

GESTÃO PÚBLICA BASEADA EM EVIDÊNCIAS: USO DE *MACHINE LEARNING* PARA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE FOMENTO À INOVAÇÃO

Viviane Schneider ¹;

Vivian Alves²;

Maria Angelica Jung Marques³;

Denilson Sell⁴;

Roberto Carlos Dos Santos Pacheco⁵

Abstract: *Innovation in a territory occurs through several factors and institutional molds, which foster a given region through the convergence of companies, universities and the government. One of the forms of convergence of these actors is the innovation ecosystems, which arise and develop through public policies that can be developed based on scientific evidence. In this study, this evidence was defined by means of a regression tree, applied to data on the creation of technologies produced by permanent professors of Postgraduate Programs (PPG) in the State of Paraná. The results demonstrate that a decision tree can be a tool to support evidence-based public management and the basis of implementation that foster innovation in territories.*

Keywords: *Public Management; Innovation ecosystems; Machine learning; Regression Tree.*

Resumo: A inovação em um território ocorre em uma determinada região por meio da convergência de empresas, universidades e governo. Uma das formas de convergência desses atores são os ecossistemas de inovação, os quais surgem e desenvolvem-se por meio da formulação de políticas públicas, as quais podem ser desenvolvidas com base em evidências científicas. Neste estudo, essas evidências foram estabelecidas por meio de uma árvore de regressão, aplicada aos dados sobre criação de tecnologias produzidas por professores permanentes de Programas de Pós-Graduação (PPG) do Estado do Paraná. Os resultados demonstram que uma árvore de decisão pode ser uma ferramenta que representa o conhecimento de um montante complexo de dados, apoiando assim a gestão pública baseada em evidências e a formulação de estratégias que fomentam a inovação em territórios.

¹ Engenharia e Gestão do Conhecimento – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis – Brasil. Correio eletrônico: viviane.sch@gmail.com

² Engenharia e Gestão do Conhecimento – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis – Brasil. Correio eletrônico: vca2@uol.com.br

³ Engenharia e Gestão do Conhecimento – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis – Brasil. Correio eletrônico: angelicajmarques@gmail.com

⁴ Engenharia e Gestão do Conhecimento – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis – Brasil. Correio eletrônico: denilson@stela.org.br

⁵ Engenharia e Gestão do Conhecimento – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis – Brasil. Correio eletrônico: rpacheco@egc.ufsc.br

Palavras-chave: Gestão Pública; Ecossistemas de inovação; Machine Learning; Árvore de Regressão;

1. INTRODUÇÃO

As organizações públicas de fomento à pesquisa objetivam promover transformações na estrutura produtiva por meio de uma agenda que pode abranger a definição de políticas, concessão de bolsas, financiamento de eventos e projetos de pesquisa, extensão e inovação, entre outras intervenções. Tais intervenções podem ser alcançadas por meio de ações sistêmicas que alteram os ambientes competitivos nos quais as estratégias de negócios são formadas. Nesse sentido, a ação governamental pode utilizar dados provenientes de bases tais como Plataforma Lattes, Plataforma Sucupira, dentre outros recursos de dados que fornecem um panorama passado que pode ser utilizado para prever resultados futuros de aplicações de políticas públicas.

A dinâmica específica das empresas e a estrutura produtiva associada ao processo de inovação devem orientar as políticas de intervenção. Segundo Howells (2005), as políticas regionais de inovação são importantes tanto para as políticas locais quanto nacionais, pois estimulam o alinhamento entre inovação, crescimento e produção de valor, reconhecendo disparidades entre recursos, cultura e atividades inovativas nas diferentes regiões (Doloreux e Parto, 2005). No Brasil, em nível regional, as fundações estaduais de apoio à pesquisa (FAPs) têm uma importante agenda de promoção de sistemas regionais de inovação.

A agenda de financiamento do sistema de inovação baseia-se em chamadas públicas para promover o interesse e consequente desenvolvimento de projetos de investigação e inovação. Existe um amplo consenso, público e privado, sobre a relevância da inovação tanto para a competitividade de cada empresa brasileira, quanto para o aumento da produtividade em geral. A inovação tem esta dupla faceta - é relevante em termos micro e macroeconômicos (Pacheco & Almeida, 2013). Nesse contexto, o objetivo deste artigo é descrever um método para efetivar a gestão pública baseada em evidências provenientes de dados. Para tanto, é apresentada uma aplicação de árvore de decisão, Engenharia do Conhecimento (EC) com uso de técnicas de *Machine Learning*, tendo em vista descrever do contexto dos Ecossistemas de

Inovação, por meio da produção de tecnologias desenvolvidas pelos programas de pós-graduação do Estado do Paraná.

2. ECOSSITEMAS DE INOVAÇÃO

Um ecossistema de inovação segundo a revisão de literatura feita por Marques (2019) pode ter diversas definições. Para Adner (2006, p. 98), Ecossistemas de inovação são *“arranjos colaborativos através dos quais as empresas combinam suas ofertas individuais em uma solução coerente voltada para o cliente”*. Para Wang (2009), eles podem ser um ambiente de interação de redes organizacionais e comunidades de pessoas para produzir e usar as inovações. Rubens et al. (2011, p. 1743) descreve que esses ecossistemas são populações interativas de atores que residem em um determinado ambiente - *“redes de criação” que fornecem mecanismos para “(a) criação de novos bens e serviços focados no objetivo adaptados às necessidades do mercado em rápida evolução, (b) com múltiplas instituições e indivíduos dispersos, (c) para a inovação paralela”*.

Uma das questões centrais e tema de diversas pesquisas, observável nas diferentes definições, é a complexidade das interações entre os diferentes atores que participam destes ambientes. Os atores incluem usuários finais ou clientes e comunidades de usuários, desenvolvedores e organizações de pesquisa, concorrentes e complementadores em toda a cadeia de valor e rede (por exemplo, Adner e Kapoor, 2010), além de atores institucionais (por exemplo, (Koskela-Huotari et al., 2016). As tecnologias referem-se aos vários tipos de plataformas e estruturas tecnológicas compartilhadas pelos atores do ecossistema (por exemplo, Autio; Thomas, 2014). As instituições referem-se aos reguladores, formuladores de políticas e grupos de interesses relevantes, bem como os contextos culturais e nacionais em que as instituições operam (por exemplo, Ansari et al., 2016; Vargo et al., 2015; Aarikka-Stenroos; Ritala, 2017).

Uma das características definidas por diversos autores é a dinâmica de um ecossistema de inovação, sendo uma questão importante identificar os fatores e elementos que podem estimular o desenvolvimento de um mecanismo de inovação que seja coletivo, baseada em processos abertos de inovação e redes de conhecimento distribuídas (Marques, 2019;

Froehlicher; Barès, 2014). Sob uma perspectiva mais ampla desta dinâmica, considerar todos os atores envolvidos, seus papéis e interrelacionamentos; os mecanismos de incentivo; a cultura e seus valores; relacionamentos internos e externos ao ecossistema; entre outros, para compreensão dos processos pelos quais os ecossistemas de inovação emergem ou são construídos (Durst; Poutanen, 2013; Hwang; Horowitz, 2012). Neste estudo, os PPG são considerados elementos fundamentais para a produção de tecnologias, as quais podem ter potencial de inovação. A próxima seção descreve o contexto de produção de tecnologias no domínio de aplicação da árvore de decisão.

3. PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DO PARANÁ

Na Tabela 1 é possível ver o somatório da produção de patentes, produtos e aplicativos (que juntos chamamos de tecnologias), desenvolvidos pelos professores permanentes dos Programas de Pós Graduação (PPG), a quantidade de professores de PPG, e o total de PPGs no Estado do Paraná, entre os anos de 2013 até 2016.

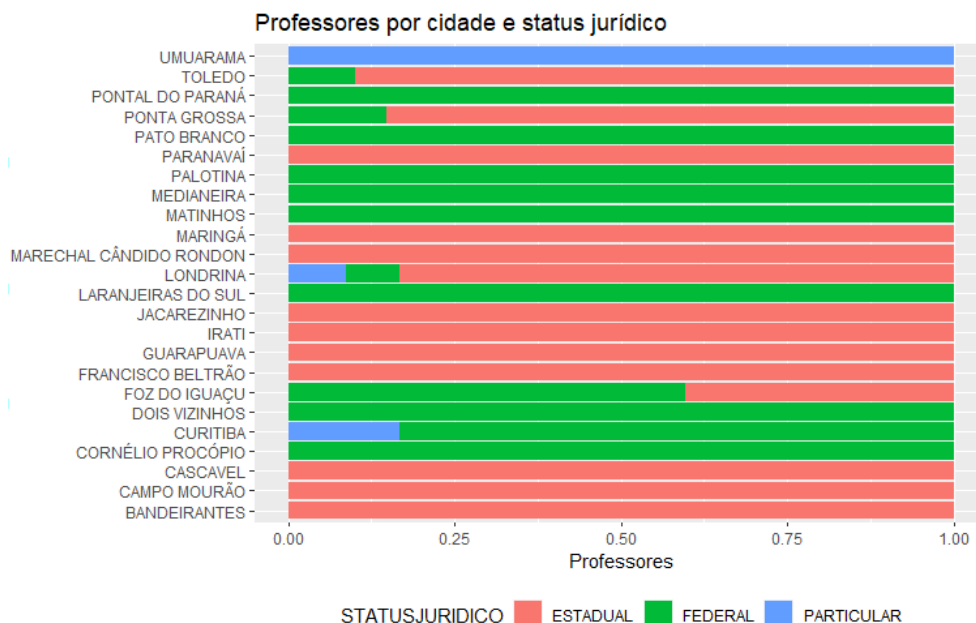
Tabela 1 – Somatório de professores, programas e produção de tecnologias dos professores permanentes de PPGs no Paraná entre 2013 e 2016.

Itens de análise	Quantidade
Professores	4368
Programas	258
Patentes	537
Produtos	170
Aplicativos	225
Tecnologias	932

Fonte: elaborado pelos autores.

Nas figuras abaixo é possível ver a proporção de produção de patentes, produtos e aplicativos (que juntos chamamos de tecnologias), desenvolvidos pelos PPG no Estado do Paraná, entre os anos de 2013 até 2016, bem como a quantidade de professores por PPG, distribuídos por cidade. Os gráficos ilustrados nas figuras permitem identificar lacunas de investimentos no território paranaense, as quais sinalizam potenciais técnicas de ciência de dados que podem auxiliar na visualização de cenários que atendam às demandas do estado.

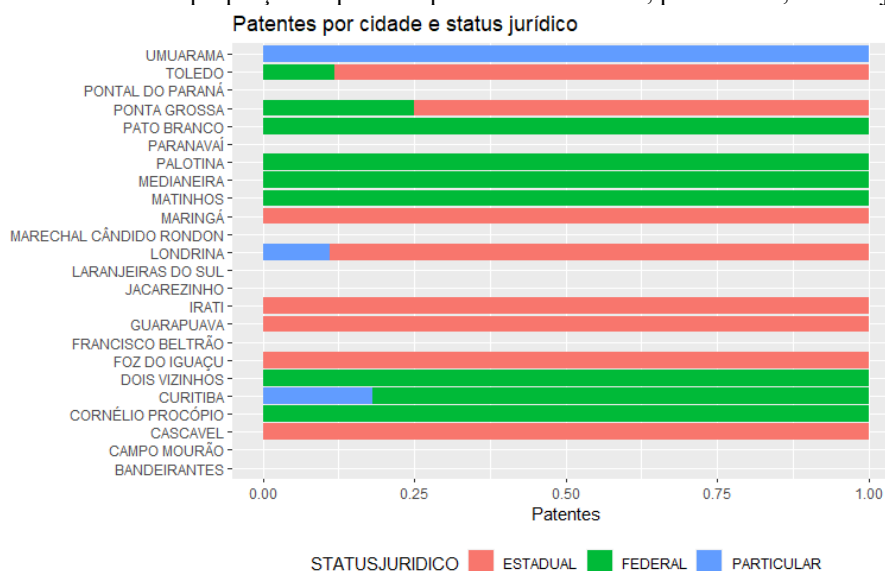
Figura 1 – Gráfico de proporção de professores por programas, cidade, e status jurídico



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 1 vemos o gráfico que ilustra onde há cidades em que somente existiam programas de pós-graduação estaduais, como Paranavaí, Maringá, M. C. Rondon, Jacarezinho, Irati, Guarapuava, Francisco Beltrão, Cascavél, Campo Mourão e Bandeirantes.

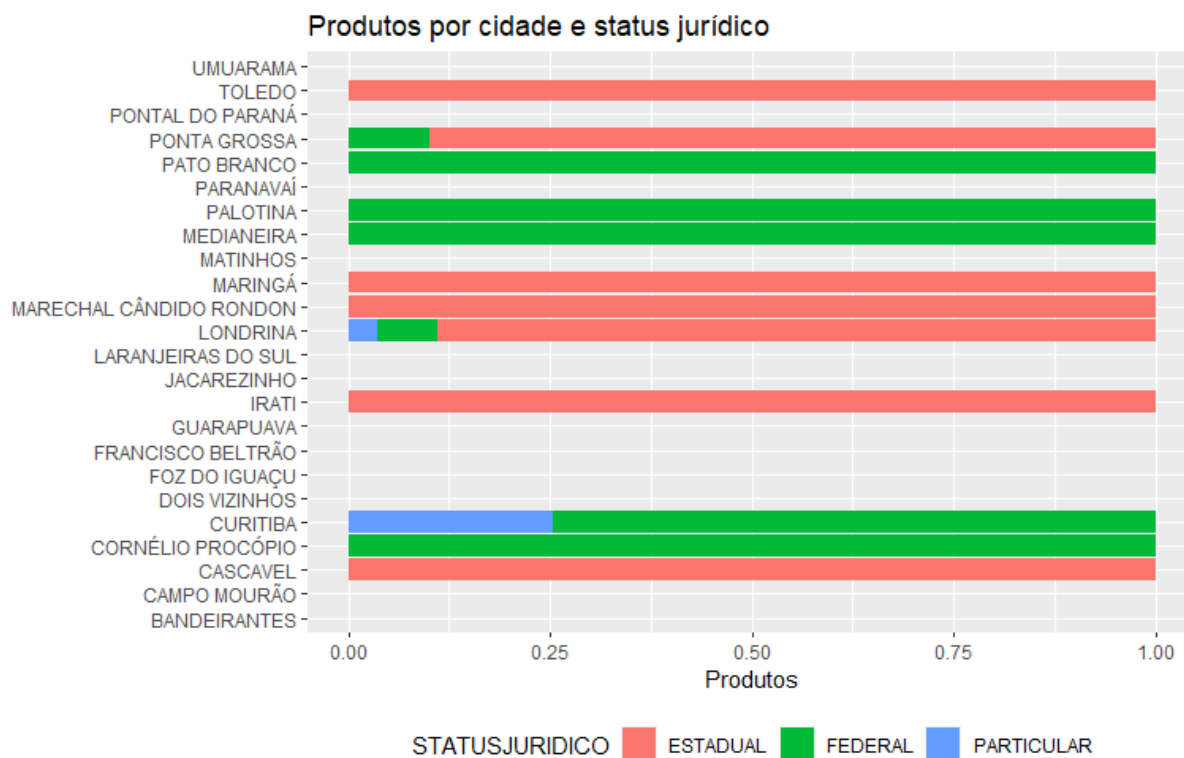
Figura 2 – Gráfico da proporção de patentes produzidas nos PPG, por cidades, e status jurídico



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 2, observamos que algumas cidades, embora possuam PPG, não apresentam patentes registradas entre os anos de 2013 e 2016.

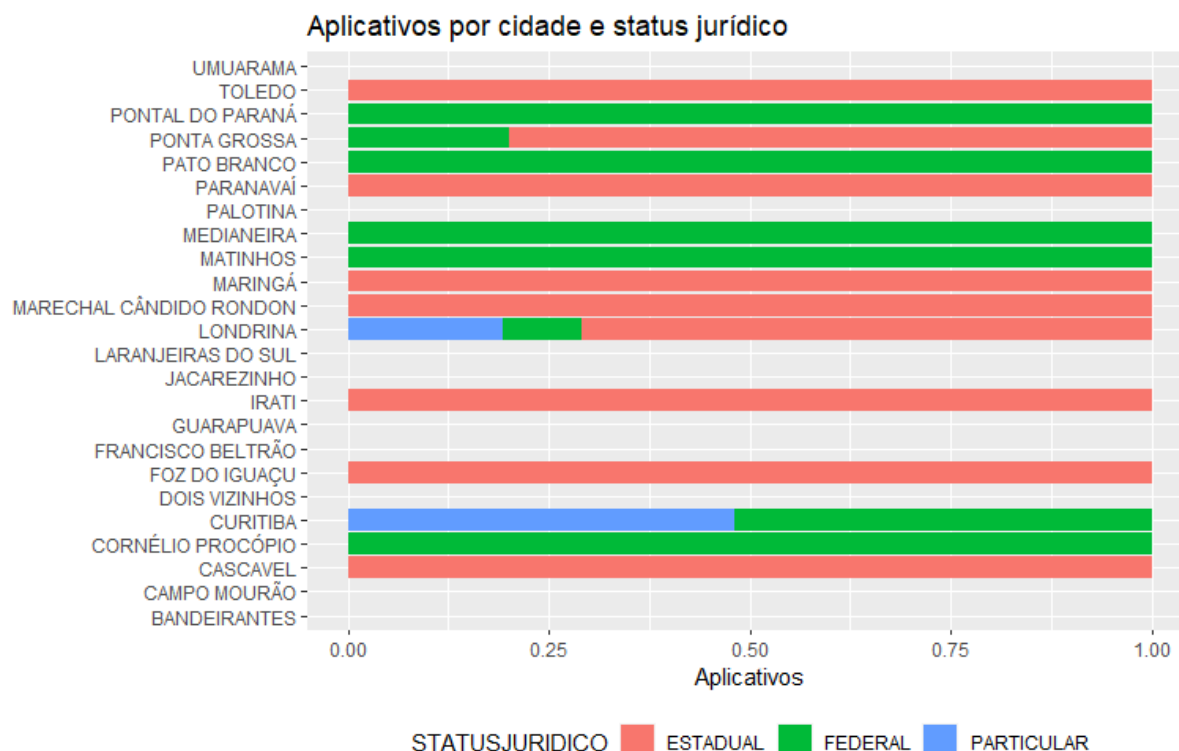
Figura 3 – Gráfico da proporção de produtos produzidos nos PPGs, por cidade, e status jurídico



Fonte: elaborado pelos autores.

Da mesma forma que as patentes, existiam algumas cidades que não possuem produtos registrados entre os anos de 2013 e 2016. Em ambos os gráficos das Figuras 2 e 3 é possível notar maior produção de patentes e produtos em instituições federais e estaduais.

Figura 4 - Gráfico da proporção de aplicativos produzidos nos programas de pós-graduação, por cidade, e status jurídico



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 4, nota-se que a produção de aplicativo se destaca nas instituições estaduais e federais. Neste caso, as instituições particulares são observadas apenas nas cidades de Londrina e Curitiba.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

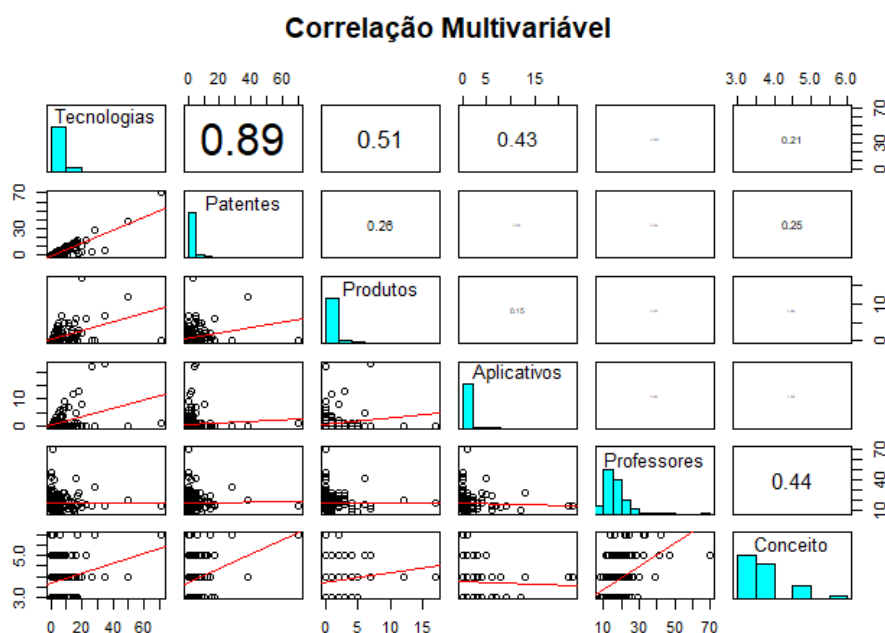
Neste artigo ilustramos a aplicação de um, dos vários modelos disponíveis para apoiar a tomada de decisão na alocação dos recursos que devem ser aplicados em ciência, tecnologia e inovação, como segue: **Hipótese conceitual:** Quanto maior o número de programas com alta qualificação (Conceito Capes) e professores em uma região, mais patentes, produtos e tecnologias são produzidos. As variáveis preditoras (X) foram: Professores por programa, Conceito Capes (3, 4, 5, 6 ou 7), Status Jurídico (Instituição Estadual, Federal ou Particular).

As variáveis dependentes (Y) foram: Patentes + Produtos + Aplicativos, as quais somadas chamamos de Tecnologias. Os dados foram retirados das Plataformas Lattes e Sucupira. Os dados coletados são do período de 2013 até 2016. Os resultados dos testes de acurácia da predição mostram que não existe “*overfitting*”, sendo que esse mesmo modelo pode ser generalizado para outros contextos de dados. Foi utilizado um algoritmo com regressão de poisson (regressão não linear) para calcular os valores previstos de produção de tecnologias por professor, por PPG, tendo em vista a não linearidade e não normalidade dos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para estabelecer o modelo de análise diversas análises foram realizadas. No Figura 5 abaixo apresenta-se o gráfico de correlação multivariável, que neste estudo busca identificar potencial de multicolinearidade, tendo em vista o ajuste da análise. Em uma escala de -1 até 0 (correlação negativa) e 0 até 1 (correlação positiva), quanto mais próximo a 1 é o valor, maior é a correlação e quanto mais afastado de 1, menor é a correlação. Na figura 5 é possível verificar a multicorrelação entre as potenciais variáveis do estudo, verificando a linha versus coluna, de cada correlação.

Figura 5 – Correlação multivariável dos potenciais elementos de análise do modelo



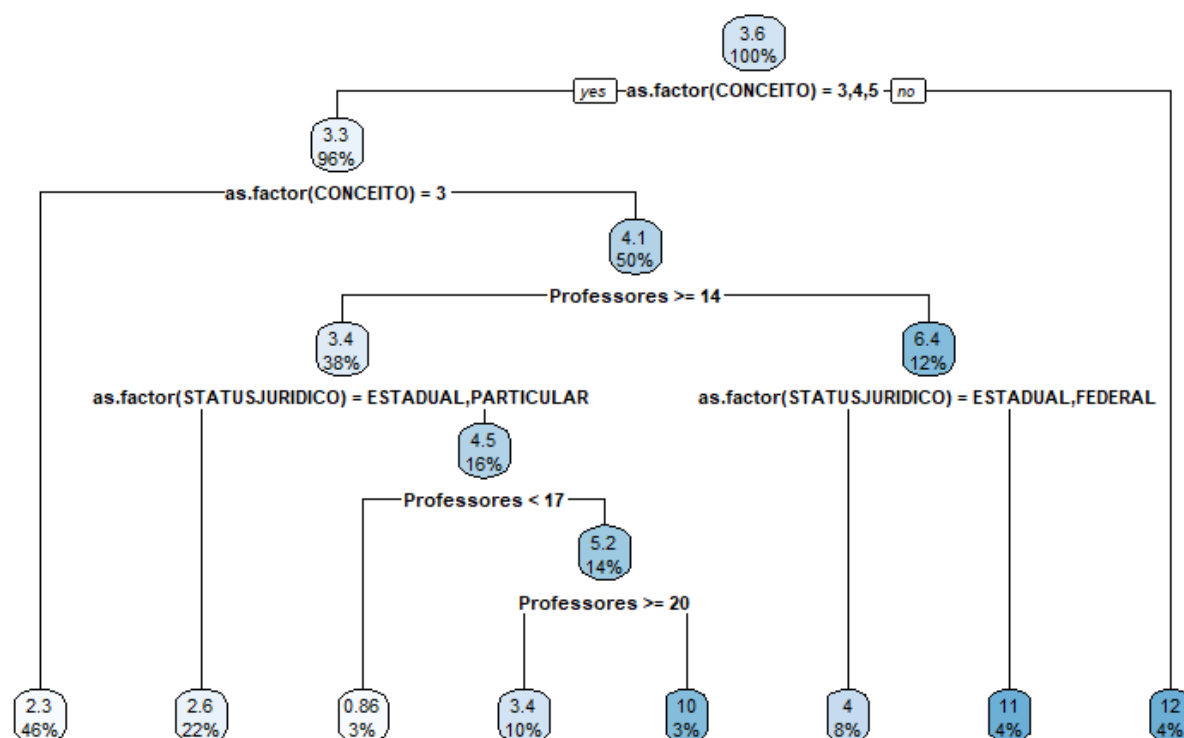
Fonte: elaborado pelos autores.

Utilizando regressão de Poisson devido a não linearidade dos dados, ao final de diversos testes com as variáveis e com os resultados de representação das árvores, o seguinte modelo, representado na Fórmula 1, foi utilizado para compor a árvore de regressão:

$$\text{arvore} = \text{PPP} + \text{fator}(\text{CONCEITO}) + \text{fator}(\text{STATUSJURIDICO}) \rightarrow \text{Patentes} + \text{Produtos} + \text{Aplicativos} \quad (1)$$

A variável *PPP* refere-se a quantidade de professores permanentes de um PPG, *fator(CONCEITO)* é o conceito CAPES do PPG, *fator(STATUSJURIDICO)* é a categoria jurídica da universidade do PPG (Federal, Estadual, Particular), e a soma de Patentes, Produtos e Aplicativos é a produção de tecnologias deste programa.

Figura 6 – Árvore de regressão aplicada ao modelo de análise.



Fonte: elaborado pelos autores.

Na árvore ilustrada na Figura 6 é possível ver que a média prevista de produção de tecnologias (soma dos produtos, patentes e aplicativos) por professor e por programa no Estado do Paraná é de 3,6 (raíz da árvore), em quatro anos. Se o programa que o professor participa tem conceito igual a 3, 4 ou 5 a média prevista de produção de tecnologias por professor em quatro anos é de 3,3, em 96% dos dados.

Ao analisar individualmente por conceito Capes, temos o seguinte contexto de previsão em um recorte temporal de quatro anos: a) se for um professor de um programa com conceito 3, a média prevista é de 2,3, em 46% dos dados; b) se for 4 ou 5 o conceito do programa, a média prevista de produção é 4,1 em 50% dos dados, c) neste contexto dos programas com conceito 3, se a instituição for estadual ou particular, a média prevista de produção de tecnologias é de 4,5 por professor, e se for um programa de instituição federal a média prevista é de 2,6.

Além disso, curiosamente, nos programas com conceito 3, com quantidade de professores acima ou igual a 14, a produção de tecnologias é de 3,4 a média prevista, mais baixa que a media prevista de 6,4 por professor, nos programas também com conceito 3, mas com menos de 14 professores. Neste perfil ainda, se a instituição for estadual ou federal, a média prevista sobe ainda mais, para 11 por professor, contra 4 por professor, em programas de instituições particulares; e) os programas mais produtivos no Paraná são os que tem conceito 6 e 7, independentemente de ser estadual, federal ou particular. Nesses programas a média prevista de produção de tecnologias por professor vai para 12, e isso somente ocorre em 4% dos dados.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Existem várias formas de pensar os investimentos a partir dos resultados. Do lado esquerdo da árvore podemos pensar nos investimentos para melhoramento de uma grande quantidade de PPGs os quais representam cerca de 96% dos dados do modelo, que são os programas com conceito Capes 3.

Pode-se começar o investimento a partir dos programas com conceito 3, de instituições estaduais e particulares, que possuem menos de 17 professores permanente por PPG (terceira

folha da árvore), pois este perfil de programa é o que possui a média mais baixa de produção de tecnologia por professor, somente 0.86. Esse resultado indica onde há fragilidades e sinaliza a adoção de estratégias de curto, médio e longo prazo para alcançar os resultados pretendidos.

Inferimos também que o investimento no aumento da qualidade dos programas de pós-graduação, para que eles alcancem o Conceito 6 ou 7 (última folha da árvore), provê um retorno considerável, pois essa faixa é a que mais produz tecnologias com potencial para inovação. Além disso, é preciso continuar o investimento nos programas com conceito 6 e 7, para que continuem inovando.

Com a árvore ainda podemos ver que investir em programas e professores com maior potencial para produzir tecnologias, como por exemplo, os professores dos programas que tem até 20 professores permanente e conceito 3 (folha 5 da árvore), de instituições federais, ou de instituições particulares (folha 7), pode ser uma boa iniciativa para induzir uma alavancada na inovação do Paraná.

A tomada de decisão apoiada em evidência visa maximizar os resultados de investimentos para o desenvolvimento dos territórios brasileiros, na área de gestão pública. Nessa perspectiva, árvores de regressão são ferramentas com grande poder de representação de dados com alta complexidade, além de serem intuitivas e interpretáveis. Contudo, a modelagem dos dados deve ser muito bem arquitetada para que os resultados sejam satisfatórios. A ciência de dados pode ajudar os gestores na criação de políticas públicas e direcionamento de recursos de forma precisa, tendo em vista alcançar bons resultados no sistema de inovação e na geração de riquezas.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio da Fundação Araucária, Instituto Stela e CAPES.

7. REFERÊNCIAS

- Aarikka-Stenroos, L.; Ritala, P. Network management in the era of ecosystems: Systematic review and management framework. *Industrial Marketing Management*, [s. l.], v. 67, n. April 2016, p. 23–36, 2017.
- Adner, Ron. Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy. *Journal of Management*, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 39–58, 2017.
- Autio, Erkko; Thomas, Llewellyn D. W. Innovation Ecosystems: Implications for Innovation Management? *The Oxford Handbook of Innovation Management*, [s. l.], n. September, p. 38, 2014. Disponível em: <<http://oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199694945.001.0001/oxfordhb-9780199694945-e-012>>.
- Armitage, Derek. Governance and the commons in a multi-level world. *International Journal of the Commons*, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 7–32, 2008.
- Chaffin, B. C.; Gosnell, H.; Cosens, B. A. A decade of adaptive governance scholarship: synthesis and future directions. *Ecology and Society*, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 56, 2014.
- Cosens, Barbara A. et al. The role of law in adaptive governance. *Ecology and Society*, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 1–30, 2018.
- Carayannis, Elias G.; Campbell, David F. J. "Mode 3" And "Quadruple Helix": Toward A 21st Century Fractal Innovation Ecosystem. *International Journal Of Technology Management*, [S. L.], V. 46, N. 3/4, P. 201, 2009. Disponível Em: <[Http://Www.Inderscience.Com/Link.php?Id=23374](http://www.inderscience.com/Link.php?Id=23374)>
- Denhardt, Robert B.; Denhardt, Jane Vinzant. *The New Public Service: Serving, Not Steering*. New York: M.E.Sharpe, 2003.
- Durst, Susanne; Poutanen, Petro. Success factors of innovation ecosystems - Initial insights from a literature review. In: (O. Smeds, R.; Irrmann, Ed.) *Co-Create 2013: The Boundary-Crossing Conference On Co-Design In Innovation 2013*, Anais... : Aalto University, 2013.
- Edvinsson, Leif; Malone, Michael S. *Intellectual Capital: The Proven Way To Establish Your Company's Real Value By Measuring Its Hidden Brain Power*. London, England: Piatkus, 1997.
- Fawcett, Jacqueline. Thoughts About Conceptual Models , Theories , And Quality Improvement Projects. *Essays On Nursing Science*, [S. L.], V. 27, N. 4, P. 336–339, 2014.
- Frischmann, Brett M.; Madison, Michael J.; Strandburg, Katherine J. Governing Knowledge Commons. In: Frischmann, Brett M.; Madison, Michael J.; Strandburg, Katherine J. (Eds.). *Governing Knowledge Commons*. [S.L.] : Oxford University Press, 2014. P. 1–43.
- Gavelin, Karin; Burall, Simon; Wilson, Richard. *Open Government: Beyond Static Measures*. oecd. [S.L.: S.N.]. Disponível Em: <[Http://Www.Oecd.Org/Gov/46560184.Pdf](http://www.oecd.org/Gov/46560184.Pdf)>.
- Ghosh, Shubha. How To Build A Commons: Is Intellectual Property Constrictive, Facilitating Or Irrelevant? In: Hesss, Charlotte; Ostrom, Elionor (Eds.). *Understanding Knowledge As A Commons*. [S.L.] : The Mit Press, 2007.
- Gomes, Leonardo Augusto De Vasconcelos Et Al. Unpacking The Innovation Ecosystem Construct: Evolution, Gaps And Trends. *Technological Forecasting And Social Change*, [S. L.], V. 136, P. 30–48, 2018. Disponível Em: <[Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Techfore.2016.11.009](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Techfore.2016.11.009)>

- Hoffecker, Elizabeth. Understanding Innovation Ecosystems: A Framework For Joint Analysis And Action. Cambridge.
- Jucevicius, Giedrius Et Al. The Emerging Innovation Ecosystems And "Valley Of Death": Towards The Combination Of Entrepreneurial And Institutional Approaches. Engineering Economics, [S. L.], V. 27, N. 4, P. 430–438, 2016.
- Koskela-Huotari, Kaisa Et Al. Innovation In Service Ecosystems — Breaking , Making , And Maintaining Institutionalized Rules Of Resource Integration. Journal Of Business Research, [S. L.], V. 69, N. 8, P. 2964–2971, 2016. Disponível Em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.02.029>>
- Kauneckis, Derek. Researching Complex Governance Arrangements: Elinor Ostrom's Legacy For Research Methods And The Analysis Of Institutional Design. Policy Matters 2014: Remembering Elinor Ostrom, [S. L.], P. 57, 2014.
- Lönnqvist, A.; Mettänen, P. Criteria Of Sound Intellectual Capital Measures. In: Proceedings Of The 2nd International Workshop On Performance Measurement 2002, Hanover, June 6-7. Anais... Hanover, June 6-7
- Luoma-Aho, Vilma; Halonen, Saara. Intangibles And Innovation: The Role Of Communication In The Innovation Ecosystem. Innovation Journalism, [S. L.], V. 7, N. 2, P. 2–20, 2010.
- Monteiro, Susana; Romão, Nuno. Governança Multinível Em Portugal: Descentralização Sub-Regional E Local E O Papel Dos Fundos Europeus: Coleção Políticas e Territórios. Lisboa, Portugal.
- Pacheco, R. C. Dos S.. Incommons: Rede Internacional De Pesquisa E Desenvolvimento de commons digitais Instituto Stela, , 2014.
- Sessin-Dilascio, Karla; Valdiones, Ana Paula; Duarte, Irene. Programa Mato-grossense de Municípios Sustentáveis : uma abordagem de governança para redução do desmatamento nos municípios da Amazônia matogrossense. [s.l: s.n.].
- Termeer, Catrien J. A. M.; Dewulf, Art; Lieshout, Maartje Van. Disentangling Scale Approaches In Governance Research: Comparing Monocentric, Multilevel, And Adaptive Governance. Ecology And Society, [S. L.], V. 15, N. 4, 2010.
- Van Kersbergen, Kees; Van Waarden, Frans. 'Governance' As A Bridge Between Disciplines: Cross-Disciplinary Inspiration Regarding Shifts In Governance And Problems Of Governability, Accountability And Legitimacy. European Journal Of Political Research, [S. L.], V. 43, P. 143–171, 2004.