



Indutores de impacto ambiental nos municípios do Rio Grande do Sul: aplicação de um modelo global de probabilidade

Ely José de Mattos

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Brasil.

elymattos@gmail.com

Eduardo Ernesto Filippi

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil.

edu_292000@yahoo.com.br

Fecha de recepción: 01/07/2013. Fecha de aceptación: 05/05/2015

Resumo

Estimar indicadores de sustentabilidade para municípios é uma tarefa complicada quando se considera a ausência de dados para esta unidade de análise. Uma alternativa é a avaliação de quais são os principais indutores socioeconômicos e demográficos de impactos ambientais que podem auxiliar a estimar os impactos nos municípios. Este artigo aplica um modelo de avaliação de impacto estimado para o globo, identificando os principais indutores. A variável de impacto considerada foi a Pegada Ecológica, sendo que os indutores utilizados são variáveis de cunho econômico e demográfico. Como estes indutores podem ser identificados nos municípios, foi possível estimar as probabilidades de impacto para os municípios do estado do Rio Grande do Sul a partir dos coeficientes do modelo global. Os resultados deste exercício apontam uma regionalização da pressão ambiental no estado e ilustram uma metodologia que pode ser utilizada na ausência de dados ambientais puros.

Palavras-chave: Indutor de impacto ambiental, modelo logístico ordenado, pegada ecológica.

Abstract

It is a complex task to estimate sustainability indicators for municipalities when the absence of suitable data is taken into consideration. An alternative is to evaluate the drivers of environmental impact that can help to estimate impacts through an indirect approach. This paper applies a global probability model of drivers of environmental impact to identify such variables. The variable of environmental impact considered is the Ecological Footprint and the drivers are economics and demographics. Considering that the drivers can be obtained for each municipality it is possible to estimate the probability of impact for the municipalities of the state of Rio Grande do Sul using the coefficients of the global model. The results of this exercise point out to a regionalization of the pressure on the environment in the State. The findings also illustrate a methodology that could be applied in the absence of pure environmental data.

Key-words: Driver of environmental impact, ordered logistic model, ecological footprint.

JEL Codes: O13, Q001.



1. Introdução

A publicação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística “Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2010” tem como objetivo “... disponibilizar um sistema de informações para acompanhamento da sustentabilidade do padrão de desenvolvimento do País” (IBGE 2010:9). Este trabalho apresenta uma compilação de indicadores que são baseados nas recomendações de 2001 da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (*Commission on Sustainable Development*, CSD), das Nações Unidas.

As orientações da CSD são oriundas, preliminarmente, da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (Rio 92) através da Agenda 21. Em 1996 é publicado pela Comissão o “*Indicators of sustainable development: framework and methodologies*” (United Nations 1996), onde consta o primeiro conjunto de indicadores básicos a serem monitorados. Após revisões, a recomendação atualmente dá conta de 57 indicadores divididos em quatro dimensões: social, econômica, ambiental e institucional¹.

No entanto, apesar de distribuídos em quatro blocos, não há conexões entre eles: trata-se unicamente de um conjunto de indicadores individuais. Não há na proposta da CSD, nem tampouco no documento do IBGE, uma indicação de compilação destas informações em um ou mais indicadores agregados (índices) de resumo.

Nas últimas duas décadas observou-se uma evolução consistente na literatura sobre indicadores de sustentabilidade (Veiga 2010; Siche 2007). O texto de Veiga (2010) faz uma revisão cronológica dos principais movimentos teóricos e empíricos na construção de indicadores de sustentabilidade. Neste trabalho, o autor retrata a complexidade do assunto e enfatiza a evolução verificada nas três últimas

décadas, destacando que ainda há muito que ser aperfeiçoado².

Inserida no emaranhado da literatura sobre o tema, a Pegada Ecológica (World Wild Foundation International 2010) se consolidou de forma particular e passou a ser calculada periodicamente para a maior parte dos países do globo – ao passo que muitos exercícios de estimação de indicadores ficaram limitados a uma única tentativa, sem experimentar seguimento. A Pegada Ecológica é um indicador de pressão ambiental, que é traduzida pela área necessária para sustentar o padrão de consumo da população. Este indicador é calculado pela *Global Footprint Network* anualmente sendo amplamente divulgado através do *Living Planet Report* (World Wild Foundation International 2010).

Em função da estrutura de dados necessária para a sua estimação, a Pegada Ecológica (PE) é calculada apenas para países. Existem alguns estudos que tentam adaptar a metodologia e estimar a Pegada Ecológica para áreas sub-nacionais, como municípios e estados, por exemplo: Lenzen e Murray (2001), Wilson e Anielski (2005), Lewan e Simmons (2001). No entanto, estes estudos enfrentam um problema comum: a ausência ou falta de homogeneidade de dados básicos.

Dada esta dificuldade de estimar diretamente os indicadores para municípios, uma alternativa que surge é a estimação indireta, através dos indutores de impacto ambiental. No caso apresentado neste trabalho, significa: i) identificar as variáveis socioeconômicas que influenciam significativamente o tamanho do impacto ambiental (Pegada Ecológica) dos países; ii) tendo identificado os indutores socioeconômicos, coletá-los para os municípios e estimar estatisticamente o tamanho do potencial impacto ambiental.

Assim, este artigo questiona se é factível identificar indutores de impacto ambiental a partir de dados de países e posteriormente traduzir os resultados para a realidade dos municípios gaúchos. O objetivo central é

¹ A lista de recomendações pode ser consultada em: http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isdms2001/table_4.htm (acessado em 29/03/2012).

² Veja também Van Bellen (2006) para uma discussão robusta sobre índices de sustentabilidade.



avaliar os potenciais de pressão ambiental para os municípios a partir de um modelo estimado para o globo.

Para atender ao problema de pesquisa e atingir os objetivos, este artigo está dividido em quatro seções, além desta introdução e da conclusão. A primeira delas apresenta a teoria que embasa os modelos de estimação de indutores para o globo. A seção seguinte apresenta o modelo estimado e faz a adaptação deste à realidade municipal. Por fim, a terceira seção analisa os principais resultados e traça alguns comparativos.

2. Modelos de indutores de impacto ambiental: fundamentos teóricos básicos

Os pesquisadores Barry Commoner, Paul Ehrlich e John Holdren são os precursores de um pensamento mais quantitativamente sistematizado sobre os impactos ambientais agregados oriundos de atividades do homem (Ehrlich e Holdren 1971; Commoner 1972). E isto está traduzido através da proposta do modelo analítico IPAT, que surgiu neste contexto.

A proposta é de uma identidade contábil que sustenta que o impacto ambiental (I) é igual ao produto da população (P), afluência (A) – medida de produção/renda per capita – e tecnologia (T) – medida em poluição por produção:

$$I = P \cdot A \cdot T$$

O modelo IPAT sofre de algumas limitações importantes. Uma destas limitações é explicitada no trabalho de Thomas Dietz e Eugene Rosa “*Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology*” (Dietz e Rosa 1994). Eles apontam que em aplicações típicas, os dados para o IPAT são coletados para população e afluência, sendo a equação resolvida para tecnologia: $T = I/(P \cdot A)$.

Assim, o IPAT é efetivamente útil enquanto um modelo contábil, para gerar medidas de intensidade de impacto ambiental e eficiência

produtiva. Porém, não é suficientemente adequado para análises relativas, onde a intenção é testar hipóteses sobre os indutores humanos de impacto ambiental.

O principal avanço, então, na reformulação do IPAT é a proposição de Dietz e Rosa (1994, 1997) de um modelo chamado STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*). O modelo é definido da seguinte maneira:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i$$

Deve-se notar que na equação acima temos o índice “ i ”, que aponta que as quantidades variam entre as observações utilizadas. Os coeficientes (a , b , c e d) são os termos que precisam ser estimados, sendo que ainda restará o termo de erro (e). E todos estes termos são, por consequência, testados estatisticamente para sua significância.

Considerando que aqueles coeficientes são constantes, a estimação é facilitada através das variáveis em logaritmos naturais. O termo referente à tecnologia (T) é incorporado ao erro, fazendo com que o modelo como descrito acima se aproxime da formulação original do IPAT, onde T é determinado endogenamente³.

Outra interessante característica deste modelo é a possibilidade de expansão dos indutores considerados. Apesar de a tecnologia não ser geralmente incorporada em função da ausência de uma variável adequada, outras variáveis que representem outras dimensões, como instituições, geografia, aspectos demográficos, podem ser adicionadas ao modelo.

Porém, os modelos STIRPAT não dão conta de condicionar a magnitude dos impactos ao nível do indutor. Ou seja, por exemplo, observando uma população grande ou pequena, o impacto (elasticidade) é definido como sendo o mesmo. Mas, na realidade, sabemos por definição que não é isso que

³Apesar de que a natureza da exclusão de T de forma explícita do modelo seja diferente.



ocorre. O patamar dos indutores efetivamente influencia a magnitude do impacto.

O ideal seria fazer com que os coeficientes da equação do modelo STIRPAT fossem estimados como funções e não que tivessem valores fixos (Dietz e Rosa 1997). No entanto, não foi encontrado na literatura nenhuma referência com este expediente operacional – até porque, a operacionalização seria matematicamente complexa. Levando esse fato em consideração, é proposto por nós em Mattos e Filippi (2014) um modelo de concepção não-linear que tem o processo de estimação e a interpretação clara e consolidada na literatura: *Modelo Logístico Ordenado de Probabilidade* (MLO).

O MLO trata-se de um modelo de probabilidade. Isso implica dizer que são estimadas probabilidades de impacto e não diretamente o impacto (como no caso do IPAT) nem a elasticidade do impacto (caso do STIRPAT). Mais especificamente, são estimadas probabilidades de categorias de impacto – daí a lógica do modelo ser “ordenado”. O que são estimadas são as probabilidades de se observar impactos maiores ou menores, do ponto de vista ordinal (e não cardinal). Serão conservadas, porém, as possibilidades de análise absoluta e relativa sobre o desempenho das unidades de análise.

Conforme detalhado em Mattos e Filippi (2014), o MLO apresenta duas características que são comuns aos modelos STIRPAT: i) avaliação de significância de variáveis explicativas; e, ii) avaliação de sensibilidade (tanto absoluta quanto relativa). Ele acrescenta, no entanto, a possibilidade de analisar os impactos ambientais, condicionados pelos indutores, de forma não linear, onde os patamares das variáveis fazem diferença.

Um passo adicional na evolução destes modelos de avaliação de impacto ambiental, e que merece destaque especial neste trabalho, é a diversificação da variável dependente. Ao passo que a maioria dos estudos desenvolvidos, desde a formulação do IPAT até o surgimento e popularização do STIRPAT, utiliza principalmente a emissão de

poluentes como variável de impacto ambiental, alguns estudos já questionaram estas variáveis e ofereceram alternativas de variáveis mais complexas (York et al. 2003; Dietz et al. 2007). Neste trabalho será utilizada a Pegada Ecológica (PE).

Conforme Van Bellen (2006), a PE “... fundamenta-se basicamente no conceito de capacidade de carga. Para efeito de cálculo, a capacidade de carga de um sistema corresponde à máxima população que pode ser suportada indefinidamente no sistema...” (p. 103). Este indicador parte do pressuposto que a terra, enquanto elemento base do meio ambiente, oferece três funções fundamentais para a sobrevivência humana: local de convivência, fonte de recursos e fossa de resíduos (Wackernagel e Rees 1996). Os ecossistemas devem, portanto, ser avaliados do ponto de vista de sua capacidade de sustentar (indefinidamente) a população que dele sobrevive.

De acordo com o manual metodológico de cálculo da PE, “*Calculation Methodology for the National Footprint Accounts*”⁴, edição 2010 (Ewing et al. 2010), este indicador procura quantificar a demanda e a oferta de produtos e serviços dos ecossistemas em um escopo estático e descritivo. A demanda que é exercida pela população em um determinado ano é a própria PE. A oferta, por outro lado, é a medida da capacidade bioprodutiva disponível naquele mesmo ano, chamada biocapacidade (BC). Calculados a PE e a BC, é possível descobrir o saldo líquido, i.e., se a sociedade está demandando mais do que os ecossistemas podem oferecer (saldo negativo) ou não (saldo positivo) – em termos de capacidade de carga, o saldo líquido estaria informando o transbordamento ou não desta capacidade.

A PE mede, mais especificamente, a biocapacidade exigida em cinco diferentes usos da terra: i) área de pastagens; ii) área de florestas; (iii) áreas de pesca (mares, rios, lagos, etc.); iv) área de plantações (grãos, fibras, etc.); v) área construída; e, vi) área necessária para seqüestro de carbono

⁴ Neste manual é possível encontrar em detalhes o processo de cálculo da Pegada Ecológica.



(florestas necessárias para captar o carbono emitido nas atividades). Estas áreas oferecem os diferentes produtos consumidos pela sociedade e que definem o padrão de vida das pessoas e a consequente pressão sobre o meio ambiente.

Os cálculos são feitos através do mapeamento de cada produto consumido, individualmente, verificando-se o nível de exigência de área para sua produção em cada país considerado⁵. As áreas necessárias são expressas através de uma medida padrão, que é o hectare global (Gha, do inglês *global hectare*). Esta medida é, portanto, a própria Pegada Ecológica. Cabe ressaltar, aqui, que estas são as informações necessárias e que não estão disponíveis para municípios no Brasil, impossibilitando o seu cálculo direto e inspirando a metodologia indireta sugerida neste trabalho.

Devido ao fato de ser um indicador mais compreensivo do ponto de vista de pressão ambiental, ele se adapta melhor a função de proxy para impacto ambiental. Quanto maior a PE, maior o impacto ambiental gerado por aquela sociedade. Esta é a razão para sua utilização neste trabalho.

3. O modelo estimado e a aplicação aos municípios gaúchos

O Modelo Logístico Ordenado proposto não estima diretamente o impacto, conforme já mencionado, mas sim a probabilidade de um nível de impacto definido de forma ordinal (Mattos e Filippi 2014). A variável de impacto ambiental é a Pegada Ecológica (PE), que foi escolhida por causa da sua consolidação enquanto capaz de medir de forma mais agregada o impacto do padrão de consumo da sociedade sobre o meio ambiente. No contexto do MLO, as estimativas avaliam as probabilidades de serem verificados diferentes patamares de PE per capita, dados os indutores testados.

O modelo foi estimado considerando como unidade de análise os países. A variável

⁵ A última edição conta com o cálculo para mais de 200 países.

dependente foi a PE dividida, através dos seus quartis, em quatro categorias ordinais de impacto ambiental: baixo ($PE \leq 1,42$ Gha per capita), médio baixo ($1,42 \text{ Gha} < PE \leq 2,27$ Gha per capita), médio alto ($2,27 \text{ Gha} < PE \leq 4,39$ Gha per capita) e alto nível de PE ($PE > 4,39$ Gha per capita). Os indutores testados foram de duas categorias distintas: populacionais e econômicos. Para aqueles populacionais: população total; percentual de população urbana; percentual de população não-dependente, i.e., que estão entre 15 e 64 anos; e, densidade demográfica. Indutores econômicos: PIB per capita; percentual do PIB que não é oriundo de serviço; e, área agrícola. Esta seleção de indutores foi baseada na literatura, especialmente aquela já citada neste artigo e que desenvolveu os trabalhos preliminares sobre o assunto.

O modelo estimado e que será utilizado neste artigo está apresentado na Tabela 1. Todos os detalhes estatísticos da estimação podem ser obtidos em Mattos e Filippi (2014), onde se apresenta um estudo aprofundado sobre projeções não-lineares de cenários globais de impacto ambiental⁶. Na tabela, constam os coeficientes dos indutores de impacto ambiental que se mostraram significativos e que são a base para a estimativa das probabilidades⁷. O modelo se mostrou estatisticamente válido, respeitando os testes necessários para sua utilização: especificação, teste de Brant e backtest⁸.

Com relação às variáveis explicativas (os indutores de impacto ambiental), todas que compõem o modelo apresentado na tabela podem ser coletadas para municípios (Quadro 1), guardando exatamente as mesmas unidades de medida e significados que os dados

⁶ Neste trabalho está apresentada apenas uma aplicação do modelo. Todo o processo de construção, análise e projeção de cenários pertence à outra publicação.

⁷ As probabilidades são estimadas através de equações como aquelas (4), (5) e (6) apresentadas na seção anterior.

⁸ Os aspectos estatísticos mais minuciosos não poderão ser explorados neste texto em função do espaço disponível e porque estão em Mattos e Filippi (2014).



Tabela 1. Modelo Logístico Ordenado estimado para o globo
Variável dependente: PE ordinal (4 categorias)*

	Coefficientes	Erro-padrão	z	p-value
Percentual de população urbana**	0,02551	0,01246	2,05	0,041
Percentual da população entre 15-64 anos**	0,09062	0,04202	2,16	0,031
Densidade demográfica**	-0,00436	0,00209	-2,09	0,037
PIB per capita**	0,00037	0,00008	4,81	0,000
Percentual de área agrícola**	0,02450	0,01032	2,37	0,018
<i>Cut1 (ponto de corte 1)</i>	7,426287			
<i>Cut2 (ponto de corte 2)</i>	9,676155			
<i>Cut3 (ponto de corte 3)</i>	13,09389			

Fonte: resultados calculados pelos autores em Mattos e Filippi (2014).

* Dados de 2007.

** Dados brutos obtidos no repositório de dados do Banco Mundial. Dados de 2007.

utilizados para os países. Tanto os dados de população quanto de área agrícola tem defasagem de periodicidade em função das suas fontes. Assim, como o modelo original utiliza dados de 2007, optou-se por utilizar os dados mais recentes, de 2010, ao invés de os mais antigos, que são de 2000 ou 1995 (no caso do Censo Agropecuário).

A principal suposição presente neste texto, e que permitirá a adaptação dos resultados para os municípios, é a seguinte: *se o modelo estimado para o globo se mostrou válido e apresenta indutores significativos, estes mesmos indutores, com seus respectivos potenciais de impacto, também serão válidos para unidades geográficas específicas.*

A literatura que trata de indutores de impacto ambiental (Dietz e Rosa 1994; Chertow 2001; York et al. 2003, entre outros), apesar de não citar explicitamente a adaptação de modelos globais para regiões específicas, converge para a conclusão de que – guardadas as proporções – o sentido e magnitude dos impactos seguem uma regularidade. Desta forma, se foi identificado que, por exemplo, PIB é um indutor significativo de alto impacto na média mundial, é razoável supor que para os municípios gaúchos também o será.

No entanto, as idiosincrasias regionais não podem ser desprezadas. Os resultados precisam ser interpretados com a parcimônia exigida em um exercício de adaptação metodológica desta natureza. Para

exemplificar: o município de Porto Alegre apresenta uma densidade demográfica de mais de 2.800 habitantes/Km², que é mais que o dobro do número do país mais denso da amostra utilizada para o modelo original (Bangladesh, com 1.105 habitantes/Km²); desse modo, a importância da densidade demográfica enquanto indutor de impacto ambiental sobre Porto Alegre precisa ser observado levando-se este fato em consideração sob pena de supervalorizar ou subvalorizar o resultado.

Tendo estes aspectos em consideração, é possível proceder à aplicação do modelo para a realidade municipal: de posse dos dados, será possível estimar a probabilidade de o município pertencer a cada uma das quatro classes de PE. Este resultado é que será o foco da análise do presente trabalho: dados os patamares dos indutores, teremos como observar quais os potenciais níveis de impacto ambiental a serem encontrados para cada município do Rio Grande do Sul. Mais do que observar cada unidade *individualmente, será importante comparar os municípios gaúchos através de mapeamento.*

No caso do MLO deste trabalho, o resultado é apresentado em forma de quatro probabilidades, quais sejam, as probabilidades de pertencer a cada uma das categorias de PE. Para fazer uma análise mais resumida e objetiva, e não ter de observar conjuntamente quatro números para



Quadro 1. Variáveis explicativas (indutores de impacto ambiental)
Municípios do Rio Grande do Sul

Variável	Descrição	Fonte
Percentual de população urbana	Participação da população urbana na população total no ano de 2010	Censo Demográfico IBGE 2010
Percentual da população entre 15-64 anos	Participação da população na faixa etária de 15-64 anos na população total no ano de 2010	Censo Demográfico IBGE 2010
Densidade demográfica	Número de pessoas por Km ² no ano de 2010	Censo Demográfico IBGE 2010
PIB per capita	PIB per capita em 2009 convertido para US\$ do período (taxa de 1,7404 R\$/US\$)	IBGE/FEE
Percentual de área agrícola	Percentual da área total do município destinada aos seguintes usos em 2006: lavouras permanentes, lavouras temporárias, forrageiras, flores viveiros de mudas, estufas de plantas e casas de vegetação, pastagens naturais, pastagens plantadas degradadas, pastagens plantadas em boas condições, florestas plantadas com essências florestais, área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastoreio por animais.*	Censo Agropecuário IBGE 2005-2006

* Esta definição das áreas respeita a definição utilizada para os países.
Fonte: resultados calculados pelos autores

cada município optou-se por criar um Índice de Probabilidade de Impacto Ambiental (IPIA).

O IPIA, em termos matemáticos, se aproxima de uma média ponderada da probabilidade do município pertencer a cada uma das categorias de PE. Os pesos atribuídos de acordo com a categoria de impacto: baixo = 1, médio baixo = 2, médio alto = 3 e alto = 4. Desta forma, o indicador ficará, obrigatoriamente, no intervalo [1 – 4] – assumirá valor 1 se o município tiver probabilidade de 100% de estar na categoria de baixa PE e valor 4 se a probabilidade de estar na categoria de alta PE for de 100%. Dito de outra forma, quanto mais próximo de 4, maior a probabilidade de o município registrar altos níveis de PE.

Em termos algébricos:

$$IPIA_i = 1*Prob(Baixa_P)_i + 2*Prob(Média-baixa_PE)_i + 3*Prob(Média-alta_PE)_i + 4*Prob(Alta_PE)_i$$

Apurado o IPIA para cada um dos municípios i , serão feitas duas análises. A primeira delas de cunho descritivo e espacial, para identificar as potenciais particularidades regionais. A segunda irá comparar estes resultados com aspectos socioeconômicos, que serão traduzidos através do Índice de Desenvolvimento Socioeconômico do Rio Grande do Sul (IDESE), calculado pela Fundação de Economia e Estatística do Estado (FEE).

3. Resultados

A Tabela 2 traz as estatísticas descritivas de todos os indutores e também do IPIA



Tabela 2. Estatísticas descritivas – indutores e IPIA
Municípios do Rio Grande do Sul

	População urbana (%)	População entre 15-64 anos (%)	Densidade demográfica (hab/Km2)
Média	55,5	68,9	87,1
Mediana	53,0	68,7	23,3
Desvio-padrão	25,1	2,2	317,2
Máximo	100,0	74,9	2.932,0
Mínimo	5,5	58,9	1,6
Coeficiente de Variação*	45,3%	3,2%	364,3%
	PIB per capita (US\$)	Área agrícola (%)	IPIA
Média	9.517,9	58,2	3,1521
Mediana	8.219,9	61,9	3,1419
Desvio-padrão	6.544,3	16,8	0,4939
Máximo	121.790,8	109,7	4,0000
Mínimo	3.190,8	0,0	1,0001
Coeficiente de Variação*	68,8%	28,8%	15,7%

* Coeficiente de Variação = Desvio-padrão/média.
Fonte: resultados calculados pelos autores.

estimado para os municípios do Rio Grande do Sul. Os dados mostram que na média, os municípios gaúchos têm maior percentual de população urbana que rural (275 municípios contam com mais da metade da sua população vivendo em áreas urbanas), têm a média da população não-dependente em 68,9%, e a densidade demográfica média é de 87,1 habitantes/Km2 (considere que a do Brasil é de 22,4 habitantes/Km2).

O nível de urbanização e de população em faixa etária ativa apresenta variabilidade relativamente pequena (com a primeira sendo mais heterogênea que a segunda). No entanto, a densidade demográfica apresenta um desvio-padrão que é quase quatro vezes a média, indicando que existe uma heterogeneidade alta entre os municípios gaúchos neste quesito.

Com relação ao PIB per capita⁹, a média é de US\$ 9.517,9 para o ano de 2009, sendo que

⁹ PIB per capita em US\$ para manter a adaptabilidade ao modelo original, que foi estimado utilizando dados dos países.

o desvio-padrão é de US\$ 6.544,3 (o que resulta em um coeficiente de variação de 68,8%). Isto indica uma variabilidade considerável – o que já poderia se esperar quando falamos em um conjunto de 496 municípios com diferentes portes e estruturas produtivas.

Já a área média destinada à produção agrícola nos municípios gaúchos é 58,2%, com um desvio-padrão de 16,8% (Coeficiente de variação de 28,8%). Trata-se, assim, de uma variável mais homogênea, perdendo apenas para população de não-dependentes que tem uma regularidade maior.

Em suma, os indutores de impacto ambiental avaliados para os municípios gaúchos retratam, em termos médios, os seguintes aspectos: i) população urbana predominando ligeiramente sobre a rural; ii) parcela da população ativa bastante homogênea entre os municípios; iii) densidade demográfica altamente heterogênea, com alguns municípios com números bastante superiores à grande massa; iv) PIB per capita tem razoável variabilidade entre os municípios,



sugerindo diferentes patamares de produção; e, v) área agrícola ao longo dos municípios não mostra oscilação acentuada, apesar de alguns municípios terem área agrícolas extremamente reduzidas.

De acordo com Alonso (2003), estas e outras variáveis que definem a estrutura econômica do Rio Grande do Sul mostram importantes disparidades regionais. Segundo o autor, a *região sul* do estado é altamente especializada em poucos produtos (basicamente arroz e bovinocultura), sendo que o desempenho desta região é altamente atrelado à agropecuária.

A *região norte* também tem boa dependência agrícola, mas sua estrutura é diferente daquela da região sul, pois é formada basicamente por propriedade de pequeno e médio porte que são dedicadas a atividades mais diversificadas (soja, milho, carnes suínas e de aves, laticínios e fumo). Já a *região nordeste* é bastante diferente daquelas duas. Esta região apresenta uma dinâmica econômica calcada mais na indústria e serviços que na agropecuária, sendo que vem concentrando durante o século XX parte considerável dos investimentos no estado.

Schneider e Fialho (2000) também exploram a regionalização do RS focando no processo de consolidação da agricultura e as disparidades geradas. Paiva, et al. (2010), da mesma forma, apresentam um estudo de regionalização com base no Censo Agropecuário. Apesar de diferenças de abordagem e nuances, os trabalhos convergem para uma regionalização que se assimila àquela apresentada por Alonso (2003)¹⁰.

Considerando os indutores definidos, o IPIA médio estimado para os municípios do estado foi de 3,1521, ou seja, um número alto quando se recorda que o limite máximo é 4,0000 (probabilidade de 100% de registrar

PE alta)¹¹. Considerando um desvio-padrão baixo, de 0,4939, é factível considerar que grande parte dos municípios gaúchos está ao redor deste número (elevado). A Figura 1 mostra a distribuição dos municípios ao longo das faixas do IPIA.

Apenas onze municípios apresentaram IPIA menor do que 2,00, ou seja, com probabilidade impacto ambiental concentrada nas categorias mais baixas de PE. A grande maioria dos municípios (319 ou 64,3%) mostrou índices acima de 3,01 – que indicam probabilidades maiores de registrar PE média-alta e alta. Em situação intermediária foram identificados 166 municípios (33,4%).

A Tabela 3 traz os dez municípios com os menores índices. Os seis primeiros colocados apresentaram índices muito próximos a 1,0000, indicando que a probabilidade está concentrada na categoria de baixa PE. No entanto, estes são municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre, que sabidamente exercem uma pressão de consumo capaz de ser traduzida em Pegadas mais acentuadas em função de suas características econômicas e demográficas. No entanto, não foi isso que se observou através do IPIA.

A justificativa para estes resultados repousa na variável densidade demográfica. O modelo original, para o globo, retornou um coeficiente negativo para esta variável, o que significa dizer que quanto maior a densidade, menor a probabilidade de PE altas. Este resultado é devido ao comportamento mais suave e distribuído da variável entre os países.

Para estes seis municípios, a densidade demográfica é especialmente alta – mais de vinte vezes a média. Considerando que o impacto sobre a probabilidade é negativo, temos um resultado final que é forçado para baixo. Neste sentido, o resultado para estes municípios precisa ser observado com cautela, levando-se esta observação em consideração.

¹⁰ Cabe mencionar a série de livros “Três Décadas de Economia Gaúcha”, editado pela Fundação de Economia e Estatística. Estes trabalhos condensam parte dos que os pesquisadores daquela instituição vem desenvolvendo para caracterizar o estados em termos socioeconômicos (Conceição et al. 2010).

¹¹ É importante atentar para fato de que o patamar da probabilidade estimada não é o mais importante, mas sim o aspecto relativo na comparação dos municípios.



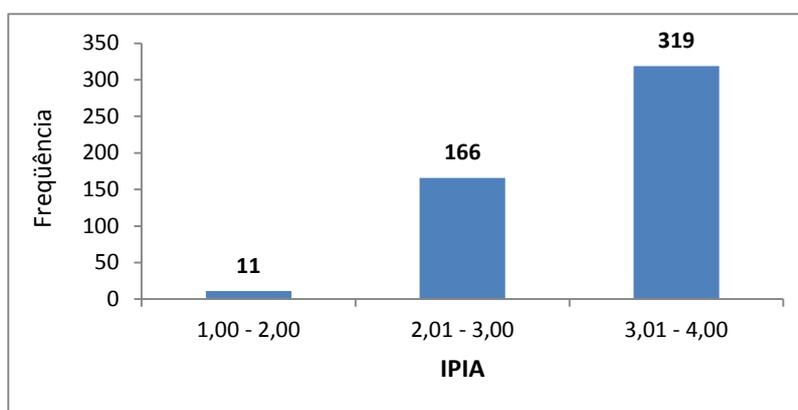
Os demais municípios que não fazem parte da região metropolitana (Itati, Caraá e Benjamin Constant do Sul) são os que registram IPIA baixo em função, principalmente, de uma estrutura produtiva leve, baixo PIB per capita e baixo percentual de população urbana.

Na outra ponta da distribuição, temos os dez municípios com IPIA bastante próximos a 4,0000 (Tabela 4). O município com maior probabilidade de PE alta é Triunfo, que mantém este resultado em função do seu PIB per capita bastante elevado (mais de 13 vezes a média) em função do polo

petroquímico. Os demais municípios mostram índices elevados também impulsionados pelo nível de produção (PIB per capita), porém com elementos adicionais.

Estes municípios apresentam uma série de combinações que resultam em IPIA alto. Para Marau, Santa Cruz do Sul e Nova Araçá, por exemplo, um elevado grau de urbanização, alto percentual de pessoas não-dependentes e alto percentual de área destinada à agricultura foram determinantes – todas estas, características de municípios vocacionados ao agronegócio (concentrado ou não).

Figura 1. Número de municípios por faixa do IPIA



Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3. Os 10 municípios gaúchos com menor IPIA

Municípios	População urbana (%)	População entre 15-64 anos (%)	Densidade demográfica (hab/Km ²)	PIB per capita (US\$)	Área agrícola (%)	IPIA
1 – Alvorada	100,0	68,1	2.763,3	3.190,8	15,3	1,0001
2 – Esteio	99,9	71,1	2.932,0	15.764,8	0,0	1,0048
3 - Porto Alegre	100,0	70,8	2.836,7	15.118,6	14,2	1,0079
4 - Sapucaia do Sul	99,6	70,5	2.233,1	8.038,4	14,7	1,0080
5 – Cachoeirinha	100,0	71,0	2.702,5	15.688,7	7,1	1,0150
6 - São Leopoldo	99,6	70,9	2.092,5	8.964,0	14,6	1,0211
7 – Itati	8,2	66,4	12,8	3.658,0	18,9	1,7943
8 – Caraá	14,5	65,8	24,8	3.283,4	34,7	1,9087
9 - Novo Hamburgo	98,3	71,2	1.068,6	10.030,3	20,0	1,9823
10 - Benjamin C. Sul	14,8	61,9	17,4	4.452,9	38,5	1,9872

Fonte: resultados calculados pelo autor.



Tabela 4. Os 10 municípios gaúchos com maior IPIA

Municípios	População urbana (%)	População entre 15-64 anos (%)	Densidade demográfica (hab/Km ²)	PIB per capita (US\$)	Área agrícola (%)	IPIA
487 - Marau	86,8	72,8	56,0	17.607,6	63,4	3,9694
488 - Santa Cruz do Sul	88,9	72,0	161,4	20.547,5	45,4	3,9738
489 - Muitos Capões	32,5	65,7	2,5	24.064,4	60,7	3,9815
490 - Nova Bassano	62,4	70,9	41,8	22.654,3	57,4	3,9883
491 - Fazenda Vilanova	54,4	68,1	43,6	26.198,4	51,3	3,9941
492 - Nova Araçá	72,0	73,5	53,8	25.078,8	61,1	3,9971
493 - Aratiba	50,5	70,6	19,2	28.286,1	56,6	3,9981
494 - Pinhal da Serra	22,4	65,9	4,9	36.440,6	39,6	3,9996
495 - Garruchos	32,7	68,6	4,0	35.734,7	73,3	3,9999
496 - Triunfo	65,4	68,0	31,3	121.790,8	53,0	4,0000

Fonte: resultados calculados pelo autor.

Já Muitos Capões, Pinhal da Serra e Garruchos, são municípios onde aquelas variáveis apontadas acima poderiam indicar probabilidade de PE mais suaves, mas a magnitude da produção comprometeu o resultado. Ou seja, os municípios têm uma estrutura populacional e de território positiva, mas o seu nível de atividade econômica depõem a favor de maior pressão ambiental.

Em geral, para o caso do RS, municípios com alto PIB per capita trazem consigo também características como maior urbanização e maior população em idade ativa – o que não é uma novidade sob a perspectiva econômica. Alguns municípios que reverteram o IPIA alto, nesta situação, são aqueles com densidade demográfica bastante alta, como Canoas e Esteio – porém, como já mencionado, este caso trata-se de um aspecto complexo do modelo que precisa ser tomado com cuidado.

Para uma análise regional dos resultados do IPIA, observe o mapa na Figura 2. Os municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre estão pintados em amarelo claro. Estes, conforme já discutido, não devem ser foco da análise aqui desenvolvida. Então,

observemos primeiramente os municípios que estão pintados em marrom escuro (IPIA entre 3,48 e 4,00¹²), pois algumas concentrações destas unidades merecem atenção.

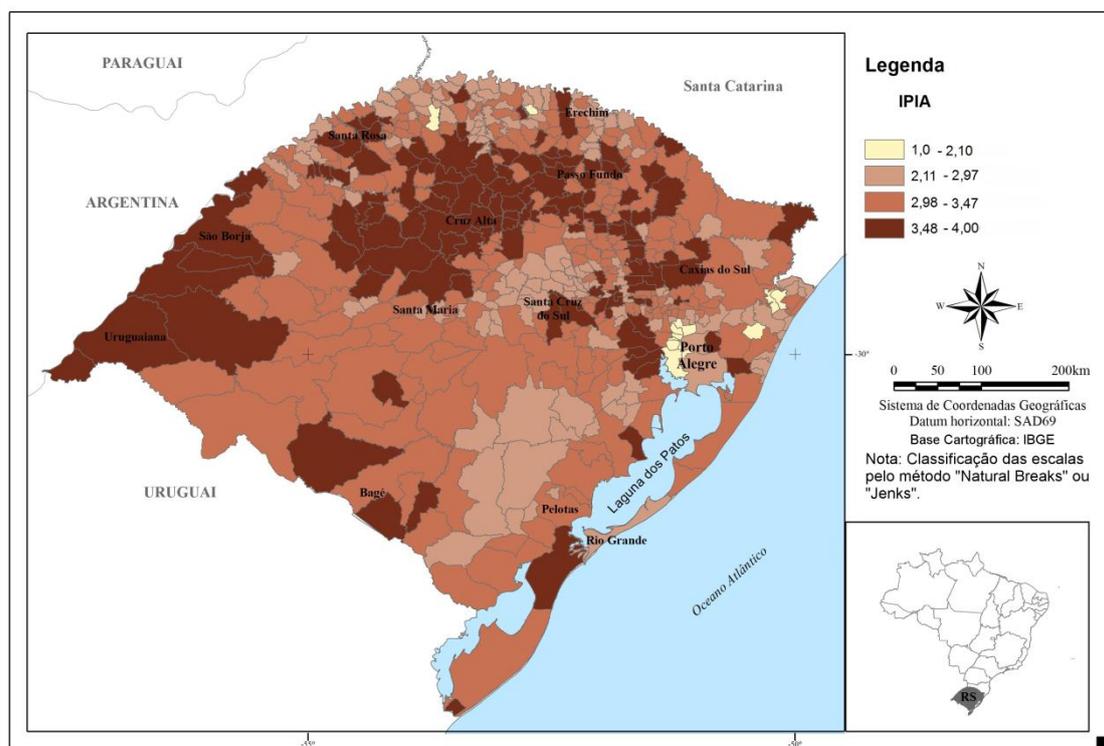
Existe um aglomerado que cobre parte do quadrante noroeste e outro que fica na região da serra (área circunscrita a Caxias do Sul). Ambas as áreas são compostas por municípios com bom potencial produtivo: o primeiro contempla parte da região da produção e tem vocação agrícola acentuada, já o segundo apresenta um agronegócio de alto valor agregado (área vitivinícola, lácteos, entre outros) e principalmente indústria (de modo especial setor metalomecânico em Caxias do Sul). Desta forma, são municípios que tem potencial de PE mais elevada – e isto o IPIA está demonstrando através de um índice mais elevado.

Já as áreas em marrom claro indicam aqueles municípios com menor probabilidade

¹² Estes cortes foram definidos pelo método Natural Breaks, que é bem estabelecido na área da geografia e é baseado na minimização das distâncias médias entre as classes (similar ao método utilizado na definição de clusters por distância euclidiana, k-means).



Figura 2. Mapa do IPIA. Rio Grande do Sul



Fonte: elaborado pelos autores.

de registrar categorias altas de PE (IPIA entre 2,11 e 2,97). Três aglomerações se destacam no RS: uma na metade sul, uma na região central e outra no extremo norte. Os municípios pertencentes a estes grupos têm uma estrutura produtiva menos estabelecida e têm carências de infraestrutura (estradas, assistência técnica, etc.). Aqueles situados no extremo norte, avançando parcialmente para a fronteira com a Argentina, são municípios onde predomina uma agricultura familiar pouco aparelhada, onde predomina a cultura de grãos, pecuária de pequena escala e pouca atividade agroindustrial – da mesma forma, há escassas indústrias.

A área intermediária, em cor telha, está mais heterogeneamente distribuída. São municípios com características diversas, i.e., alguns com inclinação mais agrícola, outros mais urbanos, e assim por diante. São municípios que, na combinação dos indutores utilizados, apresentam probabilidades de apresentar PE em categorias intermediárias.

Em suma, o mapa aponta um padrão claro: municípios de maior envergadura produtiva e mais consolidados têm probabilidades maiores de apresentarem PE elevada do que aqueles mais carentes e menos expressivos do ponto de vista produtivo. Este resultado não deve surpreender quando se leva em consideração a literatura sobre o tema – que aponta o PIB como indutor altamente significativo (York et al. 2003; Dietz e Rosa 1994).

Interessante, ainda, atentar ao fato de que esta regionalização apresentada tem alguma relação com aquela proposta por Alonso (2003) e Paiva et al. (2010), conforme já mostrado anteriormente. Estas regiões demarcadas pelo IPIA têm, de fato, relação com a atividade econômica dos municípios.

O exercício aqui proposto avalia as probabilidades de impacto ambiental com base nos indutores observados nos municípios gaúchos. Os indutores testados



são aqueles já clássicos explorados na literatura e que, em geral, tem importância estatística significativa na geração de diferentes níveis de PE. Alguns destes indutores têm relação com o grau de desenvolvimento da região, quando entendido a partir de uma ótica estritamente econômica.

Os resultados, deste e de outros trabalhos já citados, apontam que quanto mais elevado o padrão de consumo da sociedade (que é traduzido por PIB per capita elevado, urbanização, etc.), maior é a probabilidade de PE registrada. No entanto, pouco se menciona sobre a relação com aspectos qualitativos do desenvolvimento, como saúde, educação, instituições.

Sendo assim, surge a proposta de correlacionar os resultados obtidos para os municípios (IPIA) com variáveis que retratem o desenvolvimento econômico de forma mais qualitativa. Para tal, é preciso lançar mão de uma medida que possa agregar informações socioeconômicas, para tornar a tarefa viável. Uma alternativa, então, é o Índice de Desenvolvimento Socioeconômico do Rio Grande do Sul (Idese) calculado pela

Fundação de Economia e Estatística do RS (FEE).

O Idese é um índice composto de quatro blocos: renda, saúde, educação e saneamento e domicílios. As variáveis que o compõem estão no Quadro 2. Cada um dos blocos tem o mesmo peso, sendo que o índice final é obtido a partir da média aritmética dos quatro indicadores dimensionais. Os pesos de cada variável em seu bloco também estão no quadro.

A proposta do Idese é de avaliar e monitorar o desenvolvimento dos municípios do RS através de uma abordagem multidimensional, capaz de captar as condições de vida da população a partir da combinação das variáveis. O índice varia no intervalo [0,1], sendo que quanto mais próximo de 1, maior o patamar de desenvolvimento.

No intuito de tornar mais elaborada a comparação entre impacto ambiental e desenvolvimento econômico dos municípios é interessante eliminar a endogeneidade criada pelo fato de que tanto o IPIA quanto o Idese contam com a variável PIB per capita. Para tal, foi calculado um Idese modificado, com a

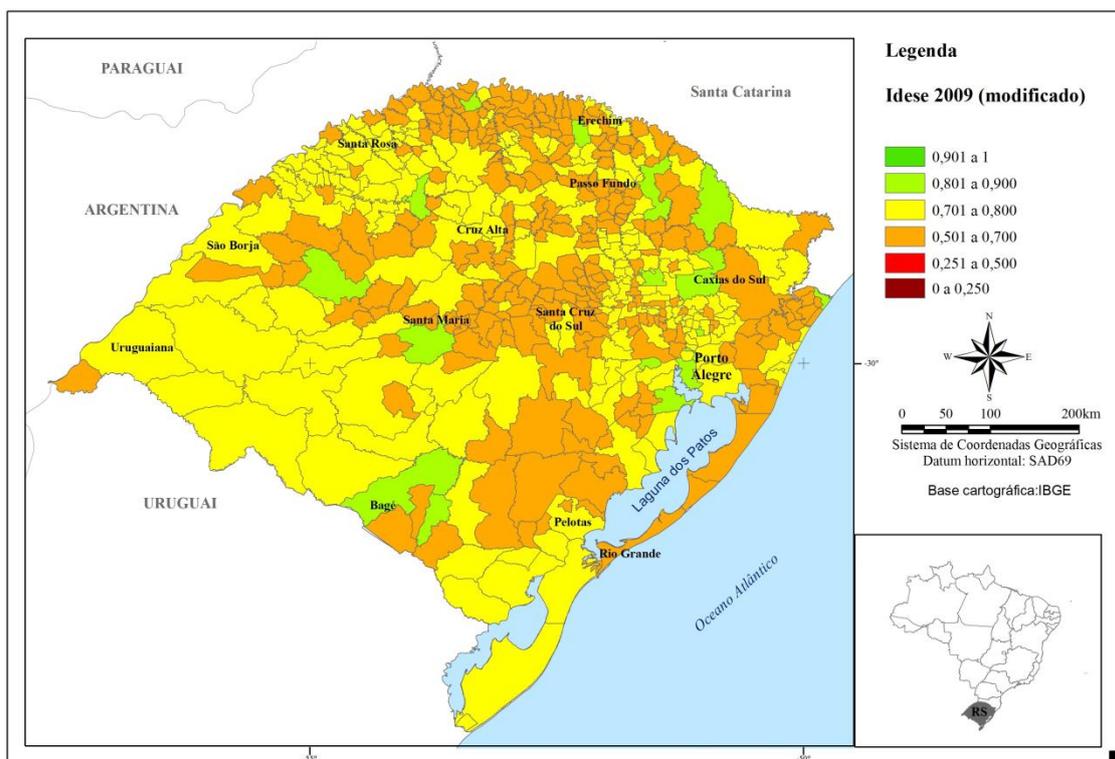
Quadro 2. Blocos e variáveis do Idese (FEE)

Blocos	Variáveis	Peso
Educação	Taxa de abandono no ensino fundamental	0,25
	Taxa de reprovação no ensino fundamental	0,20
	Taxa de atendimento no ensino médio	0,20
	Taxa de analfabetismo das pessoas com 15 anos ou mais de idade	0,35
Renda	Geração de renda – PIB per capita	0,50
	Apropriação de renda – VAB per capita do comércio, alojamento e alimentação	0,50
Saneamento e Domicílios	Percentual de domicílios abastecidos com água: rede geral	0,50
	Percentual de domicílios atendidos com esgoto sanitário: rede geral ou pluvial	0,40
	Média de moradores por domicílio	0,10
Saúde	Percentual de crianças com baixo peso ao nascer	0,33
	Taxa de mortalidade de menores de 5 anos	0,33
	Esperança de vida ao nascer	0,33

Fonte: elaborado pelos autores a partir de FEE.



Figura 3. Mapa do Idese modificado. Rio Grande do Sul



Fonte: elaborado pelos autores

retirada o bloco renda. Restaram apenas saúde, educação e saneamento e domicílios.

Assim como no índice original, as três dimensões ficaram com o mesmo peso, sendo o índice final a média aritmética dos três blocos remanescentes.

Para o Idese modificado, o resultado para o RS foi de 0,763, contra os 0,776 do Idese completo: a renda, de fato, é um indicador que contribui positivamente para o resultado final índice, uma vez que o bloco saneamento e domicílios tem um resultado bastante inferior (0,569). O mapa na Figura 3 mostra a distribuição regional do Idese modificado.

Visualmente é possível notar alguma semelhança na distribuição espacial entre o IPIA e o Idese modificado. No entanto, o gráfico da Figura 4 mostra a dispersão dos municípios quando consideradas estas duas variáveis, sendo que a correlação entre elas é de apenas 0,22.

Quando observadas as relações das probabilidades de impacto ambiental (IPIA) com os blocos individualizados, verifica-se

que as dimensões que mantêm aspectos mais qualitativos têm correlações menores. A correlação da saúde é de apenas 0,05, ou seja, praticamente nula. O número para educação e saneamento também são pequenos: 0,24 e 0,18, respectivamente. Renda, por outro lado, tem correlação de 0,62.

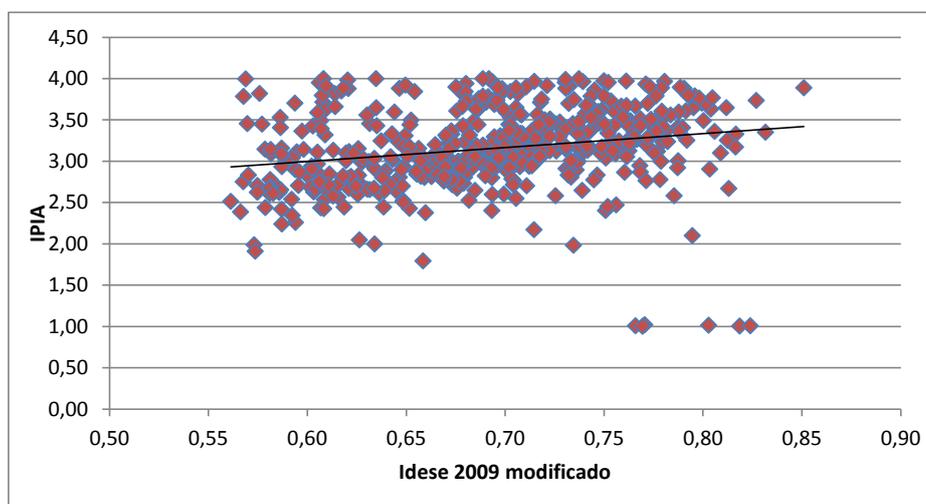
Por fim, há que se considerar que a renda é elemento importante na definição das demais dimensões. Não é escopo deste trabalho explorar esta relação, mas os próprios resultados das estimativas indicam que a renda, enquanto tradutora de um padrão produtivo e de consumo, é variável-chave que responde por parte significativa da explicação dos impactos ambientais. Já os aspectos qualitativos do desenvolvimento são consideravelmente mais complexos de serem incorporados com sucesso neste contexto.

4. Conclusões

Apesar de este trabalho não ter a pretensão de propor nenhum tipo de índice de



Figura 4. Dispersão entre Idese modificado e IPIA – Rio Grande do Sul



Fonte: elaborado pelos autores.

sustentabilidade para os municípios gaúchos, a proposta parte justamente da ausência de medidas de cunho ambiental a este nível geopolítico. A medida de probabilidade de impacto ambiental funcionaria, assim, como uma *proxy* para avaliar a responsabilidade de cada município em termos de sua potencial pressão ambiental exercida sobre os ecossistemas.

A partir da suposição de que o modelo global estimado é válido para aplicação aos municípios do RS, foi possível observar as magnitudes dos impactos esperados. Uma restrição deste exercício é justamente esta: como o modelo original é global, e a aplicação se dá em escala municipal, é importante que se tenha consciência de que os resultados são menos definitivos em termos de nível de probabilidade estimada do que na relatividade entre os municípios e regiões.

Os resultados mostraram, então, que a maioria dos municípios gaúchos apresentou índices de probabilidade de impacto ambiental (IPIA) relativamente altos (acima de 3,01). Na regionalização, foi possível identificar que regiões mais consolidadas economicamente foram as que apresentaram índices maiores, sendo que aqueles com índices menores são as regiões mais pobres

e predominantemente de agricultura familiar com baixa eficiência e tecnologia. Variáveis como urbanização e área agrícola também foram importantes em alguns municípios, mas quando conjugadas com as demais variáveis.

Quando observados os aspectos qualitativos do desenvolvimento nos municípios, a correlação com o índice estimado não é grande, ou seja, o impacto ambiental estimado pouco tem a ver com os níveis de educação, saúde e saneamento dos municípios. Esta relação é ainda mais enfraquecida quando se considera que existe uma endogeneidade destas com a renda, i.e., a pouca relação entre elas ainda poder ser influenciada por esta variável.

Desafios de pesquisa futura englobam, de modo especial, abordar de forma multidimensional a relação entre bem-estar e serviços dos ecossistemas em nível municipal. Ainda que a riqueza de uma região seja tradução de uma estrutura produtiva mais robusta, a tradução desta em termos de bem-estar ainda é complexa e controversa. Se, nesta relação, imputarmos o aspecto da pressão sobre o meio ambiente, o quadro fica consideravelmente mais intrincado – tanto, que com as ferramentas e análises que dispomos atualmente, a renda acaba sobressaindo-se de forma importante.



REFERÊNCIAS

- Alonso, J. A. F. 2003. O cenário regional gaúcho nos anos 90: convergência ou mais desigualdade? *Indicadores Econômicos FEE* Vol. 31(3): 97-118.
- Chertow, M. R. 2001. The IPAT equation and its variants: changing views of technology and environmental impact. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 4(4): 13-29.
- Commoner, B. 1972. The environmental cost of economic growth. In: RIDKER, R. G. (Ed.). *Population, Resources and the Environment*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, p. 339-63.
- Conceição, O. A., M. Z. Grando; S. U. Teruchkin, L. A. E. Faria (Org.). 2010. *Três décadas de economia gaúcha: o ambiente regional*. Porto Alegre: FEE.
- Dietz, T., E. Rosa. 1997. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* Vol. 94(1): 175-9.
- Dietz, T., E. A. Rosa. 1994. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review* Vol. 1: 277-300.
- Dietz, T., E. A. Rosa, E. A., R. York. 2007. Driving the human ecological footprint. *Frontiers in Ecology and the Environment* Vol. 5(1): 13-8.
- Ehrlich, P. R. e J. P. Holdren. 1971. Impact of population growth. *Science* Vol. 171(3977): 1212-17.
- Ewing, B., A. Reed, A. Galli, T. Kitzes, M. Wackernagel. 2010. *Calculation methodology for the national footprint accounts, 2010 edition*. Oakland: Global Footprint Network.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. *Indicadores de desenvolvimento sustentável*. Brasil: IBGE.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. *Censo Demográfico*. Brasil: IBGE.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. *Censo Agropecuário*. Brasil: IBGE.
- Lenzen, M. e S. A. Murray. 2001. A modified ecological footprint and its application to Australia. *Ecological Economics* Vol. 37: 229-55.
- Lewan, L. e C. Simmons. 2001. The use of ecological footprint and biocapacity analyses as sustainability indicators for sub-national geographical areas: a recommended way forward. Final Report, European Common Indicators Project, EURO CITIES, Ambiente Italia.
- Mattos, E. J. e E. E. Filippi. 2014. Drivers of environmental impact: A proposal for nonlinear scenario designing. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 62: 22-32.
- PAIVA, C. A.; TARTARUGA, I. P.; ALONSO, J. A. F., 2010. Em busca de uma divisão regional mais compatível com as múltiplas necessidades da pesquisa e do planejamento. In: Conceição, O. A.; Grando, M. Z.; Teruchkin, S. U.; Faria, L. A. E. (Org.). *Três décadas de economia gaúcha: o ambiente regional*. Porto Alegre: FEE.
- Schneider, S. e M. A. V. Fialho. 2000. Pobreza rural, desequilíbrios regionais e desenvolvimento agrário no Rio Grande do Sul. *Teoria e Evidência Econômica* Vol. 8(15): 117-50.
- UNITED NATIONS., 1996. *Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies*. New York: United Nations Sales Publication, No E 96 II A 16.
- Van Bellen, H. M. 2006. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.
- Veiga, J. E. 2010. Indicadores de sustentabilidade. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 39-52.
- Wackernagel, M. e W. Rees. 1996. *Our ecological footprint*. Gabriola Island, BC and Stony Creek, CT: New Society Publishers, 1996.
- Wilson, J. e M. Anielski. 2005. *Ecological Footprints of Canadian Municipalities and Regions*. Ecological Footprinting. [Electronic Version]. Edmonton: Anielski Management Inc.
- World Wild Foundation International (WWF). 2010. *Living Planet Report 2010*. Gland, Switzerland.
- York, R., E. A. Rosa e T. Dietz. 2003. Footprints on the Earth: the environmental consequences of modernity. *American Sociological Review* Vol. 68(2): 279-300.