

**ERLON BARBOSA VALDETARO**

**MÉTODOS ESTATÍSTICOS E SISTEMA NEURO-FUZZY  
APLICADOS NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

**Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Ciência  
Florestal, para obtenção do título de  
Doctor Scientiae.**

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2015**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V145m  
2015 Valdetaro, Erlon Barbosa, 1974-  
Métodos estatísticos e sistema *neuro-fuzzy* aplicados na  
avaliação de impactos ambientais / Erlon Barbosa Valdetaro. –  
Viçosa, MG, 2015.  
x, 62f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndices.

Orientador: Elias Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Lógica difusa. 2. Redes neurais (Computação).  
3. Inteligência artificial. 4. Métodos de simulação. 5. Impacto  
ambiental - Métodos de simulação. 6. Impacto ambiental -  
Avaliação - Métodos estatísticos. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22.ed. 511.313

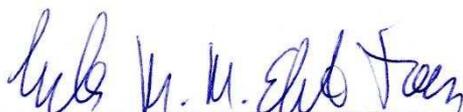
**ERLON BARBOSA VALDETARO**

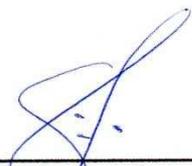
**MÉTODOS ESTATÍSTICOS E SISTEMA NEURO-FUZZY  
APLICADOS NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

**Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Ciência  
Florestal, para obtenção do título de  
*Doctor Scientiae*.**

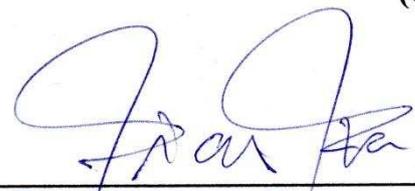
**APROVADA: 30 de novembro 2015.**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. José de Castro Silva**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Gláucio Marcelino Marques**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Helio Garcia Leite  
(Coorientador)**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Elias Silva  
(Orientador)**

“No matter what they say...  
No matter what they say...  
No matter what they say...  
No matter what they say...”

Everyday people  
Everyday shame  
Everyday promise shot down in flames  
Everyday sunrise  
Another everyday story  
Rise from the ashes and blaze  
In everyday glory

If the future's looking dark  
We're the ones who have to shine  
If there's no one in control  
We're the ones who draw the line  
Though we live in trying times  
We're the ones who have to try  
Though we know that time has wings  
We're the ones who have to fly...”

(Neil Peart, 1993)

**Dedico este trabalho:**

À minha esposa e à minha filha, Denise e Rafaela, por toda a felicidade que temos encontrado juntos.

Ao meu pai Rafael Smiderle Valdetaro (in memoriam), por todos os valores que me ensinou na vida, principalmente o da humildade.

À causa da Ciência Florestal, que vem derrubando barreiras, gerando conhecimento e criando novas oportunidades.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Elias Silva, pela orientação, credibilidade, amizade e, principalmente, pelas palavras de incentivo que me motivaram, cada vez mais, a realizar este trabalho.

Aos professores Helio Garcia Leite e Laércio Antonio Gonçalves Jacovine, pela orientação e dedicação de seu tempo à nossa ideia.

À Universidade Federal de Viçosa, pelo treinamento proporcionado.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa, pela bolsa de estudo concedida.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, Alexandre Amorim, Dilson Garcia e Rita de Cássia Silva Alves, Ritinha, pela amizade e pela dedicação dispensada nos assuntos relacionados à Pós-Graduação.

À amada esposa Denise, por tudo o que conquistamos juntos, por enfrentar comigo este novo desafio e esta nova etapa das nossas vidas.

À filha Rafaela, por ser o motivo de tudo na minha vida.

Aos meus pais, Rafael (in memoriam) e Edna, pelos ensinamentos, pela oportunidade que me deram de estudar e, principalmente, pela formação da minha educação e do meu caráter.

Aos sogros, Ciloni e Maria, por me “adotarem” como filho, confiarem em mim e por todo apoio que sempre me ofereceram.

Aos irmãos, Rodrigo e Fernando, pelo amor e amizade incondicional e, também, pelo apoio nesta etapa.

Ao cunhado, André, pela amizade e apoio inegável.

Ao amigo Carlos Alberto Araújo Júnior, pela imensa contribuição oferecida na análise dos dados.

Ao amigo, Gláucio Marcelino Marques e sua família, pela amizade, apoio e incentivo que sempre ofereceram a mim e à minha família.

Aos amigos, Carlos Torres, Daniel Brianezi, Alexandre Lorenzon, Ana Esméria Lacerda Valverde, Fernanda Lemos, Bruno Schettini e Vicente Jr., pela amizade e companheirismo.

Aos amigos e colegas de “república” Humberto Fauller e Diego Ramos, pelo apoio e convivência no último ano.

A todos os colegas da graduação e pós-graduação, pela amizade e companheirismo.

A Deus, por ter acreditado em mim, mesmo quando não acreditei nele.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

ERLON BARBOSA VALDETARO, filho de Rafael Smiderle Valdetaro e Edna Barbosa Valdetaro, nasceu em Vitória, Espírito Santo, em 21 de outubro de 1974.

Concluiu o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, em dezembro de 1993, obtendo o título de Técnico em Agropecuária.

Em 1995, ingressou no curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em março de 2001.

De junho de 2001 a dezembro de 2006, exerceu atividades profissionais nas Centrais Elétricas do Norte do Brasil - ELETRONORTE, nos estados do Acre, Rondônia e Amapá, como funcionário terceirizado, na função de Coordenador de Meio Ambiente.

De janeiro a dezembro de 2006, trabalhou na Arcadis/Tetraplan, ainda prestando serviços à ELETRONORTE.

No ano de 2003, criou a GAIA – Engenharia e Meio Ambiente, uma empresa de consultoria no Estado do Amapá.

De janeiro de 2007 a março de 2009, desempenhou a função de Analista de Operações Florestais, do Programa Produtor Florestal da Aracruz Celulose S. A.

Em agosto de 2009, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. Em julho de 2011, submeteu-se ao exame de defesa de dissertação, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Em 2010, tornou-se parte integrante do corpo de Consultores da Dendrus Projetos Florestais e Ambientais Ltda.

Em agosto de 2011, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de doutorado, pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. Em novembro de 2015, submeteu-se ao exame de defesa de tese, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVOS GERAIS .....	5
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	6
CAPÍTULO I - TESTE DO QUI-QUADRADO ( $\chi^2$ ) PARA ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ENTRE VARIÁVEIS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS DE MATRIZES DE INTERAÇÃO UTILIZADAS EM AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....	8
1. Introdução e Justificativa .....	8
2. Objetivos .....	11
3. Material e Métodos .....	12
3.1 Origem dos dados .....	12
3.2 Organização do banco de dados .....	12
3.3 Análise do nível de associação entre as variáveis .....	13
3.4 Estatística do teste do qui-quadrado .....	14
3.5 Hipóteses a serem testadas .....	15
3.6 Tomada de decisão .....	15
4. Resultados e Discussões .....	16
4.1 Quadros de contingência .....	16
4.2 Teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) .....	23
5. Conclusões .....	25
6. Referências Bibliográficas .....	26
CAPÍTULO II - LÓGICA NEURO-FUZZY APLICADA À AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....	28
1. Introdução e Justificativa .....	28
2. Objetivos .....	30
3. Metodologia .....	31
3.1 Sistema Neuro-fuzzy .....	31
3.1.1 Conjunto de regras .....	37

3.1.2 Arquitetura do Sistema ANFIS .....	38
3.1.3 Análise dos dados .....	39
4. Resultados e Discussão .....	40
4.1 Estimativa do grau de impacto pelo modelo Neuro-fuzzy.....	40
4.2 Gráficos de superfície .....	43
5. Conclusões .....	50
6. Referências Bibliográficas .....	51
4. CONCLUSÕES GERAIS .....	53
APÊNDICES .....	54
ANEXO.....	61

## RESUMO

VALDETARO, Erlon Barbosa, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Novembro de 2015. **Métodos estatísticos e sistema neuro-fuzzy aplicados na avaliação de impactos ambientais.** Orientador: Elias Silva. Coorientadores: Helio Garcia Leite e Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a aplicabilidade do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e da lógica neuro-fuzzy na avaliação de impactos ambientais. Avaliou-se o uso dos métodos para reduzir a gama de dados de matrizes de interação e, assim, facilitar a exposição de seus resultados em audiências públicas e, também, calcular o grau de impacto a partir das características qualitativas do impacto ambiental. O estudo foi realizado com dados extraídos de matrizes de interação de avaliação quali-quantitativa de impactos ambientais de um programa de fomento florestal. O trabalho foi dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo, por meio da estatística do qui-quadrado, foi investigado se a avaliação qualitativa das matrizes de interação exerce alguma influência nos resultados da avaliação quantitativa (grau de impacto) e também se os quadros de contingência, preparados para o teste, podem sintetizar as informações das matrizes de interação. Foi mostrado que existe uma associação entre as variáveis qualitativas e quantitativas e que os quadros de contingência são adequados para sintetizar os resultados das matrizes de interação de impactos ambientais, podendo ser utilizados em audiências públicas como forma de exposição dos resultados. No segundo capítulo foi avaliada a aplicabilidade de um sistema neuro-fuzzy para cálculo do grau de impacto ambiental a partir dos dados de avaliação qualitativa dos mesmos e, ainda, a capacidade dos gráficos de superfície, gerados pelo sistema, sintetizarem os resultados de matrizes de interação. Com os dados obtidos, foram criadas 87 regras e, após treinamento e teste, estimou-se 87 graus de impacto, um para cada regra, evidenciando que é possível a estimativa do grau de impacto por meio de sistema neuro-fuzzy. Os gráficos de superfície gerados pelo sistema se mostraram eficientes na síntese de resultados de matrizes de interação. Os dois métodos testados são capazes de reduzir a

gama de dados de matrizes de interação e facilitam a exposição de resultados em audiências públicas.

## ABSTRACT

VALDETARO, Erlon Barbosa, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2015. **Statistical methods and neuro-fuzzy system applied in the environmental impact assessment.** Adviser: Elias Silva. Co-advisors: Helio Garcia Leite and Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

The overall objective of this study was to evaluate the applicability of the chi-square test ( $\chi^2$ ) and neuro-fuzzy logic in the evaluation of environmental impacts. Evaluated the use of methods to reduce the range of data interaction matrices and thus facilitate the display of results in public audiences and also calculate the degree impact from the qualitative characteristics of environmental impact. The study was conducted with data extracted from interaction matrices of qualitative and quantitative of the environmental impacts assessment of a forest development program. The work was divided into two chapters. In the first chapter, by statistical chi-square, was investigated whether the qualitative assessment of the interaction matrices have some effect on the results of quantitative assessment (degree impact) and also if tables of contingency, prepared for the test, can synthesize interaction matrices' information. It was shown that there is an association between qualitative and quantitative variables and contingency tables are suitable to synthesize the interaction matrices' results and can be used at public hearings as a way to exposure these results. The second chapter was evaluated the applicability of a neuro-fuzzy system to calculate the degree impact from the qualitative evaluation and also the ability of the surface charts, generated by the system, to synthesize the of interaction matrices' results. With the data obtained, 87 rules have been created, and after training and testing, it was estimated 87degrees impact, one for each rule, showing that the estimate of degree impact by neuro-fuzzy system is possible. Surface charts generated by the system proved to be efficient in the synthesis of interaction matrices' results. Both methods tested are able to reduce the range of interaction matrices' data and facilitate exposure results in public hearings.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento da sociedade promove, por muitas vezes, alterações no meio ambiente, seja pela extração dos recursos naturais ou pela simples modificação do ambiente em que vive. Assim, a sociedade mostra-se cada vez mais preocupada, envolvida e exigente quando o assunto é o impacto ambiental oriundo de seu desenvolvimento.

É cada vez maior a necessidade de avaliação de impactos ambientais, visando ao entendimento de como o ambiente pode ser modificado pela implantação ou atualização de determinado empreendimento ou projeto e, a partir desse entendimento, propor ações que minimizem os impactos ambientais de caráter negativo e potencialize aqueles de caráter positivo.

Tomada a decisão de se avaliar os impactos ambientais, existem várias metodologias para realização do estudo. Os métodos de avaliação de impactos ambientais são instrumentos utilizados para coletar, analisar, avaliar, comparar e organizar informações qualitativas e quantitativas sobre os impactos ambientais originados de uma determinada atividade modificadora do meio ambiente, em que são consideradas, também, as técnicas que definirão a forma e o conteúdo das informações a serem repassadas aos setores envolvidos (SILVA, 1999).

Alguns autores listam como principais métodos de avaliação de impactos ambientais os procedimentos espontâneos (ad hoc), listagens de controle e verificação (check-list), modelos de simulação, redes de interação, sobreposição de mapas (overlays) e as matrizes de interações.

De acordo com Silva (1994; 1999), Brito (2001), Lelles (2004) e Valdetaro (2011) os impactos ambientais, de modo geral, podem ser caracterizados qualitativamente com base em 6 (seis) critérios:

**a) Valor** – Impacto positivo ou benéfico e negativo ou adverso, quando há uma melhoria ou diminuição da qualidade de um fator ambiental, respectivamente.

**b) Ordem** – Impacto direto ou primário e impacto indireto ou secundário, como resultado de uma simples relação de causa e efeito ou de uma reação secundária, em relação à ação, respectivamente;

**c) Espaço** – Impacto local (a ação circunscreve-se ao próprio sítio e às suas imediações) e impacto regional (o seu efeito é propagado além da área do sítio onde se dá a reação) e impacto estratégico (neste caso, é afetado um componente ambiental de importância coletiva, nacional ou até mesmo internacional);

**d) Tempo** – Impacto de curto, médio ou longo prazo, dependendo do tempo necessário para o surgimento do impacto.

**e) Dinâmica** – Impacto temporário (o seu efeito é mantido por um tempo determinado), impacto cíclico (o seu efeito é sentido em determinados ciclos, constantes ou não, ao longo do tempo) e impacto permanente (com a ação executada, os efeitos não param de se manifestar, dentro de um horizonte de tempo conhecido);

**f) Plástica** – Impacto reversível (aquele em que, uma vez encerrada a ação, o fator ambiental retorna às condições originais, anteriores à execução da ação) e impacto irreversível (aquele em que, encerrada a ação, o fator ambiental não retorna às condições originais anteriores à execução da ação).

A avaliação quantitativa dos impactos ambientais ocorre pela adaptação numérica da matriz de interação onde estão avaliados, qualitativamente, todos os impactos ambientais causados pelas ações/atividades impactantes. Assim sendo, utiliza-se de um critério numérico para a avaliação dos impactos ambientais identificados. De acordo com a magnitude ou importância dos impactos, atribui-se uma pontuação para caracterizar as alterações do parâmetro ambiental em estudo, dentro de uma escala de zero a cinco adotando-se o sinal (+) para impactos positivos e o sinal (-) para os impactos negativos. A caracterização fica, assim, definida: 0 (nenhum impacto); 1 ou -1 (impacto desprezível); 2 ou -2 (baixo grau de impacto); 3 ou -3 (médio grau de impacto); 4 ou -4 (alto grau de impacto); e 5 ou -5 (muito alto grau de impacto).

A avaliação qualitativa de impactos ambientais gera uma gama de dados categorizados, com duas ou três alternativas de respostas para cada critério avaliado. Como exemplo, temos o critério de valor com duas respostas, positivo e negativo, enquanto o critério de espaço oferece até três alternativas de resposta, local, regional ou estratégico.

Esses dados categóricos podem ser analisados por testes estatísticos específicos que são, frequentemente, utilizados em ciências sociais, nas áreas de saúde e genética, mas com grandes aplicações também em outros setores da ciência (AGRESTI, 1990;

FONSECA, 2008; BARROSO, 2010). Uma variável categórica é aquela em que a escala de medição consiste de um conjunto de categorias. Embora escalas categóricas sejam comuns nas ciências sociais e biomédicas, não são restritas a essas áreas (AGRESTI, 1990).

Para Gotelli e Ellison (2011), muitos estudos ecológicos e ambientais geram variáveis que são categóricas, em vez de contínuas. Por exemplo, as plantas podem estar presentes ou ausentes, os besouros podem ser vermelhos, alaranjados ou pretos. Para o caso de impactos ambientais, eles podem ser negativos ou positivos, locais, regionais ou estratégicos, como já exemplificado. Esses autores afirmam ainda que dados como estes representam contagens ou frequências, de observação de cada categoria e podem ser analisados, com facilidade, usando testes usuais como o qui-quadrado e teste-G.

Antes da aplicação de testes estatísticos, os dados precisam ser organizados em tabelas de contingência de dois fatores, quando há uma única variável preditora categórica; havendo muitas variáveis predictoras, em tabelas de contingência multifatoriais, que podem ser analisadas usando modelos log-lineares ou árvores de classificação (AGRESTI, 1990; GOTELLI e ELLISON, 2011).

A avaliação de impactos ambientais, principalmente quando se utiliza matrizes de interação, produz uma grande quantidade de dados e, de acordo com Taconeli et al., (2008), a análise estatística de grandes bancos de dados requer a utilização de metodologias flexíveis, capazes de produzir resultados esclarecedores e facilmente compreensíveis, frente às dificuldades como a presença de números elevados de variáveis, diferentes graus de associações entre as mesmas e dados ausentes. Essas características são comuns nas matrizes de interação como pode ser evidenciado nas contidas no APÊNDICE.

Para Gotelli e Ellison (2011), a maioria dos estudos ecológicos e ambientais produz dados multivariados, que podem ser quantitativos, qualitativos, contínuos, ordenados e categóricos e se parecem muito com os univariados: consistindo de uma ou mais variáveis independentes (preditoras) e duas ou mais variáveis dependentes (resposta). Os dados univariados e multivariados diferem entre si, em função da análise na organização dos dados e não como eles são coletados.

Os dados multivariados devem ser analisados através de técnicas de análise multivariada que, para Rodrigues & Paulo (2014) referem-se a um conjunto de métodos estatísticos que torna possível a análise simultânea de medidas múltiplas para cada indivíduo, objeto ou fenômeno observado. Assim sendo, os métodos de análise

multivariada são aqueles que permitem analisar, simultaneamente, mais de duas variáveis.

A avaliação de impactos ambientais gera uma gama de dados multivariados que, em muitos casos, podem apresentar certo grau de subjetividade. Nesse sentido, a lógica fuzzy, ou lógica nebulosa, pode ser usada como ferramenta, a fim de auxiliar na tomada de decisão por parte de pesquisadores e partes interessadas e, desse modo, lidar com a inerente incerteza do processo de levantamento de dados e análise.

Para Shepard (2005) o uso de conjuntos fuzzy e lógica fuzzy na avaliação de impactos ambientais permitem a realização de negócios e benefícios sociais, obtidos a partir de inteligência computacional aplicada às preocupações e decisões ambientais. O autor cita, também, que outras ferramentas importantes são a rede neural artificial e algoritmos evolutivos (ou genéticos).

Estas duas técnicas podem ser combinadas com modelos de sistemas fuzzy para resolver vários problemas que têm consequências ambientais.

Os modelos neuro-fuzzy são utilizados para avaliar riscos de gestão em muitas áreas, como a gestão de riscos ambientais, com os mesmos benefícios obtidos nas áreas sociais e de negócios (SHEPARD, 2005).

Devida à grande demanda por avaliação de impactos ambientais, existente em todo o mundo, este trabalho objetiva testar a aplicabilidade do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e sistemas neuro-fuzzy na avaliação de impactos ambientais, de modo a facilitar a exposição dos seus resultados.

Para atendimento a estes objetivos, o trabalho foi dividido em capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo I: Teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para análise de dependência entre variáveis quantitativas e qualitativas de matrizes de interação utilizadas em avaliação de impactos ambientais.

Capítulo II: Lógica neuro-fuzzy aplicada à avaliação de impactos ambientais.

## **2. OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a aplicação do teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e da lógica neuro-fuzzy na redução de dados de matrizes de interação e, assim, facilitar a exposição de seus resultados em audiências públicas.

Como objetivo específico este trabalho avaliou a aplicabilidade do sistema neuro-fuzzy no cálculo do grau de impacto, análise quantitativa, a partir das características qualitativas do impacto ambiental.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRESTI, A. **Categorical data analysis**. Gainesville; Wiley, 1990. 558 p.
- BARROSO, N. C. **Categorização de dados quantitativos para estudos de diversidade genética**. 2010, 97p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010.
- BRITO E. R. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais decorrentes do empreendimento denominado “praias fluviais” no estado de Tocantins**. 2001. 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2001.
- FONSECA, J. R. S. Os métodos quantitativos na Sociologia: dificuldades de uma metodologia de investigação. In: VI CONGRESSO PORTUGUÊS DE SOCIOLOGIA, 2008, Lisboa – Portugal. **Anais...** UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, 2008.
- GOTELLI, J. N.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Tradução: Landeiro V. L. Porto Alegre, RS: Artmed, 2011. 528 p.
- LELLES, L. C. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais oriundos da extração de areia em curso d’água**. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2004.
- RODRIGUES, A.; PAULO E. Introdução à análise multivariada. In: CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M (Coord.) **Análise multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. São Paulo: Atlas, 2014. p. 1-72.
- SHEPARD, R. B. **Quantifying environmental impact assessments using fuzzy logic**. New York, Springer. 2005. 264 p.
- SILVA, E. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994, 309 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1994.
- SILVA, E. **Técnicas de avaliação de impactos ambientais**. Viçosa, MG: CPT, 1999. 64 p. (Vídeo curso, 199).
- TACONELI, C. A.; ZOCCHI, S. S. DIAS, C. T. S Extensões do algoritmo de árvores de classificação para a análise de dados categorizados multivariados utilizando coeficientes de dissimilaridade e entropia. **Revista Brasileira de Biometria**. São Paulo, v. 27, n.1, p. 93-114, 2008.

**VALDETARO, E. B. Avaliação qualiquantitativa de impactos ambientais de um programa de fomento florestal, na Zona da Mata Mineira.** 2011. 203p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2011.

## **CAPÍTULO I**

### **TESTE DO QUI-QUADRADO ( $\chi^2$ ) PARA ANÁLISE DE DEPENDÊNCIA ENTRE VARIÁVEIS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS DE MATRIZES DE INTERAÇÃO UTILIZADAS EM AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

#### **1. Introdução e Justificativa**

Atualmente, no Brasil, os métodos de avaliação de impactos ambientais mais utilizados são os procedimentos espontâneos (ad hoc), as listagens de controle e verificação (check-list), os modelos de simulação, as redes de interação, a sobreposição de mapas (overlays) e as matrizes de interação.

O método das matrizes de interação produz uma série de dados qualitativos e quantitativos e é realizado a partir de tabelas bidimensionais, contendo em suas linhas e colunas, as atividades impactantes (ações) em sua sequência cronológica de realização e os fatores ambientais relevantes, subdivididos nos meios físico, biótico e antrópico respectivamente, como recomenda Silva (1994; 1999). Assim, são feitas as interações entre os fatores ambientais e os componentes (as ações, as interferências) do projeto avaliado (FINUCCI, 2010).

Na prática, o método da matriz de interação indica a existência de impacto ambiental quando é possível estabelecer alguma relação entre a ação prevista (linha) e o fator ambiental analisado (coluna), ou seja, quando ocorre alguma consequência (o impacto ambiental propriamente dito) decorrente desta relação.

Dependendo do porte do empreendimento, em que se aplica o método, as matrizes são simples e, relativamente, pequenas ou complexas e, extremamente, extensas. Quando o empreendimento é de pequeno porte e/ou possui poucas atividades impactantes, como certos postos de combustível ou fábricas de cunho artesanal, os quais têm baixo potencial de alteração do ambiente, as matrizes são normalmente simples. Em

alguns casos, no entanto, surgem matrizes complexas e extensas, exatamente quando o empreendimento avaliado é de grande porte e possui muitas atividades impactantes, como geralmente ocorre com usinas hidrelétricas, linhas de transmissão, indústrias petroquímicas, usinas nucleares, mineradoras etc.

Nesse sentido, quando as matrizes se apresentam de forma complexa, é importante o conhecimento do nível de relação das suas variáveis, a fim de facilitar a exposição dos seus resultados, reduzindo a quantidade de dados e tornando-a mais acessível e de fácil interpretação. Tal situação pode ser obtida com o uso de métodos estatísticos, aplicados a essas matrizes, no entanto é preciso saber se há associação entre as variáveis estudadas, para, então, definir o melhor método estatístico a ser aplicado.

A avaliação qualitativa de impactos ambientais gera uma gama de dados categóricos, com duas ou três alternativas de respostas para cada critério avaliado. Como exemplo, tem-se o critério de valor, com duas respostas: positivo ou negativo, enquanto o critério de espaço oferece três alternativas de resposta: local, regional ou estratégico.

Esses dados categóricos podem ser analisados por testes estatísticos específicos, frequentemente utilizados em ciências sociais, de saúde e da área de genética, mas com grandes aplicações em outros setores da ciência (AGRESTI, 1990; FONSECA, 2008; BARROSO, 2010). Uma variável categórica é aquela em que a escala de medição consiste de um conjunto de categorias. Embora escalas categóricas sejam comuns nas ciências sociais e biomédica, não são restritas a essas áreas (AGRESTI, 1990).

Para Gotelli e Ellison (2011), muitos estudos de caráter ambiental geram variáveis que são categóricas, em vez de contínuas. Por exemplo, as plantas podem estar presentes ou ausentes num determinado ambiente e os besouros podem ser vermelhos, alaranjados ou pretos. Para o caso de impactos ambientais, eles podem ser negativos ou positivos ou locais, regionais ou estratégicos, como já exemplificado. Esses autores afirmam, ainda, que dados como estes representam contagens ou frequências, de observação de cada categoria e podem ser analisados, com relativa facilidade, lançando mão de testes usuais como o qui-quadrado e teste-G.

Sendo assim, antes da aplicação de testes estatísticos, os dados precisam ser organizados em quadros de contingência de dois fatores, ou seja, quando há apenas uma variável preditiva categórica; havendo muitas variáveis preditivas, devem ser usados quadros de contingência multifatoriais, os quais podem ser analisados por meio de modelos log-lineares ou árvores de classificação (AGRESTI, 1990; GOTELLI e ELLISON, 2011).

O uso do teste do qui-quadrado ( $X^2$ ) pode evidenciar se há ou não associação entre as variáveis que compõem a matriz de interação e se uma variável afeta ou não o comportamento de outra. O teste é um instrumento utilizado para analisar se dois grupos diferem entre si em relação à determinada característica (MACHADO et al., 2011).

A estatística do qui-quadrado compara a contagem observada em cada célula do quadro de contagem ou contingência do que seria esperado sob a hipótese de nenhuma associação entre a linha e classificações de coluna. Pode ser utilizada para testar a hipótese de nenhuma associação entre dois ou mais grupos, populações, ou critérios.

O teste é um dos métodos estatísticos mais antigos e mais usados e permite testar a significância (ou grau de associação) existente entre duas variáveis qualitativas ou categóricas (MEIRELES, 2014).

Machado et al. (2011) utilizaram o citado método com o objetivo de averiguar se as variáveis investimento e impacto ambiental são independentes, ou seja, se existe relação entre elas, que pode ou não ser relação de causalidade; pelo teste, concluíram que existe dependência entre as variáveis estudadas. Enfim, por meio do teste do qui-quadrado, os autores confirmaram a relação de causalidade entre o impacto ambiental potencial decorrente das atividades econômicas da empresa e dos investimentos ambientais efetuados por ela.

De forma muito peculiar e numa demonstração da eficiência do teste, Lunsford e Fink (2010) usaram-no para análise de dados em teste de sabor (paladar) de água servida.

A estatística do qui-quadrado também foi aplicada na avaliação da qualidade de estimativa de volume de povoamento de *Eucalyptus grandis* comparando os valores estimados com os valores observados (MACHADO et al., 2005; FERREIRA et al. 2011; SCHÖREDER et al., 2013).

Nesses termos, justifica-se esse capítulo, pois fica evidenciada a importância do conhecimento do nível de associação entre as variáveis e, principalmente, a relação de influência entre elas para a determinação dos métodos de análises a serem adotados.

## **2. Objetivos**

No sentido geral, objetivou-se, com esse capítulo, avaliar a influência das variáveis qualitativas das matrizes de interação de impactos ambientais sobre os resultados apresentados pelas variáveis quantitativas (grau de impacto), através do teste estatístico do qui-quadrado.

Como objetivo específico, buscou-se avaliar os quadros de contingência, preparados para o teste de qui-quadrado, como alternativa de síntese de informações das matrizes de interação.

### **3. Material e Métodos**

#### **3.1 Origem dos dados**

Para a realização deste estudo, foram utilizados os dados obtidos por Valdetaro (2011), que efetuou a avaliação de impactos ambientais de um programa de fomento florestal realizado na Zona da Mata Mineira, região sudeste do Estado de Minas Gerais, Brasil..

O mencionado autor utilizou em seu estudo o método da matriz de interação para a avaliação quali-quantitativa dos impactos ambientais observados. As matrizes qualitativas e quantitativas geradas (veja Apêndice) foram construídas em conformidade com as recomendações de Silva (1994; 1999), que se encontram explicitadas abaixo.

As matrizes de interação, divididas por etapa impactante, avaliam de forma qualitativa os impactos ambientais seguindo os seguintes critérios: valor (positivo ou negativo); ordem (direto ou indireto); espaço (local, regional ou estratégico); tempo (curto, médio ou longo prazo); dinâmica (temporário, permanente ou cíclico); e plástica (reversível ou irreversível) (SILVA, 1994; 1999).

Segundo ainda Silva (1994; 1999), a avaliação quantitativa atribui uma pontuação para caracterizar as alterações do parâmetro ambiental em estudo, de acordo com a sua importância, dentro de uma escala de zero a cinco, adotando-se o sinal positivo (+) para impactos positivos e o sinal negativo (-) para os impactos negativos, ficando assim definido: 0 (nenhum impacto); 1 ou -1 (impacto desprezível); 2 ou -2 (baixo grau de impacto); 3 ou -3 (médio grau de impacto); 4 ou -4 (alto grau de impacto); e 5 ou -5 (muito alto grau de impacto).

#### **3.2 Organização do banco de dados**

Os dados extraídos das matrizes de interação foram organizados em planilhas eletrônicas, com auxílio do software Microsoft Excel, versão 2010; aqueles oriundos da matriz qualitativa foram transformados em variáveis numéricas nominais, recebendo a numeração entre 1 e 3, conforme o número de alternativas de entrada dos critérios avaliados (Quadro 1).

Quadro 1 - Variáveis nominais associadas à avaliação dos critérios utilizados para caracterizar os impactos ambientais encontrados.

<b>Critério</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Variável nominal</b>
Meio	Físico	1
	Biótico	2
	Antrópico	3
Valor	Positivo	1
	Negativo	2
Ordem	Direto	1
	Indireto	2
Espaço	Local	1
	Regional	2
	Estratégico	3
Tempo	Curto Prazo	1
	Médio Prazo	2
	Longo Prazo	3
Dinâmica	Temporário	1
	Cíclico	2
	Permanente	3
Plástica	Reversível	1
	Irreversível	2

Os dados quantitativos receberam a numeração de 1 a 5, de acordo com o grau de impacto, conforme mostrado no item 3.1.

Assim, o software utilizado para a análise estatística, pôde interpretar, através dos números, qual era a avaliação dada em cada critério, uma vez que o mesmo não “lê” caracteres linguísticos.

As análises foram realizadas no software IBM SPSS Statistics 22.

### **3.3 Análise do nível de associação entre as variáveis**

A análise do nível de associação entre as variáveis das matrizes de interação, qualitativa e quantitativa, deu-se por meio do uso do teste do qui-quadrado, com nível de 1% de significância.

A opção por este teste é respaldada por Muturi et al. (2008), Damasceno et al. (2011) e Sans et al. (2014), na medida em que o apregoam como um instrumento importante para se comparar dois grupos, como no presente caso, independentemente do tipo de variável envolvida na análise, ou seja, se ambiental ou de outro perfil.

### 3.4 Estatística do teste do qui-quadrado

Conforme Agresti (1990), Karl Pearson, idealizador do teste em 1900, introduziu a seguinte fórmula para medir as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e esperadas:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \right]$$

em que:

$o_i$  = frequência observada para a  $i$ -ésima variável,

$e_i$  = frequência esperada para  $i$ -ésima variável.

$n$  = número de variáveis analisadas.

Todos os dados foram previamente organizados em tabelas de contingência, evidenciando o número de dados observados, os esperados e os totais (Quadro 2). Essas tabelas são usadas para registrar observações independentes de duas ou mais variáveis aleatórias, normalmente qualitativas (KESLEY e KUMAR, 1995; ELWEN e BES, 2004).

Quadro 2 - Modelo de quadro de contingência utilizado para quantificar as frequências observadas e esperadas dos dados analisados.

Variável A	Variável B				Totais
	1	2	...	J	
1	$n_{11}$	$n_{12}$	...	$n_{1J}$	<b><math>n_{1.}</math></b>
2	$n_{21}$	$n_{22}$	...	$n_{2J}$	<b><math>n_{2.}</math></b>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
I	$n_{I1}$	$n_{I2}$	...	$n_{IJ}$	<b><math>n_{I.}</math></b>
<b>Totais</b>	<b><math>n_{.1}</math></b>	<b><math>n_{.2}</math></b>	<b>...</b>	<b><math>n_{.j}</math></b>	<b><math>n_{..}</math></b>

As frequências observadas foram obtidas diretamente dos dados das amostras e, a partir delas, calcularam-se as frequências esperadas.

As frequências esperadas ( $n_{ij}$ ) para cada classe foram calculadas a partir da seguinte fórmula, considerando os dados organizados nas tabelas de contingência.

$$n_{ij} = \left( \frac{\text{Total marginal da linha } (n_{.1}) \times \text{total marginal da coluna } (n_{1.})}{\text{Total geral } (n_{..})} \right)$$

em que:

$n_{ij}$  = frequência esperada da variável na i-ésima linha e j-ésima coluna.

### 3.5 Hipóteses a serem testadas

Neste estudo foram testadas duas hipóteses:

Hipótese nula ( $H_0$ ): As frequências observadas não diferem das frequências esperadas. Verifica-se que não existe diferença entre as frequências (contagens) dos grupos, assim, não há associação entre os grupos; em síntese: a qualificação e a quantificação dos impactos ambientais analisados são independentes.

Hipótese alternativa ( $H'$ ): As frequências observadas são diferentes das frequências esperadas. Nesse caso, há associação entre os grupos, ou seja, a qualificação e a quantificação dos impactos ambientais analisados não são independentes, pois uma variável interfere no resultado da outra.

### 3.6 Tomada de decisão

Para a tomada de decisão, a respeito do resultado do teste de  $\chi^2$ , é necessária a obtenção de duas estatísticas, denominadas  $\chi^2_{\text{calculado}}$  e  $\chi^2_{\text{tabelado}}$  (Tabela em anexo).

O  $\chi^2_{\text{calculado}}$ , conforme já mostrado, é obtido a partir dos dados experimentais, levando-se em consideração os valores observados e os esperados, tendo em vista a hipótese.

O  $\chi^2_{\text{tabelado}}$ , por sua vez, depende do número de graus de liberdade e do nível de significância adotado.

A tomada de decisão é feita comparando-se os dois valores de  $\chi^2$ :

Se  $\chi^2_{\text{calculado}} \geq$  ou  $= \chi^2_{\text{tabelado}}$ : Rejeita-se  $H_0$ .

Se  $\chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{tabelado}}$ : Aceita-se  $H_0$ .

Ao consultar a tabela de  $\chi^2$ , observa-se que é determinada uma probabilidade de ocorrência daquele acontecimento.

O nível de significância (alfa) representa a máxima probabilidade de rejeitar a hipótese  $H_0$  e ela ser de fato verdadeira.

O número de graus de liberdade é calculado a partir do tamanho do quadro de contingência. De modo geral é expresso por  $(s-1).(r-1)$ , sendo  $s$  e  $r$  o número de linhas e de colunas na tabela de contingência.

Para a aplicação do teste  $\chi^2$ , a amostra deve conter, pelo menos, 5 observações em cada célula. Quando ocorrer um valor inferior a 5, o teste Exato de Fisher deve ser aplicado, como forma complementar ao teste  $\chi^2$ .

## 4. Resultados e Discussões

No sentido de facilitar a compreensão dos resultados obtidos, os mesmos foram apresentados primeiramente para os quadros de contingência e depois para o teste do qui-quadrado, conforme itens abaixo.

### 4.1 Quadros de contingência

Para abordar os resultados, foram apresentados os quadros de contingência, em que foram elencados os dados de relacionamento entre o grau de impacto e o meio ambiental (físico, biótico e antrópico) e, também, o grau de impacto com todos os critérios analisados, ou seja, valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plástica (Quadros 3 a 9).

Quadro 3 – Quadro de contingência para a quantificação (grau de impacto) e o meio onde o impacto está inserido.

Informação		Meio			Total	
		Físico	Biótico	Antrópico		
Grau de impacto	Desprezível	Observado	67	72	17	156
		Esperado	56,7	64,6	34,6	156,0
	Baixo Grau	Observado	62	69	44	175
		Esperado	63,6	72,5	38,8	175,0
	Médio Grau	Observado	20	34	27	81
		Esperado	29,5	33,6	18,0	81,0
	Alto Grau	Observado	18	19	12	49
		Esperado	17,8	20,3	10,9	49,0
	Muito alto Grau	Observado	5	2	5	12
		Esperado	4,4	5,0	2,7	12,0
Total	Observado	172	196	105	473	
	Esperado	172,0	196,0	105,0	473,0	

Na distribuição dos impactos ambientais entre os meios e o seu grau, percebe-se que os desprezíveis e de baixo grau nos meios físico e biótico (270) representam a grande maioria (57,08%) do total encontrado. Também se observou que na distribuição dos impactos nos meios ambientais, o biótico (196 e 41,44%) é o mais afetado em termos numéricos, já que o físico apresentou 172 impactos (36,36%) e o antrópico 105

(22,20%). Dentre outras informações que podem ser extraídas do Quadro 3, esta fica mais fácil de ser observada em um quadro de contingência do que diretamente nas matrizes de interação, fato que certamente auxiliará o empreendedor a melhor explicar, em audiências públicas, os resultados alcançados pela avaliação de impactos ambientais.

A maior diferença entre a frequência observada e a esperada foi detectada nos impactos desprezíveis do meio antrópico (17,6 pontos). No teste do qui-quadrado, que considera a diferença entre as frequências observada e a frequência esperada, essa variável tem grande importância no resultado.

O quadro de contingência (Quadro 3) mostra que os impactos ambientais de grau desprezível e de baixo grau totalizam 331 impactos (156+175), número que representa praticamente 70% do total encontrado. Essa informação se torna de difícil visualização, se somente as matrizes de interação forem utilizadas como forma de exposição dos resultados; enfim, os quadros de contingência ajudam sobremaneira neste sentido.

No Quadro 4, apresenta-se o quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de valor do impacto ambiental.

Quadro 4 – Quadro de contingência para a quantificação (grau de impacto) e o critério de valor do impacto ambiental.

Informação			Valor		Total
			Positivo	Negativo	
Grau de impacto	Desprezível	Observado	41	115	156
		Esperado	56,4	99,6	156,0
	Baixo Grau	Observado	69	106	175
		Esperado	63,3	111,7	175,0
	Médio Grau	Observado	28	53	81
		Esperado	29,3	51,7	81,0
	Alto Grau	Observado	26	23	49
		Esperado	17,7	31,3	49,0
	Muito alto Grau	Observado	7	5	12
		Esperado	4,3	7,7	12,0
	Total	Observado	171	302	473
		Esperado	171,0	302,0	473,0

Os impactos ambientais negativos (302) representam 63,85% do total encontrado. Na prática, isto indica que de cada três impactos ambientais observados, dois são negativos. Na distribuição dos impactos ambientais entre o critério de valor e o grau de impacto, verificou-se que aqueles avaliados como desprezíveis e de baixo grau, com caráter negativo (221), representaram a maior parte (46,72%) dos impactos encontrados.

A maior diferença entre as frequências observada e esperada foi observada nos impactos desprezíveis de valor positivo e negativo, ambos com 15,4 pontos. Apesar

disso, também se observam outras diferenças marcantes, entre as frequências observadas e esperadas, em todos os impactos ambientais analisados.

No Quadro 5, encontra-se o quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de ordem do impacto ambiental.

Quadro 5 - Quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de ordem do impacto ambiental.

Informação			Ordem		Total
			Direto	Indireto	
Grau de impacto	Desprezível	Observado	71	85	156
		Esperado	80,5	75,5	156,0
	Baixo Grau	Observado	89	86	175
		Esperado	90,3	84,7	175,0
	Médio Grau	Observado	45	36	81
		Esperado	41,8	39,2	81,0
	Alto Grau	Observado	31	18	49
		Esperado	25,3	23,7	49,0
	Muito alto Grau	Observado	8	4	12
		Esperado	6,2	5,8	12,0
Total	Observado	244	229	473	
	Esperado	244,0	229,0	473,0	

Relacionando o grau de impacto com o critério de ordem (Quadro 5), a maior diferença entre as frequências observada e esperada foi detectada nos impactos desprezíveis de ordem direta e indireta, ambos com 9,5 pontos.

De outra parte, identificou-se que o número de impactos ambientais de ordem direta 244 (51,59%) e indireta, 229 (48,41%) foi praticamente na mesma proporção, o que demonstra uma distribuição equilibrada entre os impactos avaliados. Isto indica que cerca da metade dos impactos ambientais observados ocorrem numa relação de causa e efeito (diretos), enquanto a outra parte decorre de uma cadeia de reações (indiretos).

Também se percebe que os avaliados como de baixo grau de ordem direta (89), foi o grupo com maior expressão dentro da totalidade (18,82%).

Se comparada aos outros quadros de contingências, o Quadro 5 possui uma menor diferença entre as frequências observadas e esperadas. No teste usado, fica evidente que, quanto menor essa diferença, menor será o valor de qui-quadrado calculado e, portanto, maiores serão as chances de não haver relação de dependência entre as variáveis estudadas.

No Quadro 6, se encontra o quadro de contingência para a quantificação (grau de impacto) e o critério de espaço do impacto ambiental.

Quadro 6 - Quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de espaço do impacto ambiental.

Informação		Espaço			Total	
		Local	Regional	Estratégico		
Grau de impacto	Desprezível	Observado	90	53	13	156
		Esperado	88,1	42,5	25,4	156,0
	Baixo Grau	Observado	114	39	22	175
		Esperado	98,8	47,7	28,5	175,0
	Médio Grau	Observado	29	30	22	81
		Esperado	45,7	22,1	13,2	81,0
	Alto Grau	Observado	27	7	15	49
		Esperado	27,7	13,4	8,0	49,0
	Muito alto Grau	Observado	7	0	5	12
		Esperado	6,8	3,3	2,0	12,0
	Total	Observado	267	129	77	473
		Esperado	267,0	129,0	77,0	473,0

O critério de espaço (local, regional e estratégico) relacionado ao grau de impacto trouxe números que mostram as maiores diferenças entre todas as frequências observadas e esperadas, se comparado a outros resultados deste estudo (quadros de contingência).

Observou-se que a maior variação entre as frequências foi observada nos impactos locais e de médio grau (16,7 pontos). Dentre os impactos mostrados no Quadro 6, quatro deles (desprezível e regional; desprezível e estratégico; baixo grau e local; e ainda médio grau e local) possuem variação entre as frequências acima de 10 pontos, sendo, respectivamente, 10,5; 12,4; 15,2; e 16,7 pontos.

Essa grande variação entre as frequências observada e esperada possibilitou que a relação entre o grau de impacto e o critério de espaço tivesse o maior valor de qui-quadrado e assim, conseqüentemente, a maior relação entre as variáveis.

O Quadro 7 traz o quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério tempo do impacto ambiental.

Quadro 7 - Quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério tempo do impacto ambiental.

Informação			Tempo			Total
			Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo	
Grau de impacto	Desprezível	Observado	61	74	21	156
		Esperado	71,9	58,4	25,7	156,0
	Baixo Grau	Observado	76	73	26	175
		Esperado	80,7	65,5	28,9	175,0
	Médio Grau	Observado	47	17	17	81
		Esperado	37,3	30,3	13,4	81,0
	Alto Grau	Observado	24	12	13	49
		Esperado	22,6	18,3	8,1	49,0
	Muito alto Grau	Observado	10	1	1	12
		Esperado	5,5	4,5	2,0	12,0
Total	Observado	218	177	78	473	
	Esperado	218,0	177,0	78,0	473,0	

A comparação entre o grau de impacto com o critério de temporalidade mostrou que os impactos de grau desprezível e de médio prazo possuem a maior variação entre as frequências observadas e esperadas (15,6 pontos).

Os impactos ambientais de curto prazo (218) são a grande maioria dos impactos encontrados, representando 46,09% do total. Esse número é 1,23 vezes maior que o número de impactos ambientais de médio prazo e 2,79 vezes maior que os impactos ambientais de longo prazo. Essa informação pode ser deduzida pelo uso do quadro de contingência, ao contrário da matriz de interação, o que mais uma vez demonstra a sua aplicabilidade no sentido de evidenciar resultados, notadamente para o público leigo.

Este tipo de informação é de muita utilidade em audiências públicas, uma vez que as partes interessadas (atores sociais) anseiam em saber se os impactos ambientais começarão a surgir já na implantação do empreendimento (curto prazo) ou mais à frente (médio ou longo prazo).

De sua parte, o Quadro 8 faz referência ao quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de dinâmica do impacto ambiental.

Quadro 8 - Quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de dinâmica do impacto ambiental.

Informação		Dinâmica			Total	
		Temporário	Cíclico	Permanente		
Grau de impacto	Desprezível	Observado	147	0	9	156
		Esperado	131,3	1,3	23,4	156,0
	Baixo Grau	Observado	147	3	25	175
		Esperado	147,3	1,5	26,3	175,0
	Médio Grau	Observado	56	1	24	81
		Esperado	68,2	0,7	12,2	81,0
	Alto Grau	Observado	39	0	10	49
		Esperado	41,2	0,4	7,4	49,0
	Muito alto Grau	Observado	9	0	3	12
		Esperado	10,1	0,1	1,8	12,0
	Total	Observado	398	4	71	473
		Esperado	398,0	4,0	71,0	473,0

O critério de dinâmica, quando relacionado ao grau de impacto, evidenciou que o número de impactos ambientais temporários (398) representa a ampla maioria dos impactos encontrados (84,14%), sendo 99,5 vezes maior que os de caráter cíclico (4) e 5,6 vezes maior que os de caráter permanente (71).

Do ponto de vista de quem participa de uma audiência pública ou de um processo de licenciamento ambiental, fica fácil observar, mostrar e entender que a grande maioria desses impactos é de caráter temporário, ou seja, eles têm uma longevidade previsível, após o término da ação impactante. De modo geral, essa informação pode trazer certa tranquilidade ao empreendedor, aos representantes do órgão licenciador e à população afetada pelo empreendimento, na medida em que naturalmente se preocupam com o caráter de temporalidade dos impactos ambientais.

Embora nem todos os estudos de impacto ambiental terão este resultado, é fato que em uma audiência pública resultados semelhantes devem ser explorados e evidenciados. Os quadros de contingência podem auxiliar nesse processo, sintetizando os resultados das complexas matrizes de interação ao evidenciar os mais expressivos.

Dentro da relação entre o caráter de dinâmica e o grau de impacto, a maior variação entre as frequências observada e esperada ocorreu nos impactos ambientais de grau desprezível e caráter temporário, ou seja, com 15,7 pontos de variação.

O Quadro 9 traz o quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de plástica do impacto ambiental.

Quadro 9 - Quadro de contingência para a variável quantificação (grau de impacto) e o critério de plástica do impacto ambiental.

Informação			Plástica		Total
			Reversível	Irreversível	
Grau de impacto	Desprezível	Observado	147	9	156
		Esperado	132,3	23,7	156,0
	Baixo Grau	Observado	150	25	175
		Esperado	148,4	26,6	175,0
	Médio Grau	Observado	57	24	81
		Esperado	68,7	12,3	81,0
	Alto Grau	Observado	38	11	49
		Esperado	41,5	7,5	49,0
	Muito alto Grau	Observado	9	3	12
		Esperado	10,2	1,8	12,0
Total	Observado	401	72	473	
	Esperado	401,0	72,0	473,0	

Analisando o critério de plástica ao grau de impacto, observou-se que os desprezíveis e reversíveis e também os desprezíveis e irreversíveis possuem a maior diferença entre as frequências observadas e esperadas, dentre todos os impactos analisados, com 14,7 pontos cada.

Dos impactos ambientais analisados no Quadro 9, quatro de 10 deles (desprezível reversível, desprezível irreversível, médio grau reversível e médio grau irreversível) apresentaram diferença entre as frequências observada e esperada acima da casa dos 10 pontos. Esse percentual elevado evidenciou a grande associação entre as variáveis.

Quando somadas as frequências observadas destes impactos ambientais foi obtido o número de 237 (50,10%) do total. Isso mostrou o quão significativo são esses impactos para o teste de associação entre as variáveis (qui-quadrado).

## 4.2 Teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ )

Os resultados da aplicação do teste do qui-quadrado são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Resultado do teste do qui-quadrado para os graus de impactos relacionados aos critérios ambientais.

Análise	$\chi^2_{\text{calc}}$	$\chi^2_{\text{tab}}$	Teste Fischer	GL	$\alpha$	N
Grau de impacto x Meio	24,253*	20,090	25,803	8	0,01	473
Grau de impacto x Valor	16,113**	13,277	16,072	4	0,01	473
Grau de impacto x Ordem	6,621 ns	13,277	6,55	4	0,01	473
Grau de impacto x Espaço	46,180*	20,090	45,919	8	0,01	473
Grau de impacto x Tempo	29,541*	20,090	29,313	8	0,01	473
Grau de impacto x Dinâmica	30,054*	20,090	30,511	8	0,01	473
Grau de impacto x Plástica	26,882**	13,277	27,361	4	0,01	473

\* Significativo pelo teste de  $\chi^2$  em nível de 1% de significância e 8 graus de liberdade.

\*\* Significativo pelo teste de  $\chi^2$  em nível de 1% de significância e 4 graus de liberdade.

ns - Não Significativo pelo teste de  $\chi^2$  em nível de 1% de significância e 4 graus de liberdade.

A análise que comparou o grau de impacto com o critério de espaço foi a que apresentou maior grau de associação entre as variáveis com  $\chi^2_{\text{calc}} = 46,180$ . Esse valor é 1,5 vezes maior que a comparação envolvendo o critério de dinâmica, que foi o segundo com maior avaliação no teste ( $\chi^2_{\text{calc}} = 30,054$ ).

O critério de ordem é o único que apresentou resultado não significativo no teste do qui-quadrado ( $\chi^2_{\text{calc}} = 6,621$ ). Isso ocorreu devido à baixa diferença entre as frequências observada e esperada de cada célula do quadro de contingência. Pelo teste de qui-quadrado, quanto maior for essa diferença, maior será o resultado de  $\chi^2_{\text{calc}}$ , pois se trata de um somatório das diferenças entre as frequências.

Outro fator que contribuiu para o resultado não significativo do teste foi o fato do critério de ordem apresentar apenas duas opções de resposta (direto e indireto). Assim, o quadro de contingência para este critério possui cinco linhas e duas colunas, ou seja, quatro graus de liberdade. Desse modo, o valor de  $\chi^2_{\text{tab}}$  torna-se mais restritivo, uma vez que se tem menos dados para compor o somatório de  $\chi^2_{\text{calc}}$  e o mesmo segue uma tendência de ter valores menores, ficando mais próximos do valor tabelado. Todavia, isso não pode ser tomado como regra, uma vez que os critérios de valor e plástica também apresentam apenas duas opções (valor: negativo ou positivo; plástica: reversível ou irreversível) e, quando relacionados ao grau de impacto, se mostraram significativos em nível de 1% e quatro graus de liberdade. Enfim, é facilmente

perceptível pelo Quadro 10 que existe a tendência das análises que possuem oito graus de liberdade apresentarem, de forma geral, maior valor de  $\chi^2_{\text{calc}}$  do que aquelas com quatro graus de liberdade.

## 5. Conclusões

As variáveis qualitativas (critérios de avaliação de impactos) exercem influência nas variáveis quantitativas (grau de impacto), ou seja, existe associação entre as mesmas. Para as condições estabelecidas no presente estudo, apenas o critério de ordem (impactos diretos e indiretos) não demonstrou essa influência.

O critério de espaço apresentou maior associação com as variáveis de quantificação (grau de impacto), devido os maiores valores de  $\chi^2_{\text{calc}}$ , tornando-se aquele com maior capacidade de influência na definição do grau de impacto.

Os quadros de contingência elaborados para o teste do qui-quadrado são adequados para sintetizar os resultados das matrizes de interação de impactos ambientais. Assim, podem ser utilizados em audiências públicas como forma de exposição dos resultados, facilitando o entendimento de todos os atores sociais envolvidos no processo de licenciamento, que são: o empreendedor, o consultor (o elaborador do estudo de impacto ambiental), os representantes do órgão ambiental licenciador e, principalmente, o público leigo que participa efetivamente dessas audiências. Porém, eles devem ser expostos no estudo de impacto ambiental e nas audiências públicas logo após as matrizes de interação, sem jamais substituí-las. Enfim, são instrumentos complementares.

## 6. Referências Bibliográficas

- AGRESTI, A. **Categorical data analysis**. Gainesville. Wiley. 1990. 558 p.
- BARROSO, N. C. **Categorização de dados quantitativos para estudos de diversidade genética**. 2010, 97 p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010.
- DAMASCENO, N. P.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. O impacto do Pronaf sobre a sustentabilidade da agricultura familiar, geração de emprego e renda no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v. 49, n. 1, Brasília. 2011.
- ELWEN, S. H.; BES, P. B. Environmental factors influencing the distribution of southern right whales (*Eubalaena australis*) on the south coast of South Africa II: within bay distribution. **Marine Mammal Science**, v. 20, n. 3, p. 583-601, 2004.
- FERREIRA, J. C. S.; SILVA, J. A. A.; MIGUEL, E. P.; ENCINAS, J. I.; TAVARES, J. A. Eficiência relativa de modelos volumétricos com e sem a variável altura da árvore. **Revista ACTA Tecnológica**, v. 6, n. 1, p. 89-102, 2011.
- FINUCCI, M. **Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial do plantio de transgênicos**. 2010. 230 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2010.
- FONSECA, J. R. S. Os Métodos Quantitativos na Sociologia: Dificuldades de Uma Metodologia de Investigação. In: VI CONGRESSO PORTUGUÊS DE SOCIOLOGIA, 2008, Lisboa – Portugal. **Anais...** UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, 2008.
- GOTELLI, J. N.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Tradução: Landeiro V. L. Porto Alegre, RS: Artmed, 2011. 528 p.
- KESLEY, D.J.; KUMAR, K. **The collection, analysis, and use of monitoring and evaluation data**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1995.
- LUNSFORD, M. L.; FINK, A. D. D. Water Taste Test Data. **Journal of Statistics Education**, Longwood University, v. 18, n. 1, p. 1-19, 2010.
- MACHADO, M. R.; MACHADO, M. A. V.; MURCIA, F. D. R.; Em busca da legitimidade social: relação entre o impacto ambiental da atividade econômica das empresas brasileiras e os investimentos no meio ambiente. **Revista Universo Contábil**, FURB, Blumenau, v. 7, n. 1, p. 20-35, 2011.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 81-98, 2005.

MEIRELLES, M. O Uso do SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) na Ciência Política: uma breve introdução. **Pensamento Plural**, Pelotas v. 14, p. 65-91, 2014.

MUTURI, E. J.; MWANGANGI, J.; SHILILU, J.; JACOB, B. G.; MBOGO, C.; GITHURE, J.; NOVAK, R. J. Environmental factors associated with the distribution of *Anopheles arabiensis* and *Culex quinquefasciatus* in a rice agro-ecosystem in Mwea, Kenya. **Journal of Vector Ecology**. v. 33, n. 1, p. 56-63, 2008.

SANS, E. C. S.; FEDERICI, J. F.; HAMMERSCHMIDT, J.; CLEMENTE, H. C.; DAHLKE, F.; MOLENTO, C. F.M. O enriquecimento ambiental sobre o bem-estar de frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p.1867-1873, 2014.

SCHRÖDER, T.; HOFIÇO, N. A. S.; ZIMMERMANN, A. P. L.; PEREIRA, L.; ROCHA JUNIOR, D. S.; MEYER, E. A.; FLEIG, F. D. Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 01-07, 2013.

SILVA, E. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994. 309 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1994.

SILVA, E. **Técnicas de avaliação de impactos ambientais**. Viçosa, MG, CPT, 1999, 64 p. (Videocurso, 199).

VALDETARO, E. B. **Avaliação quali-quantitativa de impactos ambientais de um programa de fomento florestal, na Zona da Mata Mineira**. 2011. 203 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

## **CAPÍTULO II**

### **LÓGICA NEURO-FUZZY APLICADA À AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

#### **1. Introdução e Justificativa**

Ditado pelo crescimento econômico, que traz de forma inerente a implantação de empreendimentos impactantes, no Brasil, é cada vez mais comum e exigida à realização de estudos de impacto ambiental. Com o advento da tecnologia e a sua facilidade de acesso, os profissionais que realizam este tipo de estudo têm buscado recursos que facilitem o desenvolvimento de seus trabalhos, bem como o aperfeiçoamento da apresentação de seus resultados.

Sendo assim, em todas as áreas do conhecimento é cada vez mais comum a adoção de sistemas inteligentes para tomada de decisão e os profissionais dedicados aos estudos ambientais também têm adotado esta postura.

Desse modo, cresce, a cada dia, o uso de programas de inteligência artificial, cada vez mais avançados, que auxiliam os profissionais em todas as áreas do conhecimento. Também, são cada vez maiores as áreas de aplicações destes programas como diagnósticos médicos, reconhecimento e análise de imagens, modelos preditivos, estimativas econômicas, entre outras (CHAVES, 2013).

Um grande avanço nas pesquisas atuais foi o uso da Inteligência Artificial (IA). Essa tecnologia é definida por Rezende (2003) como sendo a capacidade da ciência da computação, voltada à execução das funções que são desempenhadas pelos seres humanos, isto é, imitar a inteligência na compreensão da linguagem e da visão, aprendizado, raciocínio lógico, resolução de problemas simples ou complexos, dentre outros.

Nesse aspecto, os sistemas neuro-fuzzy podem ser considerados como um sistema de inteligência artificial híbrido, pois combina redes neurais artificiais e lógica Fuzzy (FULLÉR, 1995).

Fullér (1995) afirmou que as redes neurais são indicadas para o reconhecimento de padrões, mas ineficientes para explicar como as suas decisões são tomadas, enquanto os sistemas de lógica fuzzy são capazes de explicar suas decisões a partir do raciocínio com informações imprecisas, mas incapazes de ajustar, automaticamente, suas regras de decisão. Dessa maneira, a utilização de um sistema híbrido incorpora as vantagens das duas ferramentas, o que implica dizer que pode ser aplicado em uma maior quantidade de situações, incluindo-se a área de avaliação de impactos ambientais.

Na literatura científica encontram-se estudos aplicando sistemas neuro-fuzzy em diversas áreas do conhecimento incluindo a ambiência.

Assim, Noori et al. (2010), analisaram a previsão da concentração de monóxido de carbono (CO), utilizando redes neurais artificiais e modelos ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) no Irã.

Também Savic et al. (2013) utilizaram modelo ANFIS para a previsão da concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) em área urbana na Sérvia.

Um sistema neuro-fuzzy foi empregado por Khoshnevisan et al. (2013) na avaliação de impactos ambientais de plantações de morango, em campo aberto e estufa, na província de Guilan, no Irã.

Armaghani et al. (2015) usaram o sistema ANFIS na previsão de impactos ambientais de uma pedreira de jateamento e concluíram que o modelo neuro-fuzzy foi superior ao das redes neurais na predição dos picos de velocidade das partículas e do ar sob pressão.

Sabe-se, enfim, que o perfil das pesquisas tende a se alterar muito rápido com o avanço da ciência, devido aos métodos e técnicas estarem em contínua transformação, o que contribui, significativamente, para o surgimento de novos padrões de investigação científica (CARVALHO et al., 2006).

Daí, o interesse deste estudo nos sistemas neuro-fuzzy. Eles representam inovação e podem, de forma simples e objetiva, serem aplicados nas diversas áreas da ambiência, principalmente em estudos de impactos ambientais, ou, mais precisamente, com o uso de matrizes de interação.

## **2. Objetivos**

O objetivo geral do estudo foi avaliar a eficiência do emprego da lógica neuro-fuzzy na avaliação de impactos ambientais realizada para um programa de fomento florestal com o método de matrizes de interação.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar, pelo uso da lógica neuro-fuzzy, a possibilidade de estimar o grau de impacto ambiental (avaliação quantitativa) a partir de suas variáveis qualitativas.
- Verificar o potencial de síntese de algumas informações extraídas das matrizes de interação, por meio do uso de gráficos, facilitando o seu entendimento e tornando mais compreensível os seus resultados em audiências públicas ou mesmo para os técnicos que avaliam os estudos.

### **3. Metodologia**

De forma inédita termos mundiais, utilizou-se a técnica de modelagem neuro-fuzzy para previsão do grau de impactos ambientais a partir de dados qualitativos provenientes de matrizes de interação.

Os dados reais foram extraídos das matrizes de interação produzidas por Valdetaro (2011), em um estudo qualitativo/quantitativo de impactos ambientais de um programa de fomento florestal (veja Apêndices I a VI). Deste mesmo estudo, foram extraídos os valores do grau de impacto (variáveis quantitativas) utilizados no treinamento do modelo neuro-fuzzy.

As análises foram realizadas no software Matlab® versão 2015a (MATLAB®, 2015).

#### **3.1 Sistema Neuro-fuzzy**

Um conjunto fuzzy é definido como algo sem uma fronteira bem definida, sendo gradual a transição entre pertencer ou não ao conjunto (JANG & SUN, 1995). Sob essa lógica, contrariando o que é preconizado na teoria clássica dos conjuntos, cada elemento possui um valor de pertencimento ao conjunto que varia entre 0 e 1, seguindo uma distribuição contínua apropriada (função de pertinência), a exemplo as funções triangular, trapezoidal e Gaussiana (ZADEH, 1965). Esse mesmo autor mostra que os conjuntos fuzzy possuem operações similares aos conjuntos tradicionais, como união, intersecção e complemento. Ainda, possuem dois operadores AND (T-norm) e OR (T-conorm), que realizam operações de produto e soma, em termos dos valores das funções de pertencimento de dois conjuntos fuzzy, respectivamente.

A lógica fuzzy possui regras do tipo SE-ENTÃO da forma “se x é A então y é B” (JANG, 1995), em que A e B são valores linguísticos, sendo “x é A” chamado de antecedente e “y é B” chamado de consequente.

Para o processo de conversão de entradas em saídas, adotam-se diferentes modelos de inferência fuzzy, destacando-se os modelos Mandani, Tsukamoto e Takagi Sugeno.

O modelo Takagi Sugeno, que também é chamado de Sugeno, possui regras do tipo “se  $x$  é  $A$  e  $y$  é  $B$  então  $z = f(x, y)$ ”, em que  $A$  e  $B$  são conjuntos fuzzy antecedentes e  $z = f(x, y)$  é o conjunto consequente (JANG et al, 1997). A função  $f$  é um polinômio, referenciado em função de seu grau, no qual o consequente de cada regra é uma combinação linear das entradas. Tal modelo não envolve um processo de defuzzificação e a saída é uma combinação linear ponderada dos consequentes (IBRAHIM, 2003). A defuzzificação é uma etapa onde é dado um peso às diversas respostas fornecidas pelas regras lógicas e atribui-se à saída um número. Esse número retrata a pertinência de uma variável na função estudada. O processo de defuzzificação produz uma saída precisa, a partir do conjunto fuzzy de saída obtido pelo sistema de inferência.

O sistema Takagi-Sugeno, com duas entradas ( $x$  e  $y$ ) e duas regras ( $R^1$  e  $R^2$ ) (Heddham et al., 2012) pode ser representado como:

$$R^1 = \text{SE } (x \text{ é } A_1) \text{ E } (y \text{ é } B_1) \text{ ENTÃO } (f_1 = p_1x_1 + q_1x_2 + c_1) \quad (1)$$

$$R^2 = \text{SE } (x \text{ é } A_2) \text{ E } (y \text{ é } B_2) \text{ ENTÃO } (f_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + c_2) \quad (2)$$

Nesse caso,  $A_1$  e  $A_2$  são conjuntos fuzzy,  $f_1$  e  $f_2$  são as saídas especificadas pelas regras e  $p_1, q_1, c_1, p_2, q_2$  e  $c_2$  são parâmetros definidos durante o treinamento. Um modelo ANFIS, sigla em inglês para Sistema de Inferência Adaptativo Neuro-Fuzzy, considerando as regras (1) e (2), pode ser ilustrado conforme Figura 1.

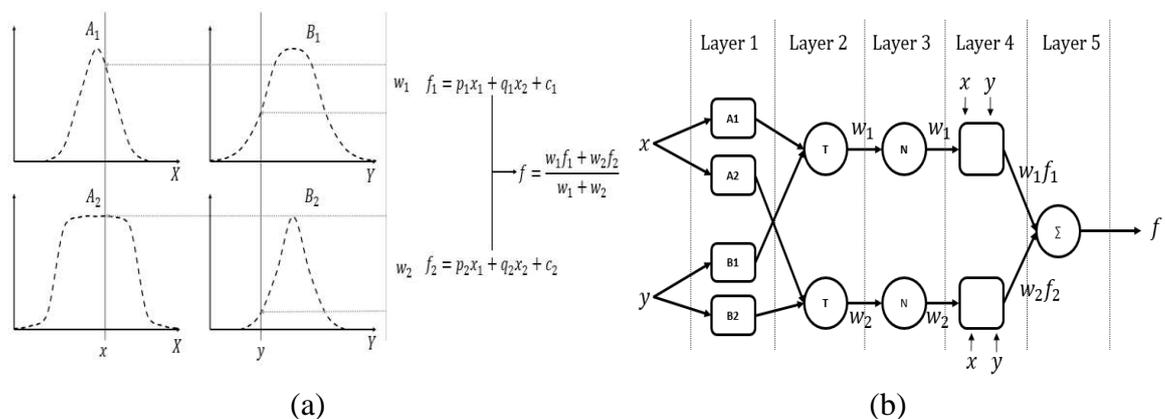


Figura 1 - Esquema de um sistema ANFIS. Adaptado de Heddham et al. (2012).

A Figura 1(b) contém a estrutura ANFIS com a seguinte descrição para cada camada (HEDDAM et al., 2012):

- Layer 1: cada nó, representado por  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  e  $B_2$  possui uma Função de Pertinência (Membership Function - MF) associada. Desse modo, a camada tem como entradas (inputs) os valores  $x$  e  $y$  e, como saída, o resultado da MF. Se a MF for a Gaussiana, a função de pertinência para o conjunto  $A_1$  pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mu_{A_1}(x) = \exp \left[ -0.5 \left\{ \frac{(x-c_i)}{\sigma_i} \right\}^2 \right] \quad (3)$$

em que  $\sigma_i$  e  $c_i$  são parâmetros ajustados.

- Layer 2: cada componente desta camada representa uma regra de inferência fuzzy, conforme (1) e (2). A saída  $w_i$  é, neste caso, o produto das entradas (t-norma).

- Layer 3: ocorre a normalização das saídas do Layer 2. Assim, tem-se a razão da  $i$ -ésima regra pela soma de todas as regras:

$$w'_i = \frac{w_i}{(w_1 + w_2 + \dots + w_n)} \quad (4)$$

- Layer 4: é a camada que possui os polinômios do conjunto consequente. A saída de tal layer é o produto da saída da layer 3 pelo valor do polinômio:

$$w'_i f_i = w'_i (p_i x + q_i y + c_i) \quad (5)$$

em que  $p_i$ ,  $q_i$  e  $c_i$  são parâmetros ajustados.

- Layer 5: camada que irá gerar o somatório das saídas da Layer 4, representando assim a saída global do sistema.

$$Saída = \sum_{i=1}^n w'_i \cdot f_i \quad (6)$$

Dessa maneira, o aprendizado do sistema compreende a alteração dos parâmetros das camadas (layers) 1 e 4, de modo que as saídas sejam as mais verossímeis em relação aos valores utilizados no treinamento. Para isso, dois processos podem ser adotados: backpropagation ou hybrid. O primeiro compreende o método do gradiente descendente, no qual o vetor gradiente é determinado a partir do algoritmo de retro propagação do erro (Usberti, 2007); já o segundo processo combina o método de mínimos quadrados (LS) com o método do gradiente descendente. Assim, o sistema encontra os parâmetros do consequente por LS a partir de parâmetros fixos para as funções de pertinência; com isto, os parâmetros do antecedente são calculados por backpropagation a partir dos erros de saída (HEDDAM et al., 2012).

O modelo neuro-fuzzy deste estudo, baseado no processo de inferência de Takagi-Sugeno, foi desenvolvido utilizando três funções de pertinência para o critério de meio (físico, biótico e antrópico), duas para o critério de valor (positivo e negativo), duas para o critério de ordem (direto e indireto), três para o critério de espaço (local, regional e estratégico), três para o critério de tempo (curto prazo, médio prazo e longo prazo), três para o critério de dinâmica (temporário, cíclico e permanente) e duas para o critério de Plástica (reversível e irreversível).

Para este estudo foi gerada a seguinte estrutura (Figura 2):

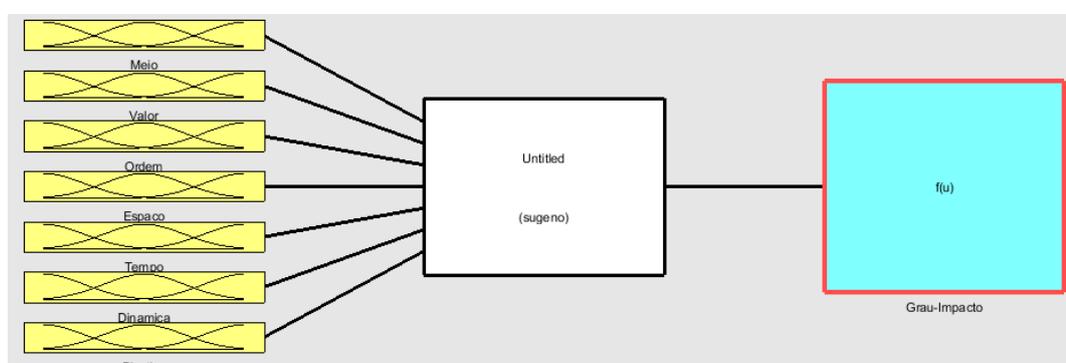


Figura 2 - Estrutura do modelo neuro-fuzzy Sugeno para o estudo proposto.

Considerando todas essas funções de pertinência possíveis, quando combinadas têm-se 648 combinações (regras) factíveis ( $3 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2$ ), a partir da combinação de resposta de cada critério. Nesse estudo, fazem parte do conjunto de regras no sistema neuro-fuzzy somente aquelas efetivamente presentes nas matrizes de interação objeto da pesquisa. Estas foram utilizadas no treinamento e checagem do sistema, totalizando 87 regras, a partir da consideração dos 473 impactos ambientais efetivamente identificados por Valdetaro (2011) nas matrizes de interação.

As variáveis de entrada para o modelo neuro-fuzzy são o meio, o valor, a ordem, o espaço, o tempo, a dinâmica e a plástica dos impactos ambientais analisados. Os dados de entrada, variáveis numéricas nominais, utilizados para elaborar o modelo neuro-fuzzy são apresentados na Tabela 1, mostrando a classificação das variáveis de entrada, obtida na base de dados com valor mínimo e máximo (universo de discurso).

Tabela 1 - Dados de entrada e suas respectivas classificações numéricas.

<b>Variável de entrada</b>	<b>Classificação numérica</b>
Meio	1(Físico); 2 (Biótico) ou 3 (Antrópico)
Valor	1 (Positivo) ou 2 (Negativo)
Ordem	1 (Direto) ou 2 (Indireto)
Espaço	1 (Local); 2 (Regional) ou 3 (Estratégico)
Tempo	1 (Curto Prazo); 2 (Médio Prazo) ou 3 (Longo Prazo)
Dinâmica	1 (Temporário); 2 (Cíclico) ou 3 (Permanente)
Plástica	1 (Reversível) ou 2 (Irreversível)

Cada variável de entrada é expressa em uma, duas ou três alternativas de resposta (Tabela 1). Essas respostas são definidas a partir das funções de pertinência de cada variável, dentro do horizonte de variação de cada uma delas.

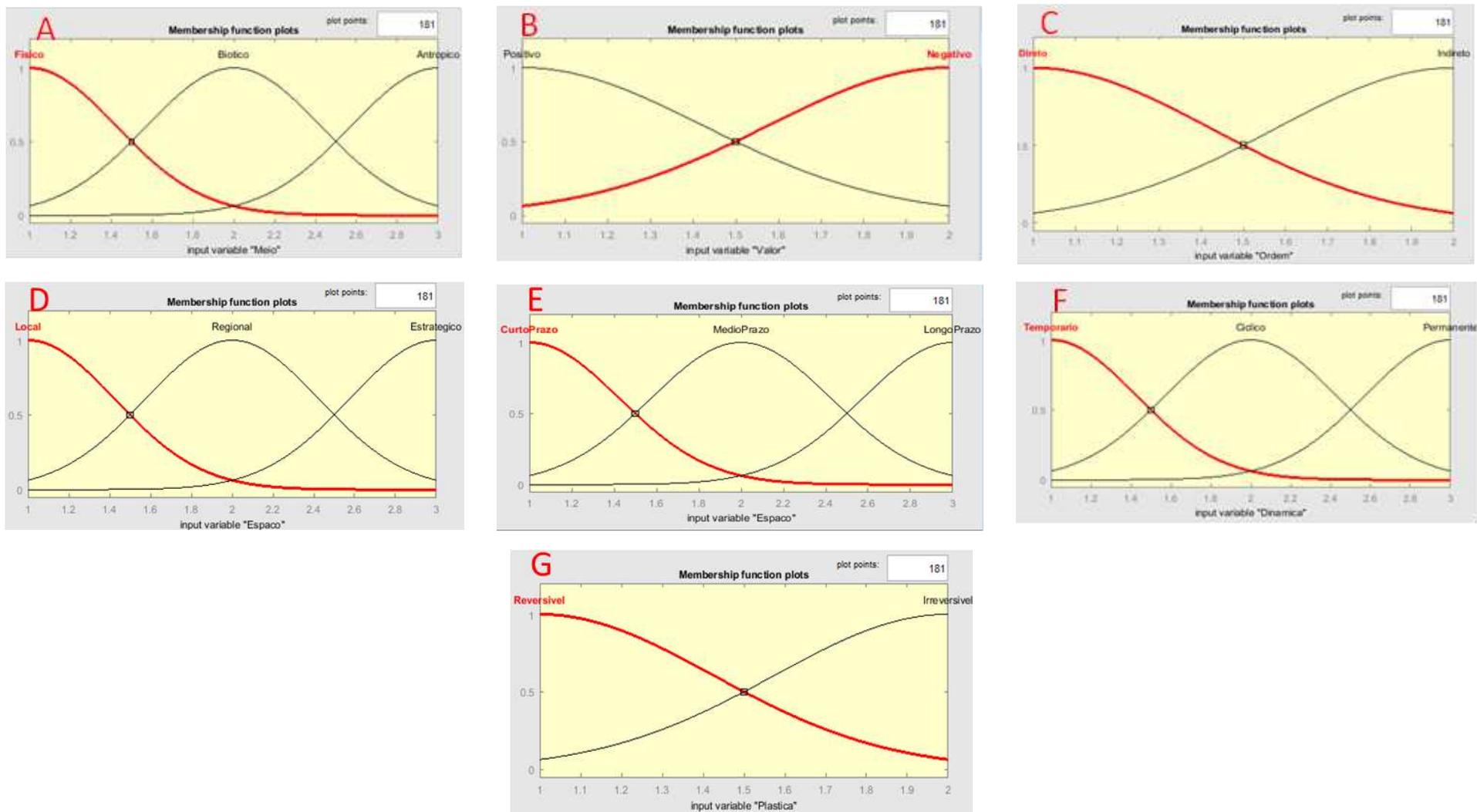
O uso da função de pertinência é considerado, por muitos pesquisadores, bastante subjetivo. Quando uma função é especificada para um mesmo conceito, esta pode apresentar resultados variados, quando definida por especialistas diferentes (OLIVEIRA JUNIOR et al. 2007). Além de representar os limites de cada conjunto fuzzy, a função de pertinência define o quanto um elemento pertence a este conjunto (CHAVES, 2013).

Neste estudo, foi utilizada a Função de Pertinência de Gauss e a classificação de cada variável de entrada foi feita com base nos valores máximos e mínimos dos dados.

Para a tabulação dos dados das matrizes de interação, os meios físico, biótico e antrópico receberam as variáveis numéricas 1, 2 e 3, respectivamente (Figura 3-A).

O grau de pertinência varia de 0 a 1 no eixo vertical. No eixo horizontal, a partir do ponto de inflexão de cada curva, a classificação do critério analisado resulta no intervalo entre 0,5 a 1,5 para físico, 1,5 a 2,5 para biótico e 2,5 a 3,5 para antrópico.

Figura 3 - Gráficos das funções de pertinência para os critérios de meio (A), valor (B), ordem (C), espaço(D), tempo (E), dinâmica (F) e plástica (G).



Na tabulação dos dados do critério de valor, o impacto positivo recebeu a variável numérica 1 e o negativo 2, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para positivo e 1,5 a 2,5 para negativo (Figura 3-B).

Na tabulação dos dados do critério de ordem, o impacto direto recebeu a variável numérica 1 e o indireto 2, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para direto e 1,5 a 2,5 para indireto (Figura 3-C).

Na tabulação dos dados do critério de espaço, os impactos local, regional e estratégico receberam as variáveis numéricas 1, 2, e 3, respectivamente, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para local e 1,5 a 2,5 para regional e 2,5 a 3,5 para estratégico (Figura 3-D).

Na tabulação dos dados do critério de tempo os impactos de curto prazo, médio prazo e longo prazo receberam as variáveis numéricas 1, 2, e 3, respectivamente, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para curto prazo e 1,5 a 2,5 para médio prazo e 2,5 a 3,5 para longo prazo (Figura 3-E).

No critério de dinâmica a tabulação dos dados atribuiu aos impactos temporários, cíclicos e permanentes as variáveis numéricas 1, 2, e 3, respectivamente, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para temporário e 1,5 a 2,5 para cíclico e 2,5 a 3,5 para permanente (Figura 3-F).

O critério de plástica recebeu a variável numérica 1 para impactos reversíveis e a 2 para os irreversíveis, com intervalo definido de 0,5 a 1,5 para reversível e 1,5 a 2,5 para irreversível (Figura 3-G).

### 3.1.1 Conjunto de regras

Na combinação das entradas que constavam nas matrizes de interação, construindo 87 regras, foi possível observar que elas são factíveis; por isso, todas as regras receberam peso um.

A Figura 4 apresenta parte da base de regras editada no toolbox fuzzy do Matlab®.

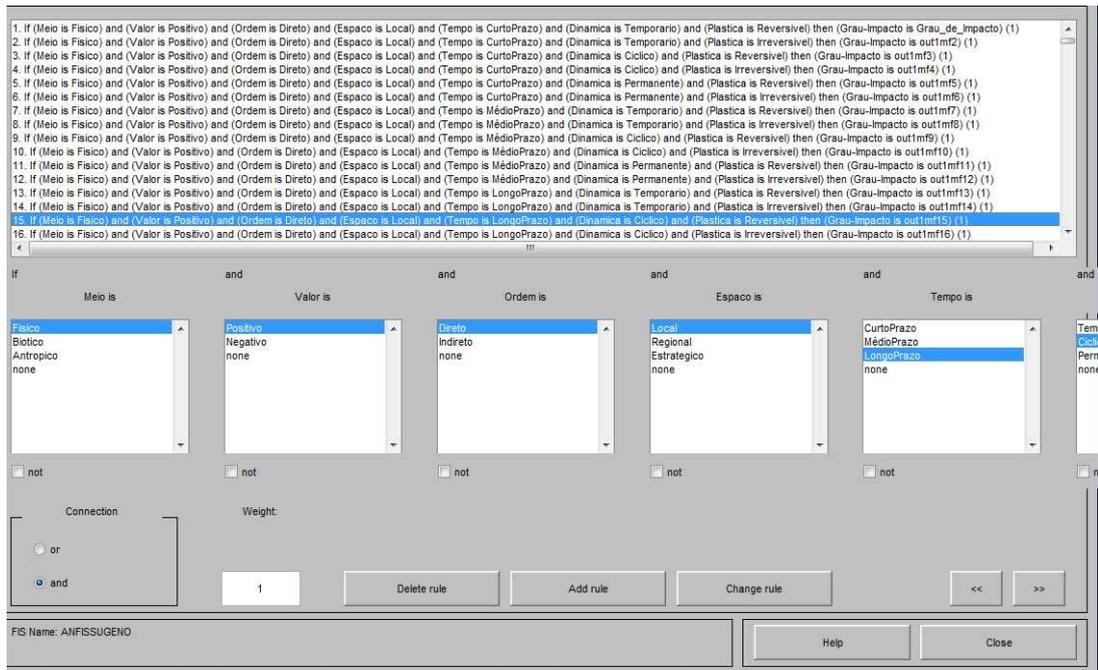


Figura 4 – Exemplo de parte da base de regras fuzzy editadas no programa Matlab®.

### 3.1.2 Arquitetura do Sistema ANFIS

O sistema ANFIS criado para este estudo possui sete entradas (input). A camada um (inputmf) apresenta duas ou três funções de pertinência para cada uma das entradas; na camada três (rules) tem-se a agregação das 87 regras; e por último, uma saída (output).

Nesta janela é possível visualizar a arquitetura da rede gerada pelo ANFIS, como mostrado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

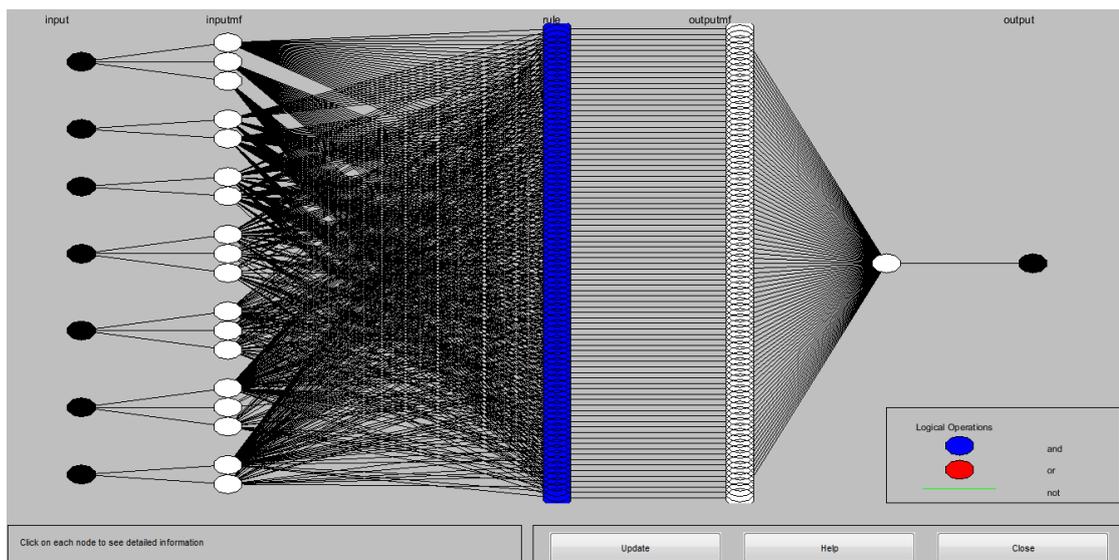


Figura 5 - Estrutura ANFIS usada no estudo.

### 3.1.3 Análise dos dados

Para o treinamento do modelo neuro-fuzzy, optou-se pelo uso do método híbrido. Este método consiste na combinação dos métodos de back-propagation e dos mínimos quadrados; o primeiro foi associado às estimativas dos parâmetros das funções de pertinência de entrada, e o segundo, associado às estimativas dos parâmetros de saída das funções de pertinência.

Na fase de treinamento do modelo existem dois parâmetros para o critério de parada do treinamento dos dados: a tolerância de erro e o número de ciclos (épocas).

A tolerância de erro é utilizada para criar um critério de paragem do treinamento, que está relacionado com o tamanho de erro (KAUR & DHINDSA, 2014). O treinamento irá parar depois que o erro de dados de treinamento permanece dentro desta tolerância, que deve ser um valor muito pequeno para o caso de não se conhecer o comportamento do erro durante o treinamento (SILVA, 2014). Por este motivo adotou-se, para esse estudo, o valor de 0,05.

Outro parâmetro é o número de ciclo (ou época). Uma época corresponde à apresentação completa de todos os elementos do conjunto de treinamento acompanhada dos ajustes de pesos da rede (SOARES & SILVA, 2011). Assim, com um critério de parada baseado no número de épocas, o treinamento de uma rede é encerrado logo após atingir uma determinada quantidade de épocas (BINOTI, 2012). O critério denominado convergência define o número de ciclos após o qual, se o erro médio não diminuir, o treinamento é finalizado (BRAGA, 2007).

Nesse estudo optou-se pelo número de 50 épocas, por que a partir daí o erro de treinamento permaneceu constante, ou seja, não diminuiu.

Para o sistema de inferência, foi utilizado o modelo de inferência fuzzy Takagi-Sugeno (JANG & SUN, 1995). O treinamento do sistema foi feito utilizando o método híbrido, que combinou os métodos back-propagation, para os parâmetros das funções de pertinência das entradas, e mínimos quadrados, para ajustar os coeficientes dos polinômios das saídas (SILVA et al., 2014).

No presente estudo, foram incluídos todos os dados referentes aos impactos ambientais das matrizes de interação consideradas para desenvolver o modelo. Estes perfazem 473 impactos. Ou seja, 331 impactos ambientais foram utilizados para treinamento (70%), 15% para teste (71 impactos ambientais) e outros 15% para validação do modelo.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Estimativa do grau de impacto pelo modelo Neuro-fuzzy

Este estudo é pioneiro no uso da lógica neuro-fuzzy para avaliação quantitativa de impactos ambientais, a partir de dados qualitativos, extraídos de matrizes de interação.

Apesar do caráter pioneiro e, de certo modo, prospectivo, o modelo neuro-fuzzy testado estimou de forma precisa o grau de impacto baseado nas características qualitativas de cada um deles.

A escala do grau de impacto estimado se mostrou semelhante à escala de grau de impacto dos dados reais, ou seja, presentes nas matrizes quantitativas. Esse fato se deu pela escolha do método de análise Back-propagation grid partition. De acordo com Mesiarová-Zemánková & Ahmad (2010), sua utilização é mais justificada quando se tem pequena quantidade de variáveis de entrada e de funções de pertinência, o que não gera um grande número de regras nebulosas, que reduz a capacidade avaliativa do sistema.

A Figura 6 apresenta o quão próximo ou distante o sistema está do resultado e também apresenta o erro de treinamento obtido pelo modelo (0.86973). Esse erro é menor que o encontrado por Chaves (2013) que utilizou um sistema neuro-fuzzy parecido com o deste estudo, mas adaptado para avaliar os efeitos da poluição no ar e obteve um erro de 2,691.

O erro de treinamento representa a diferença entre a resposta desejada e a saída de rede (SOARES & SILVA, 2011).

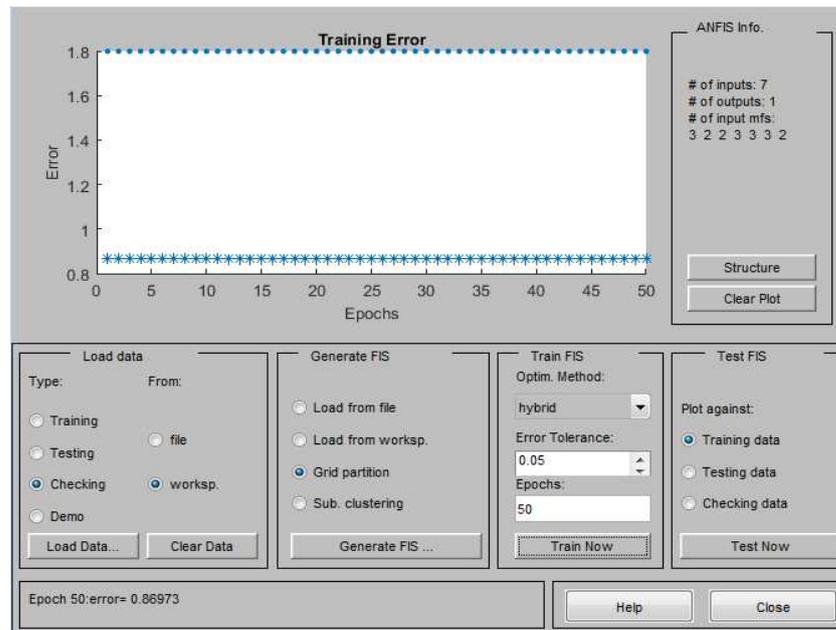


Figura 6 - Janela de treinamento do sistema neuro-fuzzy evidenciando o erro de treinamento da ordem de 0,86973.

Na Tabela 2 são apresentados os graus de impacto estimados pelo sistema para cada regra analisada.

Tabela 2 - Grau de impacto estimado pelo modelo neuro-fuzzy para cada regra elaborada.

Antecedente	Regra	Grau de impacto	Antecedente	Regra	Grau de impacto
[FPDLCTV]	[1 1 1 1 1 1 1]	3,59	[BNDLMTV]	[2 2 1 1 2 1 1]	0,32
[FPDLMTV]	[1 1 1 1 2 1 1]	0,61	[BNDLOTV]	[2 2 1 1 3 1 1]	2,18
[FPDLOTV]	[1 1 1 1 3 1 1]	6,02	[BNDRCTV]	[2 2 1 2 1 1 1]	2,70
[FPDECTV]	[1 1 1 3 1 1 1]	1,26	[BNDROTV]	[2 2 1 2 3 1 1]	0,31
[FPILCTV]	[1 1 2 1 1 1 1]	1,95	[BNDECTV]	[2 2 1 3 1 1 1]	3,10
[FPILMTV]	[1 1 2 1 2 1 1]	0,26	[BNILCTV]	[2 2 2 1 1 1 1]	0,80
[FPILOTV]	[1 1 2 1 3 1 1]	2,19	[BNILMTV]	[2 2 2 1 2 1 1]	0,12
[FPIRMTV]	[1 1 2 2 2 1 1]	2,59	[BNILMAS]	[2 2 2 1 2 3 2]	0,06
[FPIECTV]	[1 1 2 3 1 1 1]	4,69	[BNIRCTV]	[2 2 2 2 1 1 1]	1,15
[FPIECAS]	[1 1 2 3 1 3 2]	3,22	[BNIRMTV]	[2 2 2 2 2 1 1]	2,01
[FPIEMTV]	[1 1 2 3 2 1 1]	2,87	[BNIRMAS]	[2 2 2 2 2 3 2]	0,19
[FNDLCTV]	[1 2 1 1 1 1 1]	1,81	[BNIROTV]	[2 2 2 2 3 1 1]	0,22
[FNDLMTV]	[1 2 1 1 2 1 1]	0,18	[BNIROAS]	[2 2 2 2 3 3 2]	1,05
[FNDLOTV]	[1 2 1 1 3 1 1]	1,04	[BNIECTV]	[2 2 2 3 1 1 1]	3,22
[FNDLOAS]	[1 2 1 1 3 3 2]	0,86	[BNILOTV]	[2 2 2 1 3 1 1]	1,82
[FNDRCTV]	[1 2 1 2 1 1 1]	1,61	[BNIECAS]	[2 2 2 3 1 3 2]	2,15
[FNDRCAS]	[1 2 1 2 1 3 2]	2,08	[BNIEMTV]	[2 2 2 3 2 1 1]	3,35
[FNDROTV]	[1 2 1 2 3 1 1]	2,03	[aPDLCTV]	[3 1 1 1 1 1 1]	2,40
[FNDROAS]	[1 2 1 2 3 3 2]	0,30	[aPDLMTV]	[3 1 1 1 2 1 1]	0,27
[FNDECTV]	[1 2 1 3 1 1 1]	1,99	[aPDLLOTV]	[3 1 1 1 3 1 1]	1,86
[FNDEMTV]	[1 2 1 3 2 1 1]	2,12	[aPDRCTV]	[3 1 1 2 1 1 1]	0,62
[FNILCTV]	[1 2 2 1 1 1 1]	3,12	[aPDRCAS]	[3 1 1 2 1 3 2]	1,91
[FNILMTV]	[1 2 2 1 2 1 1]	0,37	[aPDROTV]	[3 1 1 2 3 1 1]	0,29
[FNILMAS]	[1 2 2 1 2 3 2]	0,79	[aPDECTV]	[3 1 1 3 1 1 1]	4,36
[FNILOTV]	[1 2 2 1 3 1 1]	2,73	[aPDECYV]	[3 1 1 3 1 2 1]	2,92
[FNIRCTV]	[1 2 2 2 1 1 1]	1,91	[aPDECAS]	[3 1 1 3 1 3 2]	3,54
[FNIRMTV]	[1 2 2 2 2 1 1]	0,19	[aPDEM AS]	[3 1 1 3 2 3 2]	0,23
[FNIRMAS]	[1 2 2 2 2 3 2]	1,92	[aPDEOTV]	[3 1 1 3 3 1 1]	0,11
[FNIROAS]	[1 2 2 2 3 1 1]	1,15	[aPILCTV]	[3 1 2 1 1 1 1]	6,30
[FNIROTV]	[1 2 2 2 3 3 2]	4,31	[aPILOTV]	[3 1 2 1 3 1 1]	2,03
[BPDLCTV]	[2 1 1 1 1 1 1]	2,26	[aPIRMTV]	[3 1 2 2 2 1 1]	6,38
[BPDLMTV]	[2 1 1 1 2 1 1]	0,22	[aPIECTV]	[3 1 2 3 1 1 1]	2,96
[BPDLLOTV]	[2 1 1 1 3 1 1]	1,26	[aPIEMTV]	[3 1 2 3 2 1 1]	0,29
[BPILCYV]	[2 1 2 1 1 2 1]	1,99	[aPIEOTV]	[3 1 2 3 3 1 1]	1,66
[BPILMTV]	[2 1 2 1 2 1 1]	0,12	[aNDLCTV]	[3 2 1 1 1 1 1]	2,25
[BPILOTV]	[2 1 2 1 3 1 1]	1,53	[aNDLCAS]	[3 2 1 1 1 3 2]	3,40
[BPIRMTV]	[2 1 2 2 2 1 1]	2,62	[aNDLMTV]	[3 2 1 1 2 1 1]	0,24
[BPIEMTV]	[2 1 2 3 2 1 1]	1,26	[aNDLMAS]	[3 2 1 1 2 3 2]	0,36
[BPIEMAS]	[2 1 2 3 2 3 2]	1,40	[aNDLOTV]	[3 2 1 1 3 1 1]	1,52
[BNDLCTV]	[2 2 1 1 1 1 1]	2,82	[aNDLOAS]	[3 2 1 1 3 3 2]	2,23
[BNDLCYV]	[2 2 1 1 1 2 1]	1,96	[aNDRMAS]	[3 2 1 2 2 3 2]	0,04

...continua

Tabela 2, cont.

Antecedente	Regra	Grau de impacto	Antecedente	Regra	Grau de impacto
[a N D R O A S]	[3 2 1 2 3 3 2]	0,15			
[a N D E C T V]	[3 2 1 3 1 1 1]	4,89			
[a N D E C A S]	[3 2 1 3 1 3 2]	3,00			
[a N D E M T V]	[3 2 1 3 2 1 1]	9,04			
[a N I L M T V]	[3 2 2 1 2 1 1]	6,29			

**Legenda:** F (Meio Físico); B (Meio Biótico); a (Meio Antrópico); P (Positivo); N (Negativo); D (Direto); I (Indireto); L (Local); R (Regional); E (Estratégico); C (Curto Prazo); M (Médio Prazo); O (Longo Prazo); T (Temporário); Y (Cíclico); A (Permanente); V (Reversível); S (Irreversível).

Verifica-se que algumas das 87 regras existentes, ou mais precisamente 31 delas (35,6%) aparecem com o grau de impacto fora da escala testada (1-5). Isso ocorre devido à baixa frequência do tipo de impacto analisado, gerando pouca ou nenhuma variância. Esse fato dificulta a análise, pelo sistema, do padrão de ocorrência destes impactos e reduz a capacidade do mesmo de estimar o grau de impacto. Em outros termos, quando um tipo específico de impacto ocorre mais raramente, nos dados analisados, ele tem a estimativa do seu grau de impacto dificultada.

## 4.2 Gráficos de superfície

Parte dos resultados apresentados pela adoção de sistemas neuro-fuzzy na estimativa do valor do grau de impacto, pode ser expressa na forma de gráficos de superfície.

Esses gráficos permitem combinar até dois critérios de avaliação de impactos ambientais (valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plástica) com o grau de impacto dos mesmos, que é previamente calculado pelo sistema. Esses gráficos podem explicar, de maneira mais simples, objetiva e atrativa ao público em geral, os resultados encontrados nas matrizes de interação.

Conforme escolha do consultor (elaborador do estudo de impacto ambiental) e empreendedor (titular ou responsável pela obra impactante), essa combinação de critérios pode ser uma estratégia importante para atender às expectativas levantadas pelo público alvo de uma audiência pública.

Como é de amplo conhecimento dos técnicos que atuam no setor, nessas audiências, a combinação entre o critério de valor do impacto ambiental (positivo ou negativo) com o meio em que ocorre tem, quase sempre, tomado a maior parte da atenção das pessoas. Na prática, os atores sociais, partes envolvidas na avaliação de impactos ambientais, procuram fundamentalmente saber sobre a ocorrência dos

impactos negativos sobre o meio biótico (por exemplo, eventual perda de espécies endêmicas) e, também, qual o grau de impacto daqueles considerados positivos sobre o meio antrópico (por exemplo, número de empregos gerados).

Um exemplo da importância deste tipo de informação é observado quando o empreendimento afeta uma população tradicional, como tribos indígenas, comunidades quilombolas ou de ribeirinhos. Nas audiências públicas destes empreendimentos é enorme a preocupação quanto ao grau e ao critério de valor (se é positivo ou negativo) dos impactos que atingem o meio antrópico, notadamente em relação a essas minorias étnicas.

Na Figura 7, com os dados deste estudo, nota-se que os impactos de caráter positivo que ocorrem no meio físico são aqueles que possuem o maior grau de impacto. De modo contrário, os impactos negativos no meio antrópico são aqueles que possuem o menor grau de impacto, aproximando-se da avaliação quantitativa “desprezível”. Por sua vez, o meio biótico recebe impactos ambientais praticamente de mesmo grau, independente do valor, ou seja, se positivo ou negativo.

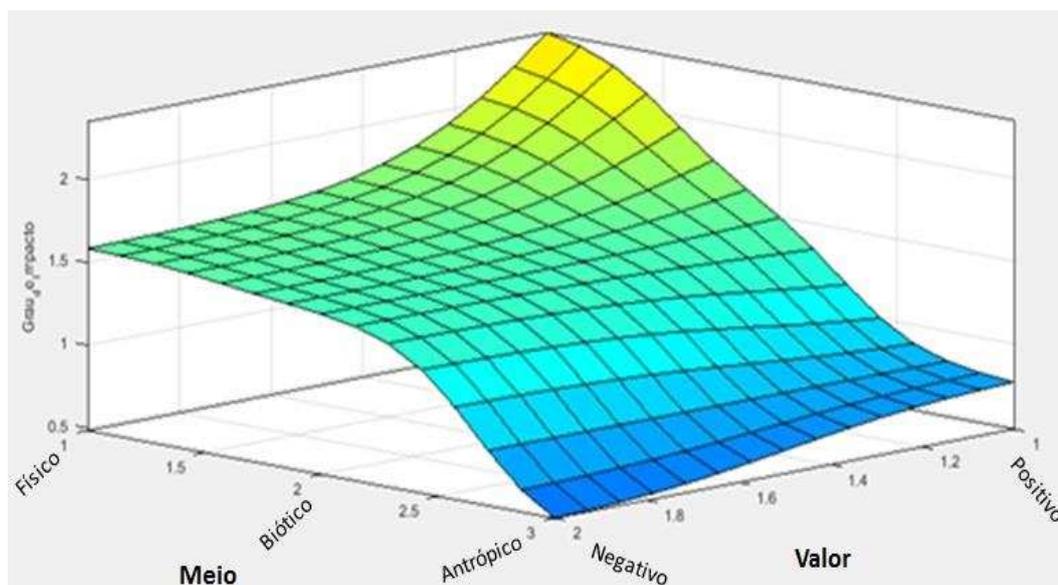


Figura 7 - Gráfico de superfície combinando os critérios de meio e valor dos impactos ambientais, com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Em audiências públicas, são comuns questionamentos sobre os impactos ambientais negativos e, principalmente, em que meio eles ocorrem. Vale ressaltar que as matrizes de interação possuem essa informação, mas de forma implícita e de difícil interpretação para leigos, os quais perdem bastante tempo para extraí-las e interpretá-las, ou ainda, para realizar a contagem combinada dos impactos. Tal fato se agrava em

estudos de impactos ambientais de empreendimentos com grande potencial de alteração do ambiente. Vale lembrar que grandes obras, dada à sua complexidade, requerem a construção de matrizes de interação robustas (extensas), em que não raro se têm dezenas de linhas (ações impactantes) e colunas (fatores ambientais dos meios físico, biótico e antrópico), dificultando ainda mais a sua interpretação.

Ao se fazer uso desse tipo de gráfico (de superfície), a informação é repassada e esclarecida ao público de uma forma direta, didática, servindo, ainda, como preparação da equipe (consultores e empreendedores) para a audiência, uma vez que caberá a ela explicar os impactos identificados.

Outro critério de avaliação muito questionado em audiências públicas é o de plástica, que mostra a reversibilidade ou irreversibilidade do impacto ambiental. Nesse sentido, a região em amarelo na Figura 8 mostra que os impactos ocorridos no meio biótico, e que são irreversíveis, possuem maior grau de impacto que os demais, atingindo a escala de 2,5 e podem ser considerados, em média, como impactos de médio grau. Como se pode perceber, essa informação deve despertar a atenção do empreendedor com relação às medidas ambientais a serem adotadas para mitigar os impactos ambientais de caráter negativo e potencializar os de caráter positivo.

De sua parte, a região azul escuro na mesma figura evidencia que os impactos ambientais irreversíveis no meio antrópico são aqueles com menor grau de impacto. Assim, como informação estratégica, na medida em se estuda os três meios, se pode afirmar que o meio antrópico é aquele que recebe os impactos de menor grau, em média.

O meio biótico concentra os impactos de médio grau, enquanto o meio físico tem, quase como uma constante, recebido impactos ambientais de baixo grau.

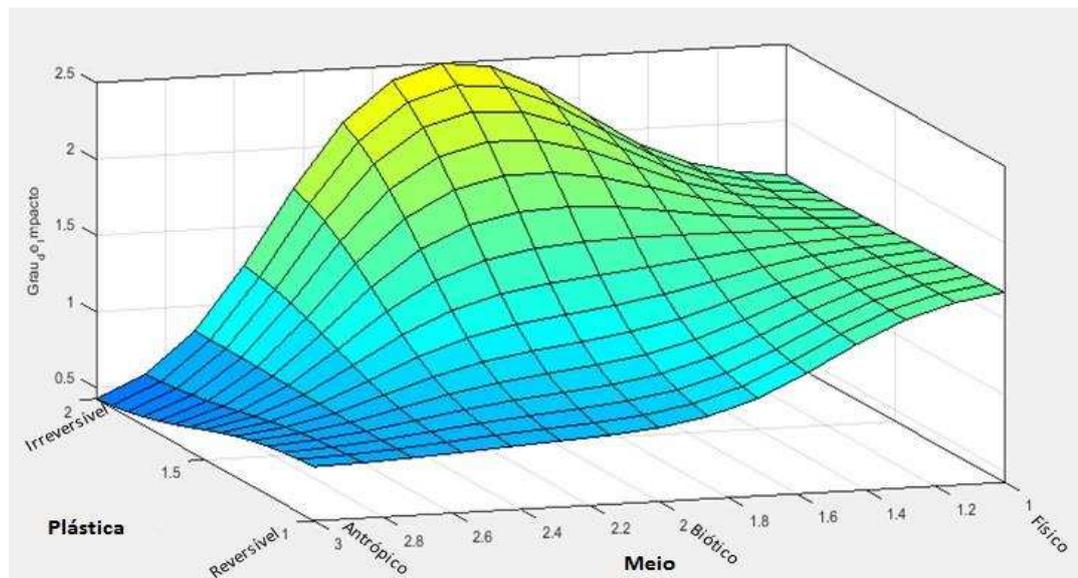


Figura 8 - Gráfico de superfície combinando os critérios de meio e plástica dos impactos ambientais, com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Para o caso do empreendimento utilizado neste estudo, fica evidenciado que o meio biótico recebe os impactos irreversíveis de maior grau.

Evidenciar a ocorrência e a distribuição precisa dos impactos ambientais pode gerar informação de cunho estratégico para bem conduzir uma audiência pública, já que tem o potencial de esvaziar discussões infrutíferas, com o repasse da informação esclarecedora.

Na relação do critério de dinâmica do impacto, definindo se ele é temporário, cíclico ou permanente, com o meio onde ocorre (Figura 9), fica evidenciado que os impactos permanentes no meio biótico são aqueles com maior grau de impacto, ao passo que os considerados cíclicos que, em muitos casos, são mais difíceis de serem tratados, possuem menor grau de impacto, considerando os três meios estudados. Já os impactos de caráter temporário, em média, são avaliados como desprezíveis,

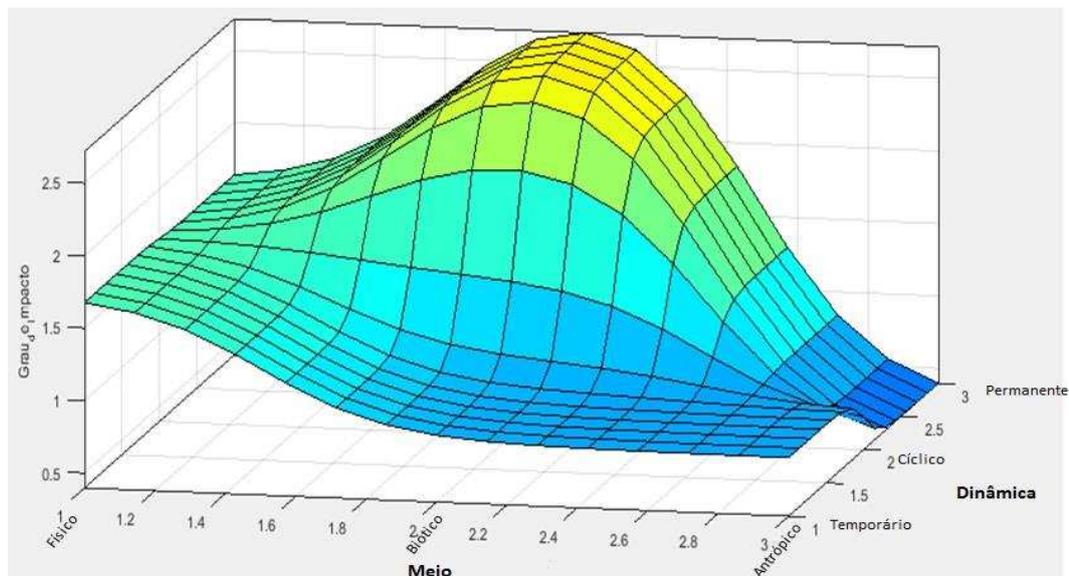


Figura 9 - Gráfico de superfície combinando os critérios de meio e dinâmica dos impactos ambientais com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Também na Figura 9 se observa que os impactos ambientais temporários no meio biótico e antrópico são de grau desprezível (1), com valores um pouco menores que aqueles situados no meio físico (1,7) que podem ser considerados impactos de baixo grau.

A combinação dos critérios de valor e plástica (Figura 10) mostra que os impactos negativos e irreversíveis são aqueles que apresentam o maior grau de impacto (2,5) sendo considerados como de médio grau. De forma contrária, os impactos negativos e reversíveis são aqueles de menor grau (aproximadamente 1).

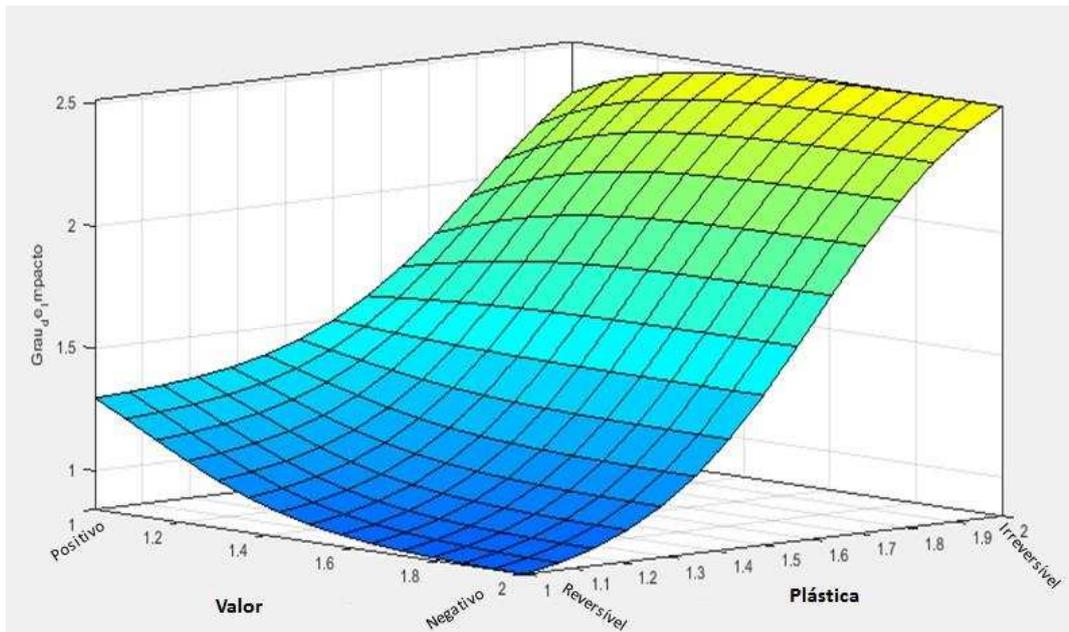


Figura 10 - Gráfico de superfície combinando os critérios de valor e plástica dos impactos ambientais com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Observa-se que os impactos de caráter irreversível são aqueles com maior grau de impacto, independentemente do valor (positivo ou negativo).

A combinação dos critérios de tempo e valor (Figura 11) mostra que os impactos tanto negativos quanto positivos de curto prazo são aqueles de maior grau. Os impactos de médio e longo prazo são constantes e possuem grau de impacto variando entre desprezível e baixo grau, independente do valor, se positivo ou negativo.

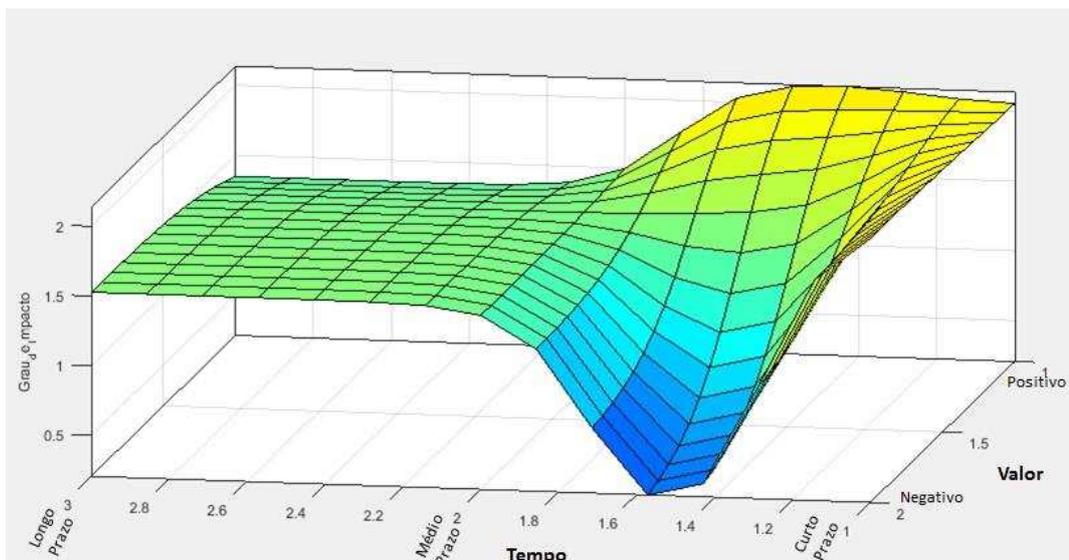


Figura 11 - Gráfico de superfície combinando os critérios de tempo e valor dos impactos ambientais com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

A Figura 11 também mostra que os impactos ambientais de valor negativo que se concentram entre curto e médio prazo possuem o menor grau de impacto dentre todos, muitos deles concentrados na faixa que se aproxima dos impactos nulos ou ausentes, com grau de impacto inferior a 0,5, que pode ser classificado como desprezível. Quando se define os critérios para avaliação de impactos como de curto, médio ou longo prazo pode haver uma região de transição, que às vezes é imprecisa, entre duas alternativas de resposta, mas o sistema neuro-fuzzy é capaz de interpretar a pertinência do impacto e alocá-lo no grupo, respeitando essa pertinência.

## 5. Conclusões

Para as condições adotadas na presente pesquisa, chegaram-se às seguintes conclusões:

- O emprego do sistema (lógica) neuro-fuzzy na avaliação de impactos ambientais se mostrou viável, exatamente pela consideração dos itens abaixo.

- É possível estimar o grau de impacto ambiental a partir dos dados qualitativos com o uso do sistema neuro-fuzzy e emprego do quando se utiliza o método de grid partition.

- Foi possível calcular um grau de impacto para cada uma das 87 regras criadas no sistema, considerando a caracterização qualitativa de cada impacto avaliado.

- Com os sistemas neuro-fuzzy é possível construir gráficos de superfície que sintetizam informações contidas nas matrizes de interação, tornando-se aptos a serem incluídos em estudos de impactos ambientais, bem como em audiências públicas como forma de exposição dos resultados.

- Esses gráficos permitem a combinação de critérios de avaliação de impactos ambientais e essa combinação pode ser usada de forma estratégica, atendendo as exigências daqueles que participam do estudo de impacto ambiental ou que frequentam as audiências públicas.

- Os gráficos de superfície devem ser expostos no estudo de impacto ambiental e nas audiências públicas logo após as matrizes de interação, sem jamais substituí-las.

## 6. Referências Bibliográficas

ARMAGHANI, D. J.; HAJIHASSANI, M.; MONJEZI, M.; MOHAMAD, E. T.; MARTO, A.; MOGHADDAM M. R. Application of two intelligent systems in predicting environmental impacts of quarry blasting **Arabian Journal of Geosciences**. v. 8, n. 11, p. 9647-9665, 2015.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P, L, F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: Teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 226 p.

BINOTI, M. L. M. S. **Emprego de redes neurais artificiais em mensuração e manejo florestal**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

CARVALHO, L. F.; NASSAR, S.M.; AZEVEDO, F. M.; CARVALHO, H. J. T.; RECH. C. M. Z.; MONTEIRO, L. L. **Metodologia de aprendizagem para Sistemas Neuro-difusos**. Iniciação Científica: PIBIC/UPF, 2006.

CHAVES, L. E. **Modelos computacionais Fuzzy e Neuro-Fuzzy para avaliarem os efeitos da poluição do ar**. 2013. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

FULLÉR, R. **Neural Fuzzy Systems**. Abo, Abo Akademi University, 1995. 346p.

HEDDAM, S.; BERMAD, A.; DECHEMI, N. ANFIS-based modelling for coagulant dosage in drinking water treatment plant: a case study. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 1953-1971, 2012.

IBRAHIM, A. **Fuzzy logic for embedded systems applications**. Newnes. 1. ed. 2003. 312 p.

JANG, J. S. R.; SUN, C. T. Neuro-fuzzy modeling and control. **Proceedings of the IEEE**, v. 83, n. 3, p. 378-406, 1995.

JANG, J. S. R.; SUN, C. T.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence**. New Jersey, Prentice Hall, 1997. 614 p.

KAUR, R.; DHINDSA, K. S. Simulation of Adaptive Neuro Fuzzy Logic Controlled Wireless Intelligent Telemetry System. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**. v. 3, n.11, p. 2278-3075, 2014

KHOSHNEVISAN, B.; RAFIEE, S.; MOUSAZADEH, H. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production **European Journal of Agronomy**, v 50. p. 29-37, 2013.

- MATLAB, **Fuzzy Logic Toolbox R2015a**, User's Guide, 2015.
- MESIAROVÁ-ZEMÁNKOVÁ, A.; AHMAD, K. T-norms in subtractive clustering and backpropagation. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 25, p. 909-924, 2010.
- NOORI, R.; HOSHYARIPOUR, G.; ASHRAFI, K.; ARAABI, B. N.; Uncertainty analysis of developed ANN and ANFIS models in prediction of carbon monoxide daily concentration. **Atmospheric Environment**. v. 44, p. 476-482, 2010.
- OLIVEIRA JUNIOR, H. A. E.; CALDEIRA, A. M.; MACHADO, M. A. S.; SOUZA, R. C.; TANSCHKEIT, R. **Inteligência Computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 384 p.
- REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri; Manole, 2003. 525 p.
- SAVIC, M.; MIHAJLOVIC, I.; ŽIVKOVIC, Ž.; An ANFIS – Based Air Quality Model For Prediction of SO<sub>2</sub> Concentration in Urban Area. **Serbian Journal of Management**. v. 8, n. 1, p. 25-38, 2013.
- SOARES, P. L. B.; SILVA, J. P. Aplicação de redes neurais artificiais em conjunto com o método vetorial da propagação de feixes na análise de um acoplador direcional baseado em fibra ótica. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**. v. 3, n. 2, p.58-72, 2011.
- SILVA, D. A. L.; CARDOSO, E. A. C.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; MALINOVSKI, R. A. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 185-193, 2014.
- USBERTI, F. L. SIMANFIS: Simplificação da arquitetura neuro-fuzzy anfis, In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 34, 2007. **Anais...**, Fortaleza, 2007. 924-935 p.
- VALDETARO, E. B. **Avaliação qualiquantitativa de impactos ambientais de um programa de fomento florestal, na Zona da Mata Mineira**. 2011. 203 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

#### **4. CONCLUSÕES GERAIS**

Com base nos trabalhos, são apresentadas as seguintes conclusões:

Existe associação entre as variáveis qualitativas e quantitativas dos impactos ambientais avaliados. O critério de espaço é aquele que mais influencia na definição das variáveis quantitativas.

É possível estimar o grau de impacto através de sistemas neuro-fuzzy.

As tabelas de contingência preparadas para o teste do qui-quadrado e os gráficos de superfície gerados pelo sistema neuro-fuzzy são aptos a sintetizar os resultados das matrizes de interação e facilitar a compreensão dos mesmos.

Os gráficos de superfície permitem combinar dois critérios de avaliação de impacto ambiental com o grau de impacto. Isso poupa tempo dos consultores na elaboração do estudo e, principalmente, pode ser usado como estratégia para preparar os resultados de maior relevância e expô-los em uma audiência pública, tornando a informação mais acessível, principalmente ao público leigo.

Os métodos testados devem ser utilizados de forma complementar às matrizes de interação, sem jamais substituí-las no escopo de um estudo de impacto ambiental.

# APÊNDICES

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																											
	Meio Físico												Meio Biótico								Meio Antrópico							
	Ar		Água						Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática								
	Partículas sólidas	Gases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros Invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada a atividade	Desenvolvimento regional	Paisagem	
Palestra/Dia de campo	NDR CTV	NDR CTV						PIE CTV	PIE CTV	PIE CTV		NDE CTV	NIE CTV	NIE CTV	PIE MTV	PIE MTV					PDE CAS	PIE CTV	PIE CTV	PDE CAS	PIE CTV	PIE MTV		
Visita do produtor ao IEF/MG	NDR CTV	NDE CTV																			PDE CAS	PIE CTV	PIE CTV		PIE CTV	PIE MTV		
Visita dos estagiários e georreferenciamento das áreas de plantio	NDR CTV	NDE CTV	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	PIE MAS	PIE MAS	NIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	PDE CAS	PIE CTV	PIE CTV	NDE CTV	PIE CTV	PIE CTV		
Aquisição de fatores de produção	NDR CTV	NDE CTV																			PDL CTV				PDE CYV			
Contratação de mão de obra																					PDR CAS	PDE CTV	PDE CTV	NIE CTV	PIE MTV			
Cercamento da área de plantio	NDL CTV												NDL CYV		NDL CYV	PIL CYV									NDL CTV			
Limpeza da área (manual)	NDL CTV		NDR CTV	NIR MTV				NIR MTV	NIL MAS	NIL MTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIE CTV	NIR CTV					NDL CAS	PDL CTV		
Limpeza da área (mecânica)	NDL CTV	NDL CTV	NDR CTV	NIR MAS				NIR MTV	NIL MAS	NIL MTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIE CTV	NIR CTV					NDL CAS	PDL CTV		
Limpeza da área (química)					NDR CTV	NIR CTV			PIL CTV		PIL MTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIE CTV	NIR CTV					NDL CAS	PDL CTV		
Combate químico às formigas - Isca					NIR CTV	NIR CTV						NDL CTV	PDL CTV	PDL CTV	NIL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV			
Combate químico às formigas - Termonebulização	NDL CTV	NDL CTV			NIR CTV	NIR CTV						NDL CTV	PDL CTV	PDL CTV		NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV			
Combate químico às formigas - Pó químico	NDL CTV				NIR CTV	NIR CTV						NDL CTV	PDL CTV	PDL CTV		NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV			
Preparação do solo - Aração/Gradagem	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR MAS				NIR MAS	PDL CTV	NIL CTV	PDL CTV	PDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	PDL CTV	NIR MAS	NIR MAS	NIR MAS	NIR MAS					NDL CTV	NDL CTV	
Coveamento	NDL CTV	NDL CTV	NIL CTV	NIR MTV					PDL CTV							NDL CTV										NDL CAS	PDL CTV	
Subsolagem/sulcagem	NDL CTV	NDL CTV	NIL CTV	NIR MTV					PDL CTV	NIL MTV				NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	PDL CTV									NDL CAS	PDL CTV	
Transporte das mudas e outros insumos	NDR CTV	NDR CTV	NDR CTV				NDL CTV	NDR CAS	NIR MTR							NDR CTV		NIL CTV	NIL CTV	NIL CTV	NIL CTV			PDR CTV				
Combate a cupim					NDR CTV	NDR CTV						NDL MTV				NIR CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV		
Plantio		PDE CTV	PIL MTV	PIR MTV				PIE MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	NDL MTV	PIR MTV	PDL CTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	NDL CTV	PDL CTV
Adubação de plantio					NIR CTV	NIR CTV					PDL CTV		PDL CTV	PDL CTV				NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV	PIL MTV	
Replantio		PDE CTV	PIL MTV	PIR MTV				PIE MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	NDL MTV	PIR MTV	PDL CTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PDL CTV	
Descarte de embalagens de insumos					NDR CTV	NDR CTV						NDL CTV				NIR CTV	NIL CTV	NDR CTV	NDR CTV	NDR CTV	NDR CTV				NDE CAS	NDL CTV		

Critérios de avaliação:

Valor: Positivo (P)  
Negativo (N)

Ordem: Direto (D)  
Indireto (I)

Espaço: Local (L)  
Regional (R)  
Estratégico (E)

Tempo: Curto Prazo (C)  
Médio Prazo (M)  
Longo Prazo (O)

Dinâmica: Temporário (T)  
Cíclico (Y)  
Permanente (A)

Plástica: Reversível (V)  
Irreversível (S)

APÊNDICE I - Matriz de interação para a identificação e caracterização qualitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de implantação.

Fonte: Valdetaro (2011).

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										Quantidade de impactos	Total (+)	Total (-)	Saldo				
	Meio Físico								Meio Biótico								Meio Antrópico																	
	Ar		Água				Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática																
	Partículas sólidas	Gases	Turbulência	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Verteb. raios	Insetos e outros Invertebr. raios	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Salute e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional					Pasejamento			
Palestra/Dia de campo	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-4	5	4	0	-4	-1	-4	2	1	0	0	0	0	5	4	3	3	5	2	16	38	-11	27			
Visita do produtor ao IEF/MG	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	2	1	7	7	-4	3			
Visita dos estagiários e georreferenciamento das áreas de plantio	-2	-2	3	3	3	-2	4	4	3	5	4	1	-3	-1	-3	2	1	-2	-2	-2	-2	4	3	2	-4	4	3	27	51	-23	28			
Aquisição de fatores de produção	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	4	6	-4	2			
Contratação de mão de obra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	-3	1	0	5	11	-3	8			
Cercamento da área de plantio	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	5	2	-7	-5			
Limpeza da área (manual)	-1	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-3	0	2	18	2	-23	-21			
Limpeza da área (mecânica)	-1	-1	-2	-2	0	0	0	-2	0	-2	-2	-3	-3	-1	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-2	0	2	19	2	-36	-34			
Limpeza da área (química)	0	0	0	0	-3	-2	0	0	2	0	2	-4	-5	-3	-5	-2	-4	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-5	0	2	16	6	-45	-39			
Combate químico às formigas - Isca	0	0	0	0	-3	-2	0	0	0	0	0	-2	4	0	4	-1	-4	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-1	0	0	12	8	-21	-13			
Combate químico às formigas - Termonebulização	-1	-1	0	0	-2	-1	0	0	0	0	0	-3	2	0	2	0	-3	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-4	0	0	13	4	-19	-15			
Combate químico às formigas - Pó químico	-1	0	0	0	-2	-2	0	0	0	0	0	-2	1	0	1	0	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-2	0	0	12	2	-15	-13			
Preparação do solo - Aração/Gradagem	-3	-3	-4	-4	0	0	0	-4	4	-5	2	2	-4	-4	-4	-2	3	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-2	0	-3	20	11	-54	-43			
Coveamento	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	3	8	5	-9	-4			
Subsolagem/sulcagem	-3	-3	-2	-2	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	-1	-1	-1	2	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	3	12	9	-19	-10			
Transporte das mudas e outros insumos	-2	-2	-1	0	0	0	-1	0	-2	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	1	0	0	0	12	1	-14	-13			
Combate a cupim	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-1	-3	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-3	0	0	10	0	-19	-19			
Plantio	0	2	2	3	0	0	0	3	4	4	3	4	0	2	-4	3	3	2	2	3	2	0	0	0	-2	0	4	18	46	-6	40			
Adubação de plantio	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	5	0	1	3	2	0	0	-2	-2	-1	-2	0	0	0	-1	0	2	12	13	-10	3			
Replantio	0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	2	2	0	1	-2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	17	21	-2	19			
Descarte de embalagens de insumos	0	0	0	0	-3	-2	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-3	-2	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-3	0	-3	11	0	-30	-30			
<b>Quantidade de impactos</b>	13	12	9	8	8	8	2	6	9	9	9	12	10	11	13	15	15	14	14	14	14	5	4	5	17	5	13	<b>274</b>						
<b>Total (+)</b>	0	3	6	7	3	2	4	8	25	16	22	9	8	6	9	8	13	3	3	4	3	15	12	12	3	15	26		<b>245</b>					
<b>Total (-)</b>	-21	-18	-11	-10	-15	-11	-1	-7	-2	-13	-3	-20	-21	-14	-28	-18	-21	-23	-23	-22	-23	0	0	0	-43	0	-6			<b>-374</b>				
<b>Saldo</b>	-21	-15	-5	-3	-12	-9	3	1	23	3	19	-11	-13	-8	-19	-10	-8	-20	-20	-18	-20	15	12	12	-40	15	20				<b>-129</b>			

Critérios de avaliação:

Sinal		Quantificação					
+	-	0	1	2	3	4	5
Positivo	Negativo	Nenhum impacto	Desprezível	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Muito Alto

APÊNDICE II - Matriz de interação para a identificação e caracterização quantitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de implantação.

Fonte: Valdetaro (2011).



Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										Quantidade de impactos	Total (+)	Total (-)	Saldo	
	Meio Físico											Meio Biótico								Meio Antropico											
	Ar		Água					Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática												
	Partículas sólidas	Grases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compacção	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional					Paisagismo
Combate químico às formigas - Isca	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	2	0	2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-2	0	0	12	4	-12	-8
Coroamento	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	2	7	4	-6	-2
Roçada manual de entrelinha (2º e 8º mês)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	-2	-2	-2	0	-1	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	2	9	7	-9	-2
Roçada mecânica de entrelinha (2º e 8º mês)	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	-2	-2	-2	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	2	11	6	-11	-5
Adubação de cobertura (2º e 8º mês)	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	5	0	1	1	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-2	0	2	12	10	-8	2
Visita de avaliação do plantio	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	-3	-1	-3	-3	-3	0	0	0	0	3	2	0	-4	2	3	13	14	-21	-7
Primeira desrama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	8	11	-2	9
Segunda desrama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	8	11	-2	9
Desbaste seletivo	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	-2	2	0	0	0	0	0	2	2	-3	0	0	10	18	-7	11
Trapamento, toragem e desgalhamento das árvores desbastadas	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	10	11	-7	4
Extração das toras por rolamento ou tombamento manual	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	7	1	-7	-6
Manutenção de estradas de acesso	-1	-1	-1	-1	0	0	-2	-1	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1	0	0	1	-2	0	0	14	3	-16	-13
<b>Quantidade de impactos</b>	6	5	2	1	2	2	1	1	2	2	8	7	10	9	10	6	7	3	3	3	3	1	2	7	12	1	5	<b>121</b>			
<b>Total (+)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	19	5	13	11	13	2	4	0	0	0	0	3	4	11	0	2	11		<b>100</b>		
<b>Total (-)</b>	-7	-7	-2	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-3	-1	-2	-8	-6	-8	-8	-7	-3	-3	-4	-3	0	0	0	-27	0	0			<b>-108</b>	
<b>Saldo</b>	-7	-7	-2	-1	-2	-2	-2	-1	1	-3	18	3	5	5	5	-6	-3	-3	-3	-4	-3	3	4	11	-27	2	11				<b>-8</b>

Legenda:

Sinal		Quantificação					
+	-	0	1	2	3	4	5
Positivo	Negativo	Nenhum impacto	Desprezível	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Muito Alto

APÊNDICE IV - Matriz de interação para a identificação e caracterização quantitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de manutenção.

Fonte: Valdetaro (2011).

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										
	Meio Físico								Meio Biótico								Meio Antrópico										
	Ar		Água				Solo		Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática											
	Partículas sólidas	Gases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional	Paisagismo
Comercialização da madeira																							PDE OTV	PIE OTV		PDE OTV	
Melhoria de estradas de acesso	NDL OTV	NDL OTV	NIR OTV	NIR OAS			NDL OAS	NIR OAS	PDL OTV	NIR OTV								NIR OAS	NIR OAS	NIR OAS	NIR OAS			PDR OTV	NDR OAS		PIL OTV
Manutenção de motosserra	NDL OTV	NDL OTV			NDL OTV	NDL OTV									NDL OTV			NIR OTV	NIR OTV	NIR OTV	NIR OTV				NDR OAS		
Corte / Derrubada	NDL OTV	NDL OTV	NIL OTV	NIL OTV				NDL OTV	NDL OTV			PDL OTV		PDL OTV	NDL OTV									PDR OTV	NDR OAS		NDL OTV
Desgalhamento, destopamento e traçamento	NDL OTV	NDL OTV													NDL OTV									PDL OTV	NDL OAS		
Extração das toras por rolamento ou tombamento manual								NDL OTV				NDL OTV	NDL OTV	NIL OTV										PDL OTV	NDL OAS		
Empilhamento manual									PDL OTV															PDL OTV	NDL OAS		
Carregamento manual																								PDL OTV	NDL OAS		
Carregamento semimecanizado	NDL OTV	NDL OTV													NDL OTV									PDL OTV	NDL OAS		
Transporte rodoviário da madeira	NDR OTV	NDR OTV							NDR OAS						NDR OTV									PDR OTV	NDR OAS	PDR OTV	
Aproveitamento de madeira e resíduos	NDR OTV	NDR OTV								PDL OTV	PIL OTV	PIL OTV	PIL OTV	PIL OTV		PIL OTV							PDL OTV		NDL OAS		

Características dos impactos:

Valor: Positivo (P)  
Negativo (N)

Ordem: Direto (D)  
Indireto (I)

Espaço: Local (L)  
Regional (R)  
Estratégico (E)

Tempo: Curto Prazo (C)  
Médio Prazo (M)  
Longo Prazo (O)

Dinâmica: Temporário (T)  
Cíclico (Y)  
Permanente (A)

Plástica: Reversível (V)  
Irreversível (S)

APÊNDICE V - Matriz de interação para a identificação e caracterização qualitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de colheita e transporte

Fonte: Valdetaro (2011)

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										Quantidade de impactos	Total (+)	Total (-)	Saldo	
	Meio Físico												Meio Biótico								Meio Antrópico										
	Ar		Água						Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática											
	Partículas sólidas	Gases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Interrupção de curso hídrico	Vazão	Compacção	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional					Paisagismo
Comercialização da madeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	4	0	3	10	0	10
Melhoria de estradas de acesso	-2	-2	-2	-2	0	0	-2	-1	2	-2	0	0	0	0	0	0	-3	-3	-3	-3	0	0	1	-2	0	2	15	5	-27	-22	
Manutenção de motosserra	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-3	0	0	10	0	-13	-13	
Corte / Derrubada	-2	-2	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	4	0	4	-4	0	0	0	0	0	0	0	-3	-4	0	-5	12	11	-21	-10
Desgalhamento, destopamento e traçamento	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	5	2	-12	-10	
Extração das toras por rolamento ou tombamento manual	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-2	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	6	2	-10	-8	
Empilhamento manual	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	3	1	-4	-3	
Carregamento manual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	2	1	-3	-2	
Carregamento semimecanizado	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	5	1	-8	-7	
Transporte rodoviário da madeira	-3	-4	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	3	0	7	4	-15	-11	
Aproveitamento de madeira e resíduos	-3	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	4	2	4	0	3	0	0	0	0	0	3	0	-2	0	0	10	23	-8	15
<b>Quantidade de impactos</b>	7	7	2	2	1	1	1	1	5	2	1	1	3	2	3	5	1	2	2	2	2	0	2	9	10	2	2	<b>78</b>			
<b>Total (+)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	3	8	2	8	0	3	0	0	0	0	0	7	14	0	7	2	<b>60</b>			
<b>Total (-)</b>	-15	-16	-3	-3	-1	-1	-2	-1	-7	-3	0	0	-2	-1	-2	-13	0	-4	-4	-4	-4	0	0	0	-30	0	-5			<b>-121</b>	
<b>Saldo</b>	-15	-16	-3	-3	-1	-1	-2	-1	-5	-3	4	3	6	1	6	-13	3	-4	-4	-4	-4	0	7	14	-30	7	-3				<b>-61</b>

Legenda:

Sinal		Quantificação					
+	-	0	1	2	3	4	5
Positivo	Negativo	Nenhum impacto	Desprezível	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Muito Alto

APÊNDICE VI - Matriz de interação para a identificação e caracterização quantitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de colheita e transporte.

Fonte: Valdetaro (2011).

# ANEXO

Distribuição Qui-Quadrado

v \ α	0,995	0,99	0,975	0,95	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
1	0,0004	0,002	0,001	0,004	0,016	0,102	0,455	1,323	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879	10,828
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	0,575	1,386	2,773	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597	13,816
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	1,213	2,366	4,108	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838	16,266
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	1,923	3,357	5,385	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860	18,467
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	2,675	4,351	6,626	9,236	11,071	12,833	15,086	16,750	20,515
6	0,676	0,872	1,237	1,636	2,204	3,455	5,348	7,841	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548	22,458
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	4,255	6,346	9,037	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278	24,322
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	5,071	7,344	10,219	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955	26,125
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	5,899	8,343	11,389	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589	27,877
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	6,737	9,342	12,549	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188	29,588
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	7,584	10,341	13,701	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757	31,264
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	8,438	11,340	14,845	18,549	21,026	23,337	26,217	28,299	32,909
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	9,299	12,340	15,984	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819	34,528
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	10,165	13,339	17,117	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319	36,123
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	11,036	14,339	18,245	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801	37,697
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	11,912	15,338	19,369	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267	39,252
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	12,792	16,338	20,489	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718	40,790
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,866	13,675	17,338	21,605	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156	43,312
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	14,562	18,338	22,718	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582	43,820
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	15,452	19,337	23,828	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997	45,315
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	16,344	20,337	24,935	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401	46,797
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,042	17,240	21,337	26,039	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796	48,268
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	18,137	22,337	27,141	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181	49,728
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	19,037	23,337	28,241	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559	51,179
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	19,939	24,337	29,339	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928	52,620
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	20,843	25,336	30,434	35,563	38,885	41,923	45,542	48,290	54,052
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	21,749	26,336	31,528	36,741	40,113	43,194	46,963	49,645	55,476
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	22,657	27,336	32,620	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993	56,892
29	13,121	14,257	16,047	17,708	19,768	23,567	28,336	33,711	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336	58,302
30	13,787	14,954	16,791	18,493	20,599	24,478	29,336	34,800	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672	59,703
31	14,458	15,655	17,539	19,281	21,434	25,390	30,336	35,887	41,422	44,985	48,232	52,191	55,003	61,098
32	15,134	16,362	18,291	20,072	22,271	26,304	31,336	36,973	42,585	46,194	49,480	53,486	56,328	62,487
33	15,815	17,074	19,047	20,867	23,110	27,219	32,336	38,058	43,745	47,400	50,725	54,776	57,648	63,870
34	16,501	17,789	19,806	21,664	23,952	28,136	33,336	39,141	44,903	48,602	51,966	56,051	58,964	65,247
35	17,192	18,509	20,569	22,465	24,797	29,054	34,336	40,223	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275	66,619
36	17,887	19,233	21,336	23,269	25,643	29,973	35,336	41,304	47,212	50,998	54,437	58,519	61,581	67,985
37	18,586	19,960	22,106	24,075	26,492	30,893	36,336	42,383	48,363	52,192	55,668	59,892	62,883	69,346
38	19,289	20,691	22,878	24,884	27,343	31,815	37,336	43,462	49,513	53,384	56,896	61,162	64,181	70,701
39	19,996	21,426	23,654	25,695	28,196	32,737	38,336	44,539	50,660	54,572	58,120	62,428	65,476	72,056
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	33,660	39,336	45,616	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766	73,402
41	21,421	22,906	25,215	27,326	29,907	34,585	40,336	46,692	52,949	56,942	60,561	64,950	68,053	74,745
42	22,138	23,650	25,999	28,144	30,765	35,510	41,336	47,766	54,090	58,124	61,777	66,206	69,336	76,084
43	22,859	24,398	26,785	28,965	31,625	36,436	42,336	48,840	55,230	59,304	62,990	67,459	70,616	77,419
44	23,584	25,148	27,575	29,787	32,487	37,363	43,336	49,913	56,369	60,481	64,201	68,710	71,893	78,750
45	24,311	25,901	28,366	30,612	33,350	38,291	44,336	50,985	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166	80,077
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,889	42,942	49,335	56,334	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490	86,661
60	35,534	37,485	40,482	43,188	46,459	52,294	59,335	66,981	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952	99,607
70	43,275	45,442	48,758	51,739	55,329	61,698	69,335	77,577	85,527	90,531	95,023	100,425	104,215	112,317
80	51,172	53,540	57,153	60,361	64,278	71,145	79,335	88,130	96,578	101,879	106,629	112,329	116,321	124,839
90	59,196	61,754	65,647	69,126	73,291	80,625	89,335	98,650	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299	137,208
100	67,328	70,065	74,222	77,929	82,358	90,133	99,335	109,141	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169	149,449

ANEXO I – Tabela de valores  $\chi^2$  ( $\alpha$ , GL).