  $X_i = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi})^t$  é um vetor transposto de variáveis aleatórias observáveis;  $a_{ij}$  é uma matriz ( $p \times m$ ) de coeficientes fixos denominados cargas fatoriais, os quais descrevem o relacionamento linear de  $X_i$  e  $F_j$ ;  $F_j = (F_{1j}, F_{2j}, \dots, F_{pj})^t$  é um vetor transposto ( $m < p$ ) de variáveis latentes que descrevem os elementos não observáveis da amostra;  $\varepsilon_i = (\varepsilon_{1i}, \varepsilon_{2i}, \dots, \varepsilon_{pi})^t$  é um vetor transposto dos erros aleatórios, correspondentes aos erros de medição e à variação de  $X_i$  que não é explicada pelos fatores comuns  $F_j$ .

Como as variáveis estudadas apresentam-se em valores diferentes, surge a necessidade de sua padronização, pois é desejável tornar os objetos de estudo comparáveis, diminuindo os efeitos de escalas diferentes. Assim, esse procedimento é dado por:

$$Z = \frac{(X_i - \bar{X})}{S}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

em que:  $Z$  = variável padronizada;  $X_i$  = variável a ser padronizada;  $\bar{X}$  = média de todas as observações;  $S$  = desvio padrão amostral.

A partir da padronização das variáveis aleatórias observáveis  $X_i$ , estas podem ser substituídas pelo vetor de variáveis padronizadas  $Z_i$ , com a finalidade de resolver o problema de diferenças de unidade de escala (MINGOTI, 2005). Assim, a Equação 1 pode ser reescrita por:

$$Z_i = a_{ij}F_j + \varepsilon_i \quad (3)$$

Nesse sentido, com a identificação dos fatores gerais presentes entre as variáveis, há a possibilidade de determinar as relações quantitativas a partir da associação daquelas que apresentam padrão semelhante e definem os fatores que agem no processo de degradação (CUNHA *et al.*, 2008). Para a construção do IDAA, é preciso estimar os escores associados a cada fator após a rotação ortogonal. No presente estudo, foi aplicado o recurso da transformação ortogonal dos fatores originais pelo método Varimax, que demonstra uma estrutura mais simples de ser interpretada por maximizar, em um único fator, as correlações de cada variável. Além disso, a extração dos fatores deu-se por meio do método de escores de Bartlett (HAIR *et al.*, 2009). Os escores fatoriais, segundo Mingoti (2005), são os valores referentes a cada observação da amostra e as situam no espaço dos fatores comuns, como pode ser observado pela Equação 4:

$$F_j = \sum_{i=1}^k b_i X_{ij}, \quad \text{com } i = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

em que:  $F_j$  são os escores fatoriais;  $b_i$  são os coeficientes da regressão que representam os pesos de ponderação de cada variável  $X_{ij}$  no fator  $F_j$ ;  $X_{ij}$  são os valores das variáveis para o  $k$ -ésimo elemento da amostra.

São obtidas comunalidades por meio das cargas fatoriais e estas podem ser interpretadas como a proporção da variabilidade das variáveis originais que são explicadas pelos fatores comuns encontrados. Além disso, deve ficar claro que essa técnica deve explicar de forma significativa a variância do conjunto original de variáveis (HAIR *et al.*, 2009).

O interesse da pesquisa em estudar a dinâmica da degradação ambiental e do desenvolvimento rural em dois períodos de tempo distintos não permite que a análise fatorial seja realizada individualmente para cada ano, pois os fatores obtidos em cada período iriam apresentar valores diferentes e inviabilizariam a verificação do comportamento da degradação ambiental e do desenvolvimento rural durante o período (SOUZA e LIMA, 2003). Para isso, na análise fatorial, foram agregadas as observações das variáveis componentes do IDAA e de desenvolvimento rural nos dois anos analisados no estudo, ou seja, em 1996 e 2006 para o IDAA, e em 2000 e 2010 para o desenvolvimento rural.

$$M = \begin{bmatrix} M1 \\ M2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

sendo que:  $M$  representa a matriz dos municípios estudados nos dois períodos com as variáveis do IDAA e do IDR;  $M1$  representa a matriz dos municípios estudados no primeiro período com as variáveis do IDAA e do IDR;  $M2$  representa a matriz dos municípios estudados no segundo período com as variáveis do IDAA e do IDR.

Por fim, com o objetivo de verificar se a análise fatorial utilizada ajusta-se aos dados do modelo, utilizaram-se os testes de Esfericidade de Bartlett e o Critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). O primeiro fornece a probabilidade estatística de que a matriz de correlação tenha correlações significantes entre pelo menos algumas das variáveis e compara a matriz de correlação populacional com a matriz identidade. Para que os dados sejam adequados a essa análise, o resultado desse teste deve ser a rejeição da hipótese nula de igualdade das matrizes. O outro teste, o de KMO, verifica a adequação dos dados a partir da criação de um índice que varia de 0 a 1, que compara as correlações simples e parciais entre as variáveis, sendo que valores superiores a 0,5 demonstram que os dados são adequados à análise fatorial (MINGOTI, 2005; HAIR *et al.*, 2009).

## 2.2. Construção do índice de degradação ambiental agropecuária

O Índice de Degradação Ambiental Agropecuária surge como uma escala para mensurar o fenômeno de degradação ambiental agropecuária em determinadas regiões. A sua construção ocorre a partir de duas etapas. Após a realização da análise fatorial, o cálculo do Índice Parcial de Degradação Ambiental Agropecuária (IPDAA) pode ser representado, conforme Lemos (2001), da seguinte forma:

$$IPDAA_{ik} = \left( \sum_{j=1}^p F_{jik}^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

em que:  $IPDAA_{ik}$  é o Índice de Degradação Parcial Ambiental Agropecuária do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $\sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^2$  é o somatório dos quadrados do  $j$ -ésimo escore fatorial do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo.

Espera-se que os escores fatoriais relativos a cada município tenham distribuição simétrica em torno da média zero. Desse modo, metade dos municípios irá apresentar valores com sinais positivos e a outra, sinal negativo. Com a finalidade de evitar que altos escores fatoriais negativos elevem a magnitude dos índices associados a estes municípios, deve-se proceder a uma transformação dos escores fatoriais a fim de trazer todos eles para o primeiro quadrante, conforme procedimento realizado antes da estimação do IPDAA:

$$F_{jik} = \frac{(F_{jik} - F_{jik}^{\min})}{(F_{jik}^{\max} - F_{jik}^{\min})} \quad (7)$$

em que:  $F_{jik}$  são os escores fatoriais do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $F_{jik}^{\max}$  é o valor máximo observado para o  $j$ -ésimo escore fatorial associado ao  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $F_{jik}^{\min}$  é o valor mínimo observado para o  $j$ -ésimo escore fatorial associado ao  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo.

Com este procedimento, todos os escores fatoriais do IPDAA estarão dentro do intervalo entre 0

e 1. É válido destacar que o IPDAA é utilizado para fazer um ranking dos municípios quanto ao nível de degradação. Ele não serve para estimação do percentual de degradação dos municípios, o qual é determinado pelo IDAA (LEMOS, 2001). Para o cálculo do IDAA deve-se, primeiramente, estimar uma regressão tendo como variável dependente o IPDAA e como variáveis explicativas os fatores encontrados na construção do IPDAA. Esse procedimento pode ser expresso por:

$$IPDAA_{ik} = \alpha + \beta_1 F_{1ik} + \beta_2 F_{2ik} + \dots + \beta_j F_{jik} + \varepsilon \quad (8)$$

em que:  $IPDAA_{ik}$  é o Índice de Degradação Parcial Agropecuária do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $\alpha$  é o parâmetro do intercepto da regressão;  $\beta_j$  é coeficiente angular da regressão do  $j$ -ésimo escore fatorial;  $F_{jik}$  são os escores fatoriais do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $\varepsilon$  é o grau de erro associado à regressão.

A construção do Índice de Degradação Ambiental Agropecuária (IDAA) associado ao  $k$ -ésimo município para um  $i$ -ésimo período de tempo pode ser definida por:

$$IDAA_{ik} = \sum_j \beta_j F_{jik}; \quad (9)$$

e  $\sum \beta_j = 1; j = \text{número de fatores encontrados}$

em que:  $IDAA_{ik}$  é o Índice de Degradação Ambiental Agropecuária do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $\beta_j$  é o peso atribuído a cada escore fatorial, a partir do valor do parâmetro encontrado na análise de regressão;  $F_{jik}$  são os escores fatoriais.

Dessa maneira, o Índice de Degradação Ambiental Agropecuária é o somatório da multiplicação dos fatores encontrados pelos seus respectivos parâmetros calculados na análise de regressão, sendo estes uma medida de peso para o fator, que formam o IDAA. A fim de classificar o grau de degradação ambiental em grupos, foi aplicada a classificação utilizada por Melo e Parré (2007) a partir do valor médio do índice, conforme Quadro 1.

A escala utilizada é relativa, tendo seus valores baseados na média. Os municípios foram classificados com Índice de Degradação Ambiental

**Quadro 1.** Classificação das escalas de índice

| Escala           | Sigla | Desvios padrão ( $\delta$ ) em torno da média |
|------------------|-------|---|
| Muitíssimo alto  | MMA   | $MMA \geq (M + 3\delta)$                      |
| Muito alto       | MA    | $(M + 2\delta) \leq MA < (M + 3\delta)$       |
| Alto             | A     | $(M + 1\delta) \leq A < (M + 2\delta)$        |
| Médio            | M     | $(Média) \leq M < (M + 1\delta)$              |
| Baixo            | B     | $(M - 1\delta) \leq B < (Média)$              |
| Muito baixo      | MB    | $(M - 2\delta) \leq MB < (M - 1\delta)$       |
| Muitíssimo baixo | MMB   | $MMB \leq (M - 2\delta)$                      |

Fonte: Elaborado a partir de Melo e Parré (2007).

Agropecuária de muitíssimo alto (MMA) a muitíssimo baixo (MMB). A interpretação do IDAA é que, quanto maior o seu valor, maior é o nível de degradação ambiental agropecuária da região analisada.

### 2.3. Dados em Painel: regressão entre IDAA e fatores de desenvolvimento rural

A tipologia de dados em painel consiste em observações de  $n$  entidades ou objetos de análise para dois ou mais períodos de tempo, combinando as dimensões de séries temporais e corte transversal. Além disso, uma das vantagens na utilização de dados em painel consiste em proporcionar mais eficiência e graus de liberdade para análise, captando aspectos que não são visualizados quando é feito outro tipo de análise (GREENE, 2008). Conforme Baltagi (2005), a equação geral de regressões em painel é expressa da seguinte forma:

$$y_{it} = \alpha + X'_{it}\beta + \mu_{it}, \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (10)$$

em que:  $i$  = denota unidades de medidas pesquisadas como indivíduos, empresas e países;  $t$  = representa o período de tempo;  $\alpha$  = efeito individual específico;  $\beta$  = representa o coeficiente angular;  $X'_{it}$  = matriz de variáveis regressoras da unidade  $i$  no período de tempo  $t$ ;  $\mu$  = representa o termo de erro aleatório.

Quanto à característica dos dados, o modelo de painel apresentado neste estudo é do tipo balanceado, ou seja, os dados estão disponíveis para todas as unidades de corte transver-

sal em todos os períodos de tempo (GREENE, 2008). Através do cálculo do IDAA e dos fatores de desenvolvimento rural, há a possibilidade de verificar como a degradação ambiental é impactada pelos fatores de desenvolvimento rural do Rio Grande do Sul. Portanto, utiliza-se o IDAA como *proxy* para degradação ambiental e os fatores de desenvolvimento rural como *proxy* para as dimensões do desenvolvimento rural. As variáveis foram transformadas na forma de logaritmo natural ( $\ln$ ) a fim de que sejam verificadas as elasticidades das relações estudadas. A relação a ser estudada pode ser verificada por:

$$\ln IDAA_{ik} = \alpha + \beta_1 \ln F1_{ik} + \beta_2 \ln F2_{ik} + \beta_3 \ln F3_{ik} + \beta_4 \ln F4_{ik} + \beta_5 \ln F5_{ik} + \beta_6 \ln F6_{ik} + \mu_{it} \quad (11)$$

em que:  $IDAA_{ik}$  é o Índice de Degradação Ambiental Agropecuária do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $F1,2,3,4,5,6_{ik}$  são os fatores de desenvolvimento rural do  $k$ -ésimo município para o  $i$ -ésimo período de tempo;  $\alpha$  é o efeito individual específico;  $\beta_{1,2,3,4,5,6}$  é o coeficiente angular de relação das variáveis da regressão;  $\mu$  é o termo de erro aleatório.

Pela análise de regressão exposta na Equação 11 é possível verificar como o IDAA é impactado pelos fatores de desenvolvimento rural no Rio Grande do Sul. A partir disso, foi possível verificar a estimação do modelo por um método de estimação em painel. Os mais utilizados são os de Efeitos Fixos (EF) e de Efeitos Aleatórios (EA). Assim, o modelo de EF considera o fato de que pode haver correlações entre o intercepto e as

variáveis explicativas em qualquer período de tempo. Já o modelo de EA possui as mesmas suposições do modelo de EF, variando apenas no tratamento do intercepto, que passa a ser tratado como variável aleatória e não mais como um parâmetro fixo (BALTAGI, 2005; GREENE, 2008). Entretanto, as utilizações desses modelos acabam tornando-se excludentes e, conforme as características dos dados, um modelo terá sua utilização mais recomendada.

Portanto, uma forma de decidir entre qual modelo utilizar é a comparação dos efeitos dos métodos, verificando se existe correlação entre os fatores não observados e as variáveis explicativas a partir da aplicação do teste de *Hausman*. Este teste tem como hipótese nula testar se a diferença entre os coeficientes dos EF e EA não é sistemática. Além disso, o método de EA acaba consumindo muitos graus de liberdade, existindo a necessidade de haver número de períodos superiores ao número de coeficientes da regressão e, quando não é possível fazer a estimação por meio desse empecilho, deve-se utilizar EF (GREENE, 2008). Como o número de variáveis independentes é maior que o período de tempo de análise, utilizou-se EF no trabalho.

A fim de verificar alguns aspectos e pressupostos dos modelos regressivos para não gerar resultados enviesados, foram realizados alguns testes econométricos. Para verificar a presença de heterocedasticidade, ou seja, se os termos de erro possuem variâncias divergentes, foi realizado o teste de *Wald*. A verificação se os erros são aleatórios ou não correlacionados, isto é, se há presença de autocorrelação, foi feita por meio do teste de *Cumby-Huizinga*.

#### 2.4. Universo de estudo, amostra, variáveis e fonte de dados

O universo de estudo ficou limitado aos municípios do Rio Grande do Sul, que possui 496 municípios; porém, neste trabalho, foram considerados 392 municípios, isto é, aproximadamente 79% do total de municípios do Rio Grande Sul. A eliminação de alguns municípios deve-se à inexis-

tência de dados referentes aos períodos pesquisados, à ausência de municípios rurais conforme classificação das entidades de pesquisa e, ainda, à necessidade de se compatibilizar as diferentes fontes de dados pesquisadas (KAGEYAMA, 2004). Além disso, com o objetivo de caracterizar melhor os fenômenos estudados para o Rio Grande do Sul, as análises foram estendidas a sete mesorregiões, conforme divisão determinada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em Centro Ocidental, Centro Oriental, Metropolitana, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste.

Para a construção do Índice de Degradação dos municípios gaúchos foram utilizadas 16 variáveis. Todas as variáveis, a fim de que sejam diminuídas as disparidades do tamanho da propriedade, foram realizadas na proporção da área aproveitável (AA) dos estabelecimentos agropecuários municipais. Procurando abranger os aspectos de modernização da agricultura, meio ambiente, uso da terra e de outras tecnologias, foram utilizadas as seguintes variáveis (LEMOS, 2001; SILVA e RIBEIRO, 2004; FERNANDES, CUNHA e SILVA, 2005; CUNHA *et al.*, 2008; PAIS *et al.*, 2012): x1 - Área das lavouras permanentes e temporárias (por hectare); x2 - Área com pastagens naturais e artificiais (por hectare); x3 - Área com matas naturais e plantadas (por hectare); x4 - Valor da produção animal (em mil reais); x5 - Valor da produção vegetal (em mil reais); x6 - Valor das despesas (em mil reais); x7 - Mão de obra total ocupada em atividades agropecuárias; x8 - Número de estabelecimentos com assistência técnica; x9 - Número de estabelecimentos com irrigação; x10 - Número de estabelecimentos com energia elétrica; x11 - Número de estabelecimentos com utilização de adubos e corretivos; x12 - Número de estabelecimentos com controle de pragas e doenças; x13 - Número de estabelecimentos que utilizam práticas de conservação do solo; x14 - Número total de tratores utilizados na atividade agropecuária; x15 - Número total de máquinas para colheita utilizadas na agropecuária; x16 - Número total de máquinas para plantio utilizadas na agropecuária.

Para o desenvolvimento rural foram utilizadas as variáveis: y1 - Valor de consumo de energia elétrica por Mhw ambiente rural; y2 - Valor de consumo de energia elétrica por número de consumidores no ambiente rural; y3 - Proporção de domicílios rurais com rede geral de abastecimento de água; y4 - Proporção de domicílios rurais com coleta de lixo; y5 - Proporção de pessoas que frequentam o ensino pré-escolar na zona rural; y6 - Proporção de pessoas que frequentam o ensino fundamental na zona rural; y7 - Proporção de pessoas que frequentam o ensino médio na zona rural; y8 - Proporção da população rural; y9 - Proporção de domicílios na zona rural; y10 - Número de pessoas ocupadas (PEA) no ambiente rural; y11 - Valor da produção de arroz; y12 - Valor da produção de soja; y13 - Valor adicionado bruto da agropecuária; y14 - Valor do rendimento médio mensal por pessoa na zona rural; y15 - Valor dos financiamentos realizados pelos estabelecimentos agropecuários; y16 - Área plantada de arroz; y17 - Área plantada de soja; y18 - Número de estabelecimentos com utilização de práticas de conservação do solo / por área total; y19 - Número de estabelecimentos com utilização de adubos e corretivos / por área total; y20 - Número de estabelecimentos com controle de pragas e doenças/ por área total. As variáveis utilizadas se embasam nas evidências empíricas do tema (KAGEYAMA, 2004; CONTERATO, SCHNEIDER e WAQUIL, 2007; MELO e PARRÉ, 2007; STEGE e PARRÉ, 2011).

Os dados foram coletados pelas bases de dados da Fundação de Economia e Estatística (FEE) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em quatro de suas pesquisas, os Censos Demográficos de 2000 e 2010 e os Censos Agropecuários de 1996 e 2006. Nas duas últimas pesquisas, foram coletadas as variáveis ambientais de desenvolvimento rural e de degradação ambiental agropecuária devido ao fato de o recenseamento quanto a esses aspectos ser realizado em períodos diferentes dos recenseamentos demográficos gerais, considerando-as como características das décadas pesquisadas, ou seja, de 2000 e 2010, respectivamente. As variáveis

de desenvolvimento rural coletadas correspondem, em sua maioria, com exceção das variáveis ambientais, portanto, aos anos de 2000 e 2010, os quais representam, respectivamente, os valores dessas variáveis nas décadas de 2000 e 2010. Os softwares utilizados foram o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 20.0, *Microsoft Excel* 2013 e *Stata* 12.0, que realizaram, respectivamente, os procedimentos de análise fatorial, o cálculo de índices e a análise de regressão.

### 3. Análise e discussão dos resultados

#### 3.1. Degradação ambiental agropecuária

Baseado nos dados de degradação ambiental agropecuária, o teste de Bartlett indicou significância para o teste ao nível de 1%, demonstrando que as variáveis não são correlacionadas, fato que, conseqüentemente, demonstra a adequabilidade para o uso da técnica de análise fatorial. O outro procedimento realizado, o teste de KMO, apresentou valor de 0,857, que é maior que o valor crítico e adequado ao emprego da análise fatorial que, conforme classificação de Hair *et al.* (2009), corresponde a 0,5. Portanto, ambos os testes demonstram a possibilidade de realização da análise fatorial.

Pela aplicação da análise fatorial com a utilização do método de componentes principais e pelo método de rotação ortogonal Varimax, verifica-se que as 16 variáveis foram sintetizadas em três fatores de degradação ambiental agropecuária, os quais foram superiores à unidade ao autovalor (raiz característica). Os três fatores, de maneira conjunta, explicam 68,66% da variância total dos dados. Segundo Hair *et al.* (2009), esse valor é satisfatório nas ciências sociais, que consideram adequados valores maiores que 60%.

Com a definição do número de fatores a serem utilizados, as cargas fatoriais e as comunalidades associadas a cada variável são apresentadas na Tabela 1. As comunalidades representam o poder de explicação dos fatores em cada variável, sendo que valores próximos ou superiores a 0,5



mostram-se satisfatórios, e as cargas fatoriais que apresentam valores superiores a 0,600 demonstram a maior contribuição de uma variável na composição do fator.

Os valores encontrados para as comunalidades revelam que todas as variáveis têm sua variabilidade captada pelos três fatores. Por meio da análise da Tabela 1, verifica-se que o Fator 1 é composto pelas variáveis x8, x9, x10, x11, x12, x13 e x14, sendo que todas as variáveis apresentaram cargas fatoriais positivas na composição do Fator 1. Pela característica das variáveis, esse fator está mais ligado aos aspectos que buscam alavancar a produção agropecuária, sendo denominado como Fator Melhoria da Produção (PAIS *et al.*, 2012).

Analizando as cargas fatoriais do Fator 2, constatou-se que esse fator é composto pelas variáveis x1, x2, x3, x15 e x16. Esse fator se relaciona de forma negativa com as variáveis x2 e x3, demonstrando a relação inversa dessas variáveis com o segundo fator de degradação, e as demais variáveis apresentam relação positiva em sua carga fatorial. Posto isso, pela característica das variáveis, o segundo fator está mais ligado às questões de exploração das áreas de lavouras, pastagens e matas e ao uso da força mecânica, podendo, pois,

ser denominado como Fator Força Mecânica nas Áreas Agrícolas (CUNHA *et al.*, 2008).

Por último, as cargas fatoriais do Fator 3 demonstram que ele tem em sua composição as variáveis x4, x5, x6 e x7. O terceiro fator tem valores positivos na composição das cargas fatoriais dessas variáveis e está relacionado a aspectos monetários e de força de trabalho, podendo ser denominado Fator Monetário e de Trabalho.

Posteriormente ao desdobramento da análise fatorial, a metodologia do estudo segue para a construção do IPDAA. Posteriormente a isso, foi realizada uma análise de regressão múltipla entre esse índice e os três fatores encontrados de degradação ambiental agropecuária (LEMOS, 2001). Os coeficientes da regressão demonstram ausência de heterocedasticidade e autocorrelação, e as elasticidades de cada fator para a composição do IDAA foram de 0,0976 para o Fator Melhoria da Produção, de 0,1042 para o Fator Força Mecânica nas Áreas Agrícolas e de 0,0872 para o Fator Monetário e de Trabalho. É por meio desses valores que há possibilidade de verificar a degradação ambiental agropecuária dos municípios gaúchos. Não obstante a isso, mesmo que a análise fatorial tenha sido realizada conjuntamente para os dois

**Tabela 1.** Cargas fatoriais das variáveis de degradação ambiental agropecuária dos municípios gaúchos após rotação ortogonal e comunalidades

| Variáveis | Cargas Fatoriais |                |               | Comunalidades |
|-----------|------------------|----------------|---------------|---------------|
|           | F1               | F2             | F3            |               |
| x1        | 0,2344           | <b>0,8880</b>  | 0,0443        | 0,8455        |
| x2        | -0,4933          | <b>-0,6630</b> | -0,2547       | 0,7478        |
| x3        | 0,0326           | <b>-0,6914</b> | -0,0588       | 0,4985        |
| x4        | 0,1560           | 0,0702         | <b>0,6707</b> | 0,5500        |
| x5        | 0,1849           | -0,0375        | <b>0,7299</b> | 0,5683        |
| x6        | 0,2456           | 0,0925         | <b>0,6922</b> | 0,5481        |
| x7        | 0,2914           | 0,0652         | <b>0,9068</b> | 0,9115        |
| x8        | <b>0,7763</b>    | 0,1659         | 0,3628        | 0,7617        |
| x9        | <b>0,6360</b>    | -0,3010        | 0,1305        | 0,5306        |
| x10       | <b>0,8989</b>    | -0,0056        | 0,3489        | 0,9297        |
| x11       | <b>0,9003</b>    | 0,0957         | 0,3403        | 0,9356        |
| x12       | <b>0,9476</b>    | 0,0784         | 0,1665        | 0,9317        |
| x13       | <b>0,6680</b>    | 0,2504         | -0,0742       | 0,5145        |
| x14       | <b>0,7001</b>    | 0,2563         | 0,2874        | 0,6385        |
| x15       | -0,0596          | <b>0,8631</b>  | 0,0272        | 0,7493        |
| X16       | 0,2316           | <b>0,6682</b>  | -0,1225       | 0,5152        |

Nota: Valores em negrito denotam a maior carga fatorial da variável em um fator.

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 2.** Maiores e menores IDAA médio dos municípios gaúchos e suas respectivas mesorregiões em 1996

| Maior ID municipal | Mesorregião     | IDAA  | Menor ID municipal      | Mesorregião   | IDAA  |
|--------------------|-----------------|-------|-------------------------|---------------|-------|
| Santa Clara do Sul | Centro Oriental | 96,02 | Itaqui                  | Sudoeste      | 71,58 |
| Tupandi            | Metropolitana   | 95,13 | Uruguaiana              | Sudoeste      | 71,52 |
| Feliz              | Nordeste        | 94,78 | Arambaré                | Metropolitana | 71,48 |
| Mato Leitão        | Centro Oriental | 94,03 | Santa Vitória do Palmar | Sudoeste      | 71,43 |
| São Pedro da Serra | Metropolitana   | 94,02 | Porto Alegre            | Metropolitana | 66,67 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

períodos, os resultados passam a ser diferenciados nos dois períodos. Assim, a Tabela 2 sintetiza os municípios com maiores e menores IDAA em 1996.

Por meio da Tabela 2, verifica-se que existem municípios com elevados índices de degradação ambiental agropecuária, acima de 90%. Dentre esses, predominam os das mesorregiões Centro Oriental e Metropolitana. No que se refere aos municípios menos degradados, nota-se que os menores índices estão todos acima de 70%, com exceção de Porto Alegre. Analisando de forma específica a degradação ambiental agropecuária nas mesorregiões gaúchas, conforme a Tabela 3, verifica-se o alto padrão de IDAA para o Rio Grande do Sul em 1996, com média de 80,50%.

As mesorregiões do Rio Grande do Sul em 1996 apresentaram alto padrão de IDAA, com valores mínimos elevados e valores máximos

beirando o valor total do índice. Esse resultado é justificado pela força da agropecuária para a economia gaúcha, constituindo-se num dos pilares das atividades produtivas gaúchas (FOCHEZATTO e GHINIS, 2012). Verifica-se que as mesorregiões Centro Oriental, Noroeste e Metropolitana apresentam os maiores IDAA's, com valores respectivamente de 84,58%, 81,24% e 80,52%. De forma contrária, a região menos degradada foi a mesorregião Sudoeste, com IDAA de 74,15%. Essa mesorregião apresenta degradação ambiental, porém, mais ligada à questão dos seus processos naturais do que às atividades agrícolas (ROVEDDER *et al.*, 2005). Essa região possui menor IDAA pois o índice capta a degradação com viés para a atividade agropecuária.

Para 2006, a Tabela 4 sintetiza os municípios com maiores e menores IDAA.

**Tabela 3.** IDAA mínimo, máximo e médio por mesorregiões do Rio Grande do Sul em 1996

| Mesorregião      | IDAA mínimo (%) | IDAA máximo (%) | IDAA médio (%) |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Centro Ocidental | 71,76           | 91,29           | 76,64          |
| Centro Oriental  | 73,10           | 96,02           | 84,58          |
| Metropolitana    | 66,67           | 95,13           | 80,52          |
| Nordeste         | 72,02           | 94,78           | 79,80          |
| Noroeste         | 71,67           | 92,49           | 81,24          |
| Sudeste          | 71,70           | 92,96           | 76,73          |
| Sudoeste         | 71,43           | 87,35           | 74,15          |
| Total            | 66,67           | 96,02           | 80,50          |

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 4.** Maiores e menores IDAA's médios dos municípios gaúchos e suas respectivas mesorregiões em 2006

| Maior ID municipal | Mesorregião     | IDAA   | Menor ID municipal   | Mesorregião   | IDAA  |
|--------------------|-----------------|--------|----------------------|---------------|-------|
| Mato Leitão        | Centro Oriental | 100,00 | Palmares do Sul      | Metropolitana | 72,83 |
| Lajeado            | Centro Oriental | 96,01  | Arambaré             | Metropolitana | 72,74 |
| Ametista do Sul    | Noroeste        | 94,82  | Coxilha              | Noroeste      | 72,06 |
| Feliz              | Nordeste        | 94,17  | Santa Bárbara do Sul | Noroeste      | 71,95 |
| Sagrada Família    | Noroeste        | 93,00  | Santa Cruz do Sul    | Noroeste      | 71,25 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por meio da Tabela 4, verifica-se que o alto padrão de degradação ambiental agropecuária é mantido e ocorre o caso em que um município encontrou um padrão de IDAA de 100%, caso de Mato Leitão. Com relação às regiões dos municípios mais degradados, verifica-se predominância das mesorregiões Centro Oriental e Noroeste. Analisando os municípios de menor IDAA, verifica-se que todos apresentam padrão de degradação ambiental agropecuária maior que 70%. Referente à degradação ambiental agropecuária para as mesorregiões gaúchas, conforme Tabela 5, verifica-se o alto padrão de degradação ambiental agropecuário médio para o Rio Grande do Sul, em 2006, que foi de 80,52%.

Analisando a média do estado de forma comparativa ao período anterior, nota-se que ela pouco mudou. Com relação às mesorregiões, verifica-se que as médias também pouco mudaram em relação ao período anterior, como as mesorregiões Centro Oriental, Noroeste e Nordeste, e não mais Metropolitana, com maiores IDAA's, com valores de 85,16%, 80,78% e 80,40%, respec-

tivamente. Novamente, a região de menor IDAA (76,38%) foi a Sudoeste.

A degradação ambiental é um fenômeno dinâmico que pode ter mudanças tanto positivas como negativas no decorrer do tempo. Dessa forma, a Tabela 6 evidencia a variação ocorrida na degradação ambiental agropecuária nos dois períodos estudados. De forma geral, verifica-se que a degradação ambiental agropecuária no Rio Grande do Sul como um todo apresentou baixo grau de variabilidade, de apenas 0,02%.

Quando se analisam o IDAA das mesorregiões, verifica-se que a maioria apresentou aumento na variação média, com destaque para as mesorregiões Sudeste e Sudoeste. As únicas regiões que apresentaram diminuição no padrão de degradação ambiental agropecuária, isto é, variação média negativa, foram a Metropolitana e a Noroeste.

Não obstante, a análise de médias pode mascarar o padrão de degradação ambiental agropecuária de certos municípios em determinadas regiões, precisando, portanto, ser expandida a análise. Assim, foi aplicada a divisão em escalas

**Tabela 5.** IDAA mínimo, máximo e médio por mesorregiões do Rio Grande do Sul em 2006

| Mesorregião      | IDAA mínimo (%) | IDAA máximo (%) | IDAA médio (%) |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Centro Ocidental | 73,28           | 85,27           | 77,37          |
| Centro Oriental  | 73,24           | 100,00          | 85,16          |
| Metropolitana    | 72,74           | 90,53           | 79,82          |
| Nordeste         | 73,19           | 94,17           | 80,40          |
| Noroeste         | 71,25           | 94,82           | 80,78          |
| Sudeste          | 74,31           | 87,43           | 78,52          |
| Sudoeste         | 73,09           | 89,72           | 76,38          |
| Total            | 71,25           | 100,00          | 80,52          |

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 6.** Variação do IDAA por mesorregiões do Rio Grande do Sul entre 1996 e 2006

| Mesorregião      | Variação mínima (%) | Variação máxima (%) | Variação média (%) |
|------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Centro Ocidental | -6,02               | 3,70                | 0,73               |
| Centro Oriental  | -7,69               | 7,93                | 0,58               |
| Metropolitana    | -15,50              | 11,91               | -0,70              |
| Nordeste         | -4,02               | 5,33                | 0,60               |
| Noroeste         | -8,14               | 6,42                | -0,46              |
| Sudeste          | -7,38               | 6,32                | 1,80               |
| Sudoeste         | 0,06                | 4,85                | 2,22               |
| Total            | -15,50              | 11,91               | 0,02               |

Fonte: Elaborado pelos autores.

a fim de que sejam especificadas maiores diferenças entre esses índices nas regiões (MELO e PARRÉ, 2007).

Em 1996, o IDAA médio foi de 80,50%, e o desvio padrão, de 5,95%, gerando os intervalos de limites inferiores e superiores de determinação do grau de degradação ambiental agropecuária, conforme verificado na Tabela 7.

Por meio da Tabela 7, verifica-se que, pela escala utilizada, em 1996, não foram encontrados municípios com escala muitíssimo alta (MMA). Referente aos valores gerais abaixo ou acima da escala média (M), observou-se que 54,08% estão abaixo dessa escala, 19,90%, acima desse valor médio, e os demais possuem escalas médias de IDAA. A distribuição dos graus da escala de degradação ambiental agropecuária para as mesorregiões gaúchas, em 1996, pode ser visualizada na Tabela 8.

As mesorregiões Sudoeste e Centro Ocidental são as que apresentaram o maior percentual de municípios com graus de degradação abaixo da média. Dessa maneira, 88,24% dos municípios do Sudoeste e 84% do Centro Ocidental do Rio Grande do Sul apresentaram escalas de degrada-

ção ambiental agropecuária muito baixa (MB) ou baixa (B). É válido destacar também que estas são as duas únicas mesorregiões que não apresentam nenhum município enquadrado na escala muito alto (MA). Essas mesorregiões, principalmente a Sudoeste, têm pouca ligação de degradação com atividades agropecuárias, pois, nessas regiões, a degradação ocorre mais por meio de processos naturais (ROVEDDER *et al.*, 2005).

As mesorregiões Sudeste, Nordeste e Metropolitana também possuem mais municípios com escalas abaixo da média; porém, há municípios com escalas MA e A. Essas regiões possuem, respectivamente, 88,21%, 60,98% e 52,17% dos municípios com escalas de degradação ambiental agropecuária MB ou B. A mesorregião Metropolitana foi a única que apresentou município enquadrado na escala de grau muitíssimo baixa (MMB), o que pode ocorrer devido ao elevado grau de urbanização e industrialização dessa região. Já a mesorregião Noroeste também apresentou maior percentual de municípios com escalas abaixo do grau médio, isto é, 49,16% dos municípios. Contudo, essa também foi a mesorre-

**Tabela 7.** Distribuição das escalas do IDAA nos municípios gaúchos em 1996

| Escala | Limite Inferior (%) | Limite Superior (%) | Número de Municípios | Número de Municípios (%) |
|--------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| MMB    | 0                   | 68,60               | 1                    | 0,26                     |
| MB     | 68,60               | 74,55               | 86                   | 21,94                    |
| B      | 74,55               | 80,50               | 125                  | 31,89                    |
| M      | 80,50               | 86,45               | 102                  | 26,02                    |
| A      | 86,45               | 92,40               | 67                   | 17,09                    |
| MA     | 92,40               | 98,35               | 11                   | 2,81                     |

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 8.** Distribuição das escalas do IDAA nos municípios gaúchos em 1996

| Mesorregião      | Escalas |    |    |    |    |    |
|------------------|---------|----|----|----|----|----|
|                  | MMB     | MB | B  | M  | A  | MA |
| Centro Ocidental | 0       | 11 | 10 | 3  | 1  | 0  |
| Centro Oriental  | 0       | 5  | 6  | 11 | 16 | 4  |
| Metropolitana    | 1       | 13 | 22 | 20 | 10 | 3  |
| Nordeste         | 0       | 8  | 17 | 12 | 3  | 1  |
| Noroeste         | 0       | 24 | 64 | 54 | 35 | 2  |
| Sudeste          | 0       | 11 | 5  | 1  | 1  | 1  |
| Sudoeste         | 0       | 14 | 1  | 1  | 1  | 0  |

Fonte: Elaborado pelos autores.

gião que apresentou maior quantidade de municípios com valores de escala acima do grau médio, representando 20,67% dos municípios.

A parte Centro Oriental do estado apresentou 47,62% dos municípios com padrão de degradação com escalas de grau alto (A) e muito alto (MA). De forma comparativa, apenas 26,19% dos municípios dessa mesorregião apresentaram valores na escala B e MB. Corroborando o resultado da Tabela 5, em que foram analisados os IDAA's médios de cada mesorregião, pode-se inferir que a parte Centro Oriental do Rio Grande do Sul foi a que apresentou graus mais elevados de degradação ambiental agropecuária em 1996. Essa mesorregião possui forte relação com a agropecuária, com produtos ligados ao fumo, à soja, ao arroz e ao milho, cultivo de atividades que impactam na degradação desses municípios, ocasionando o maior padrão de degradação no período.

Inferindo-se a mesma análise para 2006, verifica-se que o IDAA médio foi de 80,52%, e o desvio padrão, de 5,27%, gerando intervalos de limites inferiores e superiores de grau de degradação ambiental agropecuária, conforme Tabela 9.

A partir da Tabela 9, verifica-se que não foram encontrados municípios com escala muitíssimo baixa (MMB). Referente aos valores gerais abaixo ou acima da escala média (M), verifica-se que 52,30% estão abaixo da escala média, 17,10%, acima, e os demais possuem escalas médias de IDAA. Referente à distribuição dos graus da escala de degradação ambiental agropecuária para as mesorregiões do Rio Grande do Sul, para 2006, notam-se semelhanças com relação à análise de 1996, conforme Tabela 10.

As mesorregiões Centro Ocidental, Metropolitana, Nordeste, Sudeste e Sudoeste apresentaram municípios com maiores proporções em graus de escala MB e B em 2006. Essas regiões possuem, respectivamente, 84%, 56,52%, 51,22%, 68,42% e 88,24% dos municípios nessa situação. A mesorregião Noroeste novamente apresenta maior percentual de municípios nas escalas MB e B; porém, é classificada como a segunda mesorregião com municípios de graus de escala acima do grau médio (18,99%). Apesar disso, todas as mesorregiões devem ter uma preocupação dos municípios com maiores graus de

**Tabela 9.** Distribuição das escalas do IDAA nos municípios gaúchos em 2006

| Escala | Limite Inferior (%) | Limite Superior (%) | Número de Municípios | Número de Municípios (%) |
|--------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| MB     | 69,98               | 75,25               | 78                   | 19,90                    |
| B      | 75,25               | 80,52               | 127                  | 32,40                    |
| M      | 80,52               | 85,79               | 120                  | 30,61                    |
| A      | 85,79               | 91,06               | 54                   | 13,78                    |
| MA     | 91,06               | 96,33               | 12                   | 3,06                     |
| MMA    | 96,33               | 100                 | 1                    | 0,26                     |

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 10.** Distribuição das escalas do IDAA nos municípios gaúchos em 2006

| Mesorregião      | Escalas |    |    |    |    |     |
|------------------|---------|----|----|----|----|-----|
|                  | MB      | B  | M  | A  | MA | MMA |
| Centro Ocidental | 5       | 16 | 4  | 0  | 0  | 0   |
| Centro Oriental  | 4       | 4  | 14 | 16 | 3  | 1   |
| Metropolitana    | 14      | 25 | 25 | 5  | 0  | 0   |
| Nordeste         | 8       | 13 | 15 | 4  | 1  | 0   |
| Noroeste         | 31      | 57 | 57 | 26 | 8  | 0   |
| Sudeste          | 5       | 8  | 4  | 2  | 0  | 0   |
| Sudoeste         | 11      | 4  | 1  | 1  | 0  | 0   |

Fonte: Elaborado pelos autores.

degradação ambiental agropecuária, visto que esta se comporta de maneira heterogênea para o estado, de forma semelhante às evidências empíricas brasileiras (PINTO e CORONEL, 2013).

Corroborando o resultado de degradação ambiental agropecuária de 1996, tanto pelas médias do IDAA por mesorregião como pelos graus de escala e também pelas médias do IDAA por mesorregião, em 2006, a mesorregião Centro Oriental também apresentou elevado percentual de municípios com escalas acima do grau médio. Assim, essa mesorregião apresentou novamente 47,62% dos seus municípios com padrão de degradação nos graus alto (A), muito alto (MA) e muitíssimo alto (MMA). É válido destacar que essa mesorregião foi a única que apresentou, nos dois períodos, município com grau de degradação ambiental agropecuária MMA. A partir disso, demonstra-se que essa mesorregião é a que apresenta situação mais preocupante com relação à degradação ambiental agropecuária.

### 3.2. Fatores de desenvolvimento rural

Após o levantamento das 20 variáveis de desenvolvimento rural, foram realizados os testes de Bartlett e KMO para verificar a adequabilidade da realização da análise fatorial. Os resultados demonstram significância para o teste de Bartlett ao nível de 1% e KMO de 0,833, demonstrando a possibilidade de realização da análise fatorial. A aplicação da análise fatorial com a utilização do método de componentes principais e pelo método de rotação ortogonal Varimax, nas 20 variáveis de desenvolvimento rural, encontrou seis fatores, que se mostraram superiores à unidade ao autovalor (raiz característica) e, em conjunto, explicam 82,14% da variância total dos dados, ou seja, maior que o valor de 60%, o que, segundo Hair *et al.* (2009), é satisfatório nas ciências sociais.

Definidos os fatores a serem utilizados, as cargas fatoriais e as comunalidades associadas à cada variável de desenvolvimento rural são apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11.** Cargas fatoriais das variáveis de desenvolvimento rural dos municípios gaúchos após rotação ortogonal e comunalidades

| Variáveis | Cargas Fatoriais |               |               |               |               |               | Comunalidades |
|-----------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|           | F1               | F2            | F3            | F4            | F5            | F6            |               |
| y1        | -0,2050          | 0,0469        | 0,1749        | 0,0062        | <b>0,6642</b> | 0,0191        | 0,5164        |
| y2        | -0,0795          | 0,1488        | 0,0227        | -0,0431       | <b>0,9148</b> | -0,0625       | 0,8716        |
| y3        | <b>0,7622</b>    | -0,0823       | 0,1975        | -0,0329       | -0,1375       | 0,0349        | 0,6480        |
| y4        | <b>0,6329</b>    | -0,0734       | 0,1330        | -0,2413       | 0,0428        | 0,1593        | 0,5091        |
| y5        | <b>0,7286</b>    | -0,0764       | 0,2166        | -0,0423       | -0,1129       | 0,0985        | 0,6078        |
| y6        | <b>0,9020</b>    | -0,1479       | 0,0078        | -0,0673       | -0,0002       | -0,1737       | 0,8703        |
| y7        | <b>0,8433</b>    | -0,1478       | 0,0738        | -0,0166       | -0,1120       | 0,0010        | 0,7512        |
| y8        | <b>0,9456</b>    | -0,1687       | 0,0731        | -0,0642       | -0,0332       | -0,1303       | 0,9502        |
| y9        | <b>0,9472</b>    | -0,1599       | 0,0635        | -0,0678       | -0,0313       | -0,1390       | 0,9516        |
| y10       | -0,1095          | <b>0,9214</b> | 0,0374        | 0,0235        | 0,1165        | 0,0100        | 0,8766        |
| y11       | -0,1242          | <b>0,9293</b> | -0,2248       | -0,0759       | 0,0651        | -0,0302       | 0,9405        |
| y12       | -0,1196          | <b>0,9646</b> | -0,1196       | 0,0026        | -0,0143       | 0,0379        | 0,9606        |
| y13       | -0,2204          | <b>0,6569</b> | -0,1868       | 0,3982        | 0,4854        | 0,0298        | 0,9100        |
| y14       | -0,0696          | 0,0139        | -0,1052       | 0,0528        | -0,0455       | <b>0,9535</b> | 0,9302        |
| y15       | -0,1705          | 0,1125        | -0,1747       | 0,4594        | 0,2219        | <b>0,6953</b> | 0,8160        |
| y16       | -0,1278          | -0,0697       | -0,2337       | <b>0,9255</b> | 0,0718        | -0,0307       | 0,9385        |
| y17       | -0,1124          | 0,0367        | -0,1204       | <b>0,9648</b> | -0,0048       | 0,0126        | 0,9595        |
| y18       | 0,0813           | -0,0539       | <b>0,7761</b> | 0,0514        | -0,0300       | -0,1531       | 0,6388        |
| y19       | 0,2212           | -0,1534       | <b>0,8705</b> | -0,2275       | 0,0528        | 0,0635        | 0,8888        |
| y20       | 0,2531           | -0,1505       | <b>0,8690</b> | -0,2213       | 0,0326        | -0,0118       | 0,8921        |

Nota: Valores em negrito denotam a maior carga fatorial da variável em um fator.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores encontrados para as comunalidades das variáveis de desenvolvimento rural revelam que todas estas têm sua variabilidade captada pelos seis fatores. Por meio da análise da Tabela 11, verifica-se que o Fator 1 é composto pelas variáveis y3, y4, y5, y6, y7, y8 e y9. Todas essas variáveis apresentam carga fatorial positiva na composição do fator e abordam características quanto às condições de habitação e ao grau de estudos da população rural (MELO e PARRÉ, 2007). Portanto, este fator pode ser denominado Fator Condições de Moradia e Educação Rurais.

O segundo fator possui, na sua composição, as variáveis y10, y11, y12 e y13. As variáveis apresentam carga fatorial positiva na composição do fator e abordam aspectos quanto ao mercado de trabalho e ao valor da produção da agropecuária gaúcha como um todo, bem como da soja e do arroz, seus principais produtos (MELO e PARRÉ, 2007). Dessa forma, o Fator 2 pode ser denominado como Fator Estrutura e Desempenho do Setor Agropecuário.

O Fator 3 é composto pelas variáveis y18, y19 e y20. As três variáveis têm carga fatorial positiva na composição do fator e suas características correspondem a questões que procuram melhorar e corrigir aspectos da produção agropecuária. Assim, esse fator pode ser nominado como Fator Alavancagem e Corretivos da Produção Rural. O quarto fator tem, na sua composição, as variáveis y16 e y17. Essas variáveis possuem carga positiva na composição do fator e correspondem às áreas para produção dos principais produtos do agronegócio gaúcho: a soja e o arroz. Portanto, o Fator 4 pode ser denominado como Fator Área de Produção da Agropecuária.

O Fator 5 é composto pelas variáveis y1 e y2. Tais variáveis possuem carga positiva para formação do fator e estão ligadas a questões estruturais e de consumo da energia elétrica no ambiente rural (MELO e PARRÉ, 2007; STEGE e PARRÉ, 2011). A partir disso, esse fator pode ser denominado Fator Energia Elétrica Rural. Por fim, o sexto e último fator de composição da análise fatorial é formado pelas variáveis y14 e y15. As variá-

veis têm relação positiva na formação do fator e características ligadas a aspectos econômicos e financeiros tanto dos habitantes em geral como dos produtos rurais. Portanto, esse fator pode ser denominado Fator Econômico e Financeiro Rural.

### 3.3. Efeitos dos fatores de desenvolvimento rural no IDAA

Calculado o IDAA dos municípios e encontrados os fatores de desenvolvimento rural dos municípios do Rio Grande do Sul, deve-se, em um primeiro momento, antes de realizar as interpretações da análise de regressão, verificar os testes a fim de atender aos pressupostos do modelo regressivo utilizado. Os testes de *Wald* e *Cumby-Huizinga* indicaram ausência de heterocedasticidade e autocorrelação, respectivamente. Devido aos poucos graus de liberdade associados à equação de estudo e devido ao fato de o número de períodos de análise ser menor que o número de coeficientes de regressão, a estimação da análise de regressão foi realizada pelo método de Efeitos Fixos. São verificados, conforme Tabela 12, efeitos divergentes entre os fatores de desenvolvimento no padrão de degradação ambiental agropecuária do Rio Grande do Sul.

Verificando os seis fatores encontrados pela análise fatorial de desenvolvimento rural, nota-se que todos mostraram significância estatística, isto é, apresentaram significância menor que 0,05 com relação à variável dependente, permitindo, portanto, que suas elasticidades fossem analisadas. Dessa forma, verifica-se que alguns desses fatores permitem o aumento da degradação ambiental agropecuária, isto é, possuem relação positiva e, para esses casos, quanto mais desenvolvido é o Rio Grande do Sul para o fator rural, maior será o padrão de degradação encontrado. Essa relação é verificada para os Fatores 1, 3 e 5. Já a relação inversa, isto é, a relação negativa, evidencia que quanto mais o estado for desenvolvido no fator rural, menor será o padrão de degradação ambiental agropecuária, conforme os Fatores 2, 4 e 6.

**Tabela 12.** Resultados da estimação da regressão do modelo de estudo pelo método de Efeitos Fixos com variável dependente lnIDAA

| Variável | Coefficiente | Estatística t | Significância |
|----------|--------------|---------------|---------------|
| const    | 4,4262       | 461,0773      | <0,00001***   |
| lnF1     | 0,0426       | 18,0765       | <0,00001***   |
| lnF2     | -0,0173      | -6,9136       | <0,00001***   |
| lnF3     | 0,0879       | 53,4203       | <0,00001***   |
| lnF4     | -0,0432      | -19,0365      | <0,00001***   |
| lnF5     | 0,0095       | 2,5304        | 0,01159**     |
| lnF6     | -0,0237      | -8,7724       | <0,00001***   |

R<sup>2</sup> ajustado = 0,8103

Nota: Valores com dois asteriscos (\*\*) denotam coeficientes significativos ao nível de 5% e com três asteriscos (\*\*\*) denotam coeficientes significativos ao nível de 1%.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando as elasticidades das variáveis independentes com a dependente, verifica-se que, para o Fator Condições de Moradia e Educação Rurais (F1), quando há um aumento de 1% nesse fator, ocorre elevação de 4,26% de degradação ambiental agropecuária. Essa relação corrobora o paradigma vivido pelo Rio Grande do Sul pois, apesar de ser um dos estados com melhores aspectos de desenvolvimento econômico e humano, os seus indicadores ambientais apresentam-se em níveis muito baixos (ROSSATO, 2006).

Para o Fator Estrutura e Desempenho do Setor Agropecuário (F2), um aumento de 1% ocasiona diminuição de 1,73% no IDAA. A diminuição dessa questão representa um aspecto positivo para o Rio Grande do Sul e confirma o pressuposto agroecológico de preocupação com meios produtivos do agronegócio, proporcionando reflexos positivos na sociedade (WEZEL *et al.*, 2009; SOUZA, 2011). Referente ao Fator Alavancagem e Corretivos da Produção Rural (F3), este provocou aumento de 8,79% na degradação ambiental agropecuária quando aumentado em 1%. Esse valor mostra-se como o de maior efeito absoluto sobre o IDAA. As preocupações em auferir ganhos por meio de métodos corretivos de produção acabam agravando a degradação ambiental agropecuária para o caso do Rio Grande do Sul (GLIESSMAN, 2005; PAIS *et al.*, 2012)

O Fator Área de Produção da Agropecuária (F4), quando aumentado em 1%, ocasiona dimi-

nuição de 4,32% no IDAA. Esse resultado está ligado principalmente à preocupação com a área de produção da agropecuária que ocasiona a diminuição da degradação ambiental agropecuária no caso gaúcho. Com relação ao Fator Energia Elétrica Rural (F5), este ocasiona aumento de 0,95% na degradação ambiental agropecuária quando há elevação de 1% para esse fator. A relação pode ser conjecturada pelo uso irracional dos recursos de infraestrutura ligados à energia elétrica no ambiente rural gaúcho, com poucas fontes de energias limpas e alternativas.

Por fim, o Fator Econômico e Financeiro Rural (F6) evidencia que, quando há um aumento de 1%, é provocada uma redução de 2,37% no IDAA. Esse resultado corrobora a relação apontada pela literatura de efeito contrário entre o aspecto econômico e a degradação. Isso demonstra que, quanto mais desenvolvida for a região no âmbito econômico, menores serão os seus índices de degradação (REED e SHENG, 1997; MOTTA, 1997; LEMOS, 2001). A partir disso, como os fatores possuem relações distintas, isto é, alguns apresentam impactos positivos enquanto outros apresentam aspectos negativos, não é relevante verificar como se dá a relação com o desenvolvimento rural como um todo, visto que a análise da média dos fatores em um índice encobriria as particularidades e os diferentes impactos de cada um deles sobre a degradação ambiental agropecuária.



#### 4. Considerações finais

A degradação ambiental é uma preocupação de âmbito mundial. Apesar de uma variedade de aspectos estarem ligados a essa situação, no cenário brasileiro, há uma grande contribuição da agropecuária para o desdobramento desse problema. Os desafios inerentes a esse problema de grandes impactos, não apenas nas questões ambientais da sociedade mas também em suas outras dimensões, mostram-se como verdadeiros dilemas para a solução ou alcance de alternativas, e apenas por meio da mensuração da degradação é que as áreas críticas podem ser apontadas e políticas públicas podem ser formuladas.

A partir da análise do IDAA, verifica-se que existem grandes disparidades entre os padrões de degradação agropecuários do estado, caracterizando a situação de heterogeneidade do fenômeno. Dentre as sete mesorregiões do Rio Grande do Sul, pelas análises realizadas nos dois anos, a que apresentou resultados mais preocupantes foi a Centro Oriental. Um fato que justifica esse elevado índice é a alta exploração das terras dessa região para o cultivo de algumas culturas da agropecuária, tais como o fumo, a soja, o arroz e o milho.

A fim de verificar os diferentes impactos dos aspectos de desenvolvimento rural na degradação ambiental agropecuária, foram encontrados seis fatores que impactaram de forma divergente a questão estudada. Dessa forma, definidas as regiões do estado mais degradadas pelas atividades agropecuárias, é pertinente que sejam elaboradas estratégias e políticas, bem como sejam desenvolvidas atitudes a fim de diminuir o padrão de degradação ambiental agropecuária do Rio Grande do Sul baseado nos resultados encontrados. Tais resultados mostram-se como uma importante fonte de consulta e de diagnóstico para empresas e organizações nos territórios estudados.

Mesmo o estado do Rio Grande do Sul sendo grande dependente da atividade agropecuária, deve haver, por parte dos gestores públicos e da sociedade, medidas para serem solucio-

nadas questões relativas ao desenvolvimento rural. Essas medidas devem estar ligadas principalmente aos fatores que apresentaram um aumento da degradação ambiental agropecuária e que concernem às condições de moradia e educação, aos corretivos e às estratégias de aumentar a produção sem preocupação ambiental e à energia elétrica.

O presente estudo ficou limitado a um curto período de tempo, e inferências para os próximos anos não puderam ser levantadas. Além disso, houve um viés da degradação para a prática agropecuária. Outro ponto a ser destacado é que, por se tratarem de *proxies*, os resultados gerados procuram ser uma aproximação da realidade desses fenômenos. Ademais, o estudo também fica limitado à amostra e ao espaço físico utilizado. Portanto, para trabalhos futuros, sugere-se estudar a degradação em períodos mais longos de tempo, ampliar mais o índice de degradação, captando aspectos urbanos, de atividades não rurais do campo e de fenômenos naturais e verificar se as relações encontradas entre os fatores de desenvolvimento rural e a degradação ambiental agropecuária são corroboradas ou refutadas em outras realidades.

#### 5. Referências

- BALTAGI, B. H. *Econometric Analysis of Panel Data*. 3. ed. England: John Wiley & Sons, 2005.
- BRAGA, T. M., FREITAS, A. P. G. de, DUARTE, G. de S. e CAREPA-SOUZA, J. Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 11-33, 2004.
- CONTERATO, M. A., SCHENEIDER, S. e WAQUIL, P. D. Desenvolvimento rural no Estado do Rio Grande do Sul: uma análise multidimensional de suas desigualdades regionais. *REDES*, Santa Cruz do Sul, v. 12, n. 2, p. 163-195, 2007.
- CUNHA, N. R. da S., LIMA, J. E. de, GOMES, M. F. de M. e BRAGA, M. J. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba, SP, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

- FERNANDES, E. A., CUNHA, N. R. da S. e SILVA, R. G. da. Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 179-198, 2005.
- FINCO, M. V. A., WAQUIL, P. D. e MATTOS, E. J. de. Evidências da relação entre pobreza e degradação ambiental no espaço rural do Rio Grande do Sul. *Ensaio FEE*, Porto Alegre, v. 25, p. 249-275, 2004.
- FOCHEZATTO, A. e GHINIS, C. P. Estrutura Produtiva Agropecuária e Desempenho Econômico Regional: o caso do Rio Grande do Sul, 1996-2008. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba, v. 50, n. 4, p. 743-762, 2012.
- GLIESSMAN, S. R. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.
- GREENE, W. H. *Econometric analysis*. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. *Censo Agropecuário de 1996*. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/1995\\_1996/43/](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/1995_1996/43/)>. Acesso em: 24 set. 2013.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. *Censo Agropecuário de 2006*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?o=2&i=P>>. Acesso em: 24 set. 2013.
- KAGEYAMA, A. Desenvolvimento rural: conceito e medida. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 21, n. 3, p. 379-408, 2004.
- HAIR, J. F. JR., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E. e TATHAM, R. L. *Análise Multivariada de Dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- LEMOS, J. J. S. Níveis de Degradação no Nordeste Brasileiro. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 32, n. 3, p. 406-429, 2001.
- MELO, C. O. de. e PARRÉ, J. L. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Rio de Janeiro, v. 45, n. 2, p. 329-365, 2007.
- MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de Estatística Multivariada – uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- MOTTA, R. S. da. Desafios Ambientais da Economia Brasileira. *Texto para Discussão Nº 509*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1997.
- PAIS, P. S. M., SILVA, F. de F. e FERREIRA, D. M. Degradação Ambiental no Estado da Bahia: uma aplicação da análise multivariada. *Revista Geonordeste*, São Cristóvão, a. XXIII, n. 1, p. 1-21, 2012.
- PINTO, N. G. M. e CORONEL, D. A. A Degradação Ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Málaga, n. 188, p. 1-8, 2013.
- REED, D. e SHENG, F. Macroeconomic Policies, Poverty and the Environment. Macroeconomics for Sustainable Development Programme Office – World Wide Fund for Nature (WWF), Washington, 1997.
- ROSSATO, M. V. *Qualidade ambiental e qualidade de vida nos municípios do Estado do Rio Grande do Sul*, 2006. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.
- ROVEDDER, A. P., ELTZ, F. L.F., GIRARDI-DEIRO, A. M. e DEBLE, L. Análise da Composição Florística do Campo Nativo Afetado pelo Fenômeno da Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 501-593, 2005.
- SILVA, A. W. L. da, SELIG, P. M. e MORALES, A. B. T. Indicadores de Sustentabilidade em Processos de Avaliação Ambiental Estratégica. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. XV, n. 3, p. 75-96, 2012.
- SILVA, R. G. da e RIBEIRO, C. G. Análise da Degradação Ambiental na Amazônia Ocidental: um Estudo de Caso dos Municípios do Acre. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 91-110, 2004.
- SOUZA, L. R. de S. A modernização da agricultura brasileira, agricultura familiar, agroecologia e pluriatividade: diferentes óticas de entendimento e de construção do espaço rural brasileiro. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, Bogotá, v. 8, n. 67, p. 231-249, 2011.
- SOUZA, P. M. de. e LIMA, J. E. de. Intensidade e Dinâmica da Modernização Agrícola no Brasil e nas Unidades da Federação. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Rio de Janeiro, v. 57, n. 4, p. 795-824, 2003.
- STEGE, A. L. e PARRE, J. L. Desenvolvimento rural nas microrregiões do Brasil: um estudo multidimensional. *Teoria e Evidência Econômica*, Passo Fundo, v. 17, p. 160-193, 2011.
- WEZEL, A., BELLON, S., DORÉ, T., FRANCIS, C., VALLOD, D. e DAVID, C. Agroecology as a science, a movement and a practice: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, n. 29, p. 503-515, 2009.