



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS**



---

**Tese**

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO  
DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL ANTRÓPICA  
E RISCO DE LIXIVIAÇÃO DE AGROTÓXICOS**

---

**Doutoranda: Alessandra Cunha Lopes**

**Orientador: Alexandre Rosa dos Santos**

# Estrutura da Apresentação

---

1. Introdução
2. Objetivos
3. Metodologia
4. Resultados e discussão
5. Referências bibliográficas
6. Agradecimentos

# 1 - Introdução

### Vulnerabilidade Ambiental



**Susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação, sendo essas decorrentes de características ambientais naturais ou causada por atividade antrópica.**

**Parizi et al. (2019)**

**Vulnerabilidade Ambiental: Susceptibilidade de uma área em sofrer **danos** quando submetida a uma determinada **ação**, sendo essas decorrentes de características ambientais **naturais** ou causada por atividade **antrópica**.**

**Ação - natural ou  
antrópica**



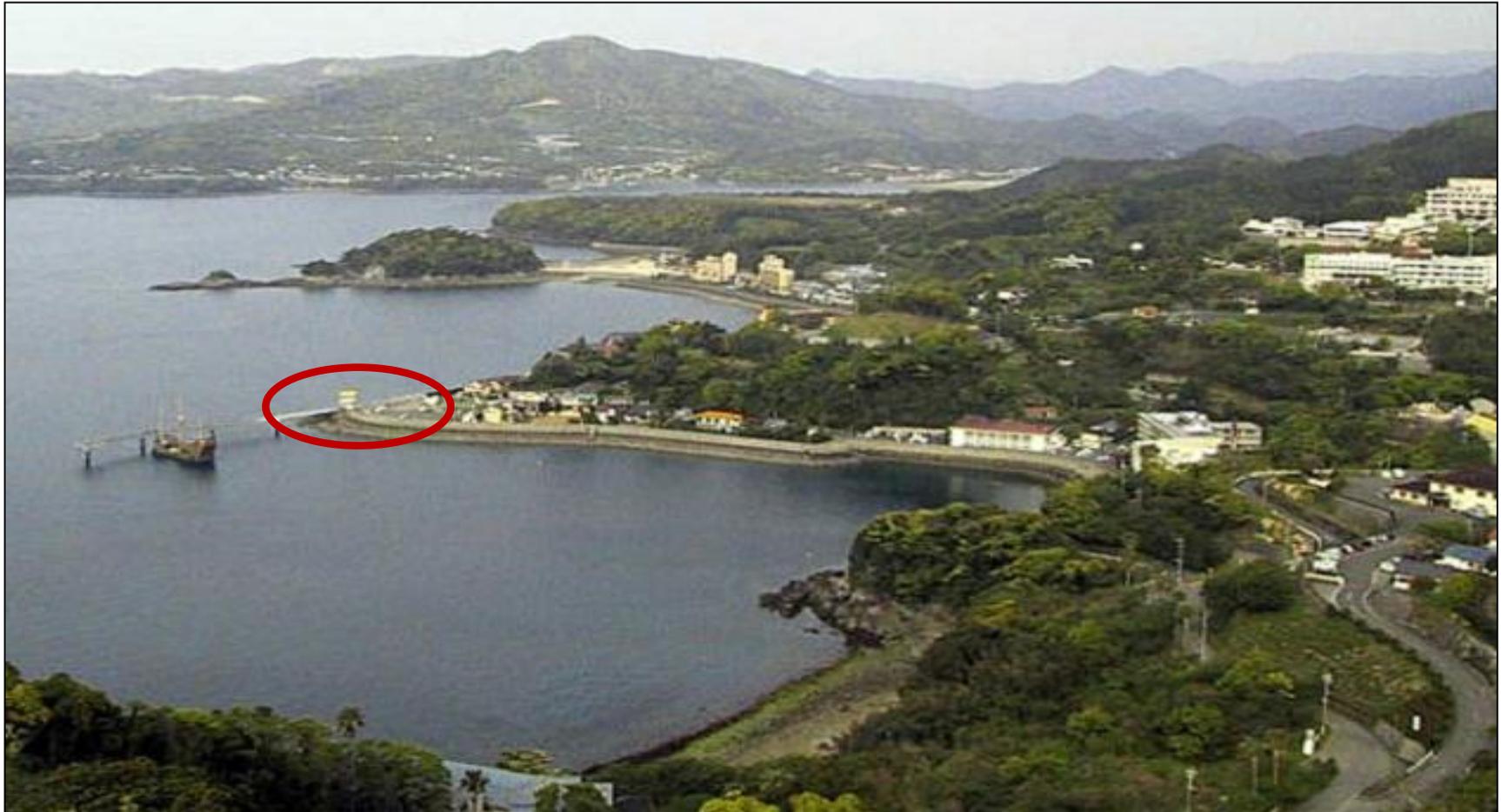
**Dano - social,  
ambiental e/ou  
econômico**

Figura 01 - Esquema ilustrativo do Vulcão Suscar, Japão.



Fonte: <http://www.mapa.gov.br>

Figura 02 - Baía de Minamata, Japão.



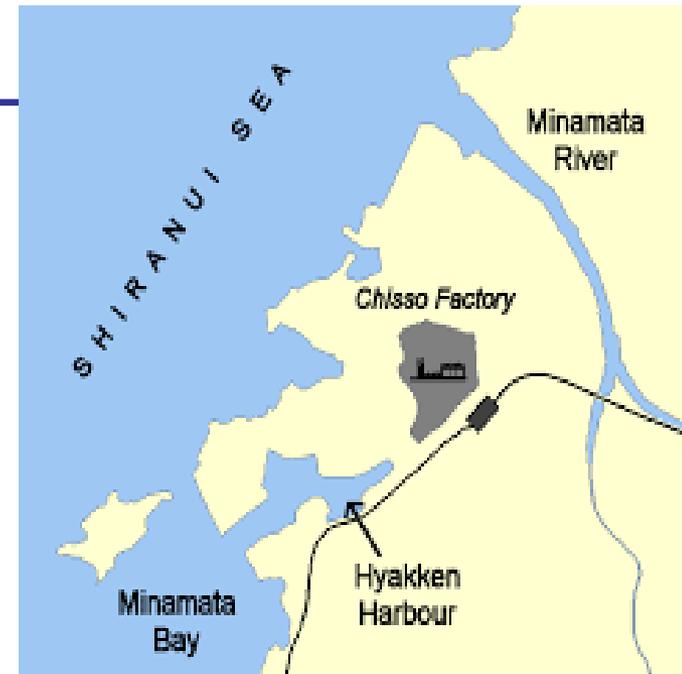
Fonte: <http://www.mapa.gov.br>

## Caso Minamata

---

### Empresa Chisso

- ❑ Indústria de grande porte que fabricava acetaldeído - usado na produção de material plástico
- ❑ Resíduos líquidos despejados na baía de Minamata, próximo à orla
- ❑ Efluente continha mercúrio, que foi se acumulando ao longo dos anos



# Caso Minamata

**Minamata**

**População  
consume peixe**



**Polo pesqueiro**



## Caso Minamata

---

- Ao longo das décadas foram registrados vários casos de crianças nascendo deformadas e com demência, além de aumentar o número de abortos
- 1956: 84% dos bebês nasceram com a “doença de Minamata”



Figura 03 - Esquema ilustrativo da Síndrome de Minamata.

# Como a investigação sobre a vulnerabilidade pode contribuir para estudos ambientais?



# Planejamento Territorial

Estudos de vulnerabilidade ambiental possibilitam:

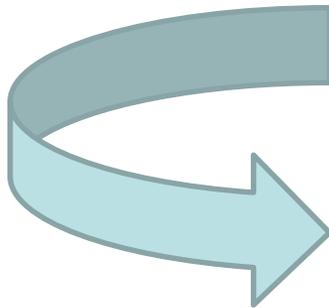
- Identificar problemas existentes e potenciais
- Mapear os riscos
- Desenvolver medidas - ação e mitigação
- Gestão ambiental e territorial

# Aquicultura

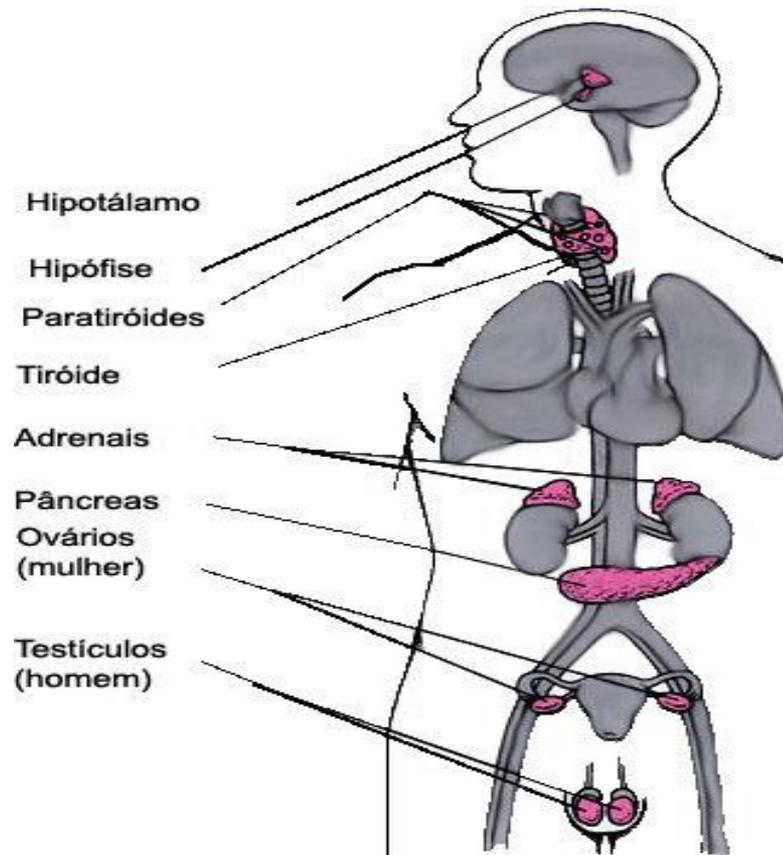


- **Atividade em expansão:**
  - No Brasil: em 2010 o consumo per capita de pescados era de 8,6 kg/habitante aumentando para 24,1 kg/habitante em 2018 (MAPA, 2019)
- **Potencialmente poluidora do meio ambiente:**
  - Alimentação animal - fonte de nutrientes e produtos

- Alimentação animal pode agregar: medicamentos, fertilizantes, hormônios e aditivos químicos



**Disruptores ou  
desreguladores endócrinos**



## Sistema endócrino

### Ação hormonal

- ❑ Reprodução
- ❑ Desenvolvimento embrionário
- ❑ Crescimento
- ❑ Metabolismo

Figura 04: Sistema endócrino.

Fonte: LEHNINGER (2018)

# 2 - Objetivos

## Objetivo Principal

---

- **Avaliar a vulnerabilidade ambiental antrópica no Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre (IFES campus de Alegre)**

# Objetivos Específicos

---

- Analisar a influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água;
- Identificar o conflito da vulnerabilidade ambiental antrópica em Áreas de Preservação Permanente;
- Estimar o potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos utilizados para a cultura do café empregando os métodos GUS, LIX, RF/AF e TLPI;
- Descrever os impactos sociais e econômicos da atividade aquícola para a região sul do estado do Espírito Santo, e;
- Contribuir para gestão ambiental e planejamento territorial da área em estudo.

# 3 - Metodologia

# Metodologia

---

- I. Área de estudo
- II. Qualidade da água
- III. Uso e ocupação da terra
- IV. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente
- V. Estimativa do potencial de lixiviação
- VI. Vulnerabilidade ambiental antrópica
- VII. Análise social

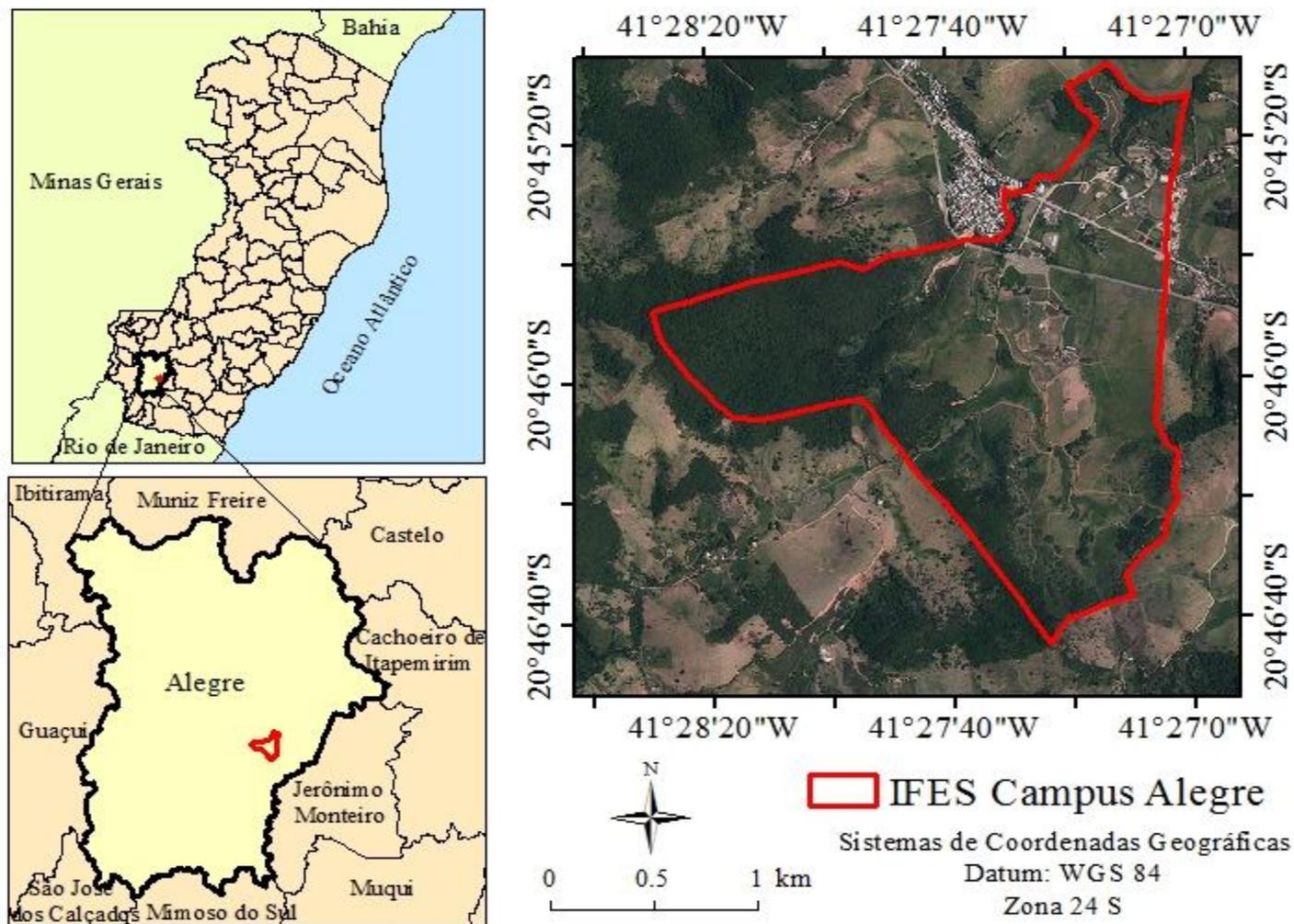
# I - Área de Estudo

## Ifes campus de Alegre

- **Diversidade de cenários**
- **Importância econômica e social**
- **Disponibilização de informações técnicas**



Figura 05 - Área de estudo.



Fonte: Autora

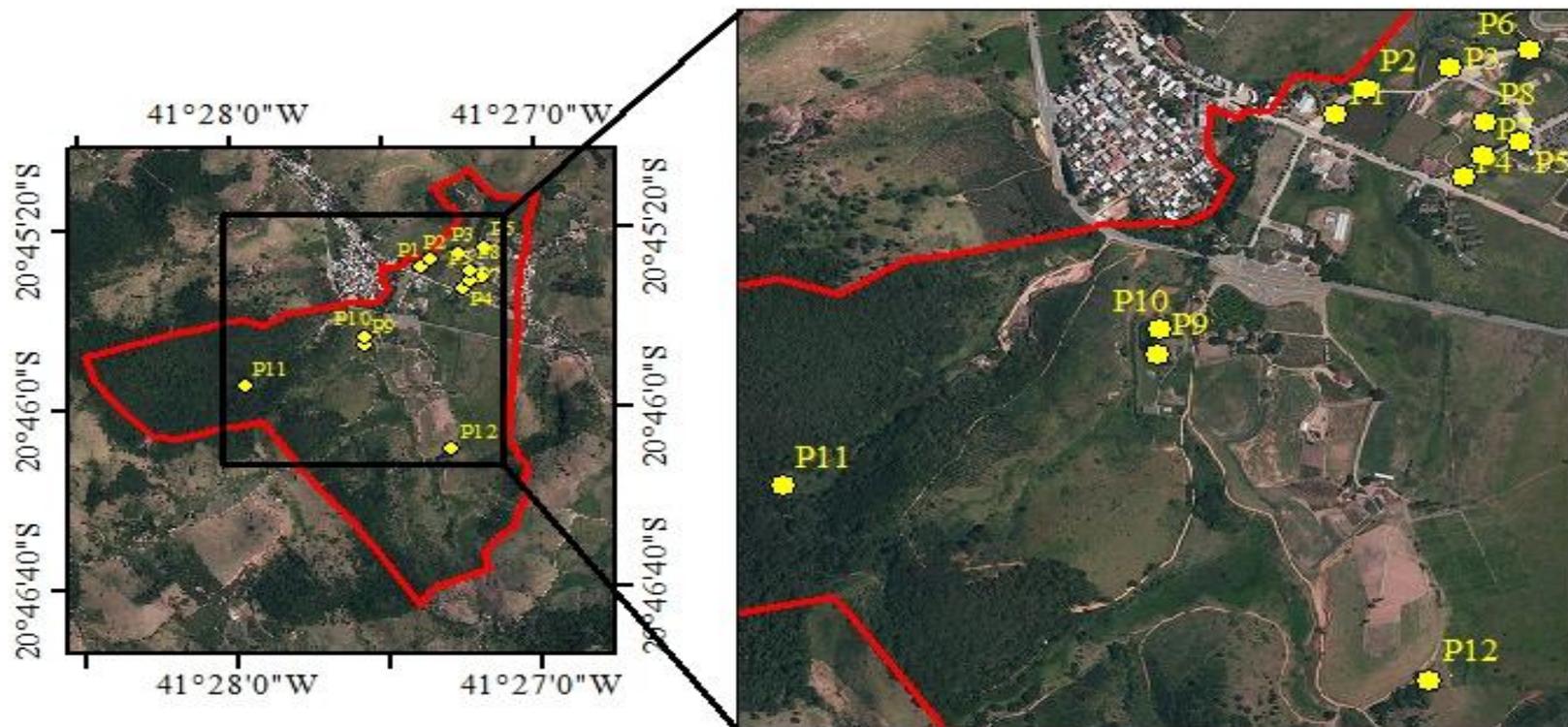
# **II - Avaliação da Qualidade da Água**

Coletadas amostras de água em 12 pontos de amostragem

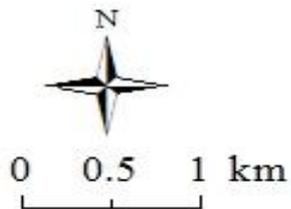
- Análises físico químicas
- Análises toxicológicas



Figura 06 - Pontos de amostragem de água.



● Pontos Amostrais  
□ IFES Campus Alegre



Sistemas de Coordenadas Geográficas  
Datum: WGS 84  
Zona 24 S

## *Pontos de amostragem:*

- ❑ 03 - lagoas paisagísticas
- ❑ 05 - lagoas de piscicultura
- ❑ 01 - poço subterrâneo
- ❑ 03 - cursos d'água

Campanhas: maio (03/05), junho (01/06) e julho (02/07) de 2018

- ❑ Lagoas: amostra composta
- ❑ Córregos e poço: amostra simples

## *Análises físico químicas:*

- ❑ pH: Medições em campo com pHmetro (Digimed DR20, São Paulo) previamente calibrado com soluções padrão;
- ❑ Turbidez: Medições em campo por turbidímetro (Digimed DS20, São Paulo) previamente calibrado com soluções padrão;
- ❑ Oxigênio dissolvido: Medição em campo com oxímetro (AT101C - Bioland);
- ❑ DQO: Método colorimétrico a 600 nm após refluxo fechado;
- ❑ Nitrato (N-NH<sub>3</sub>): Método de titulometria para a quantificação de nitrogênio kjeldahl total (NKT), nitrogênio nas formas orgânica e amoniacal;
- ❑ Fósforo total: Método colorimétrico a 690 nm.

Standard Methods for the Examination of Water and wastewater  
(APHA, 2005).

*Análises físico químicas:*

□ Processamento dos dados:

**Estatística multivariada através de uma Análise  
de Correlação Canônica (ACC)**



**UOT x Qualidade da Água**

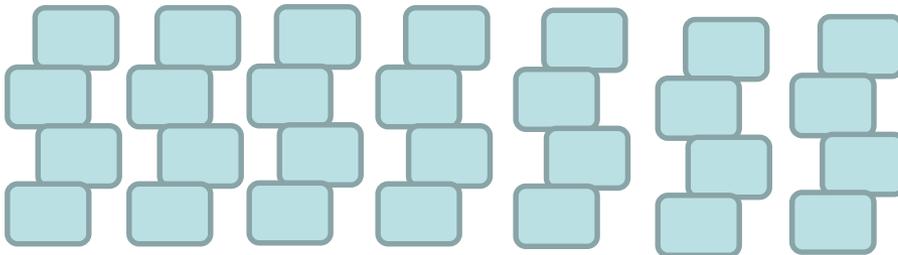
## *Análises de Toxicidade*

- ❑ **Toxicidade Aguda: *Daphnia similis***
  - ❑ NBR 12713 (ABNT, 2004)
- ❑ **Toxicidade Crônica: *Ceriodaphnia dubia***
  - ❑ NBR 13373 (ABNT, 2006)

## Ensaio com *Daphnia similis*



Retira-se 30 ml de cada solução transferindo para quatro recipientes plásticos.  
A cada recipiente adiciona-se cinco neonates de *Daphnia similis*

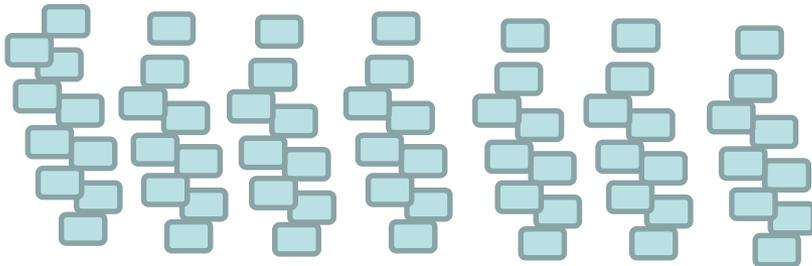


22°C, sob fotoperíodo de 12h luz/12h  
escuro  
48 horas de exposição

## Ensaio com *Ceriodaphnia dubia*

Controle	1	2	3	4	5	6
100% água	6,25% Amostra	12,5% Amostra	25,0% Amostra	50,0% Amostra	75,0% Amostra	100,0% Amostra

Retira-se 15 ml de cada solução transferindo para dez recipientes plásticos.  
A cada recipiente adiciona-se uma fêmea de *Ceriodaphnia dubia*



22°C, sob fotoperíodo de 12h luz/12h  
escuro  
Três em três dias troca-se solução e  
realiza-se contagem

## *Análises de Toxicidade - Resultados*

### Toxicidade Aguda: *Daphnia similis*

- ❑ Concentração letal mediana -  $CL_{50}$  (%)
- ❑ Concentração que causa efeito agudo (letalidade) a 50% dos organismos

### Toxicidade Crônica: *Ceriodaphnia dubia*

- ❑ Concentração de Inibição -  $CI_{25}$  (%)
- ❑ Concentração da amostra que reduz em 25% o crescimento do organismo teste

# **III - Avaliação do Uso e Ocupação da Terra (UOT)**

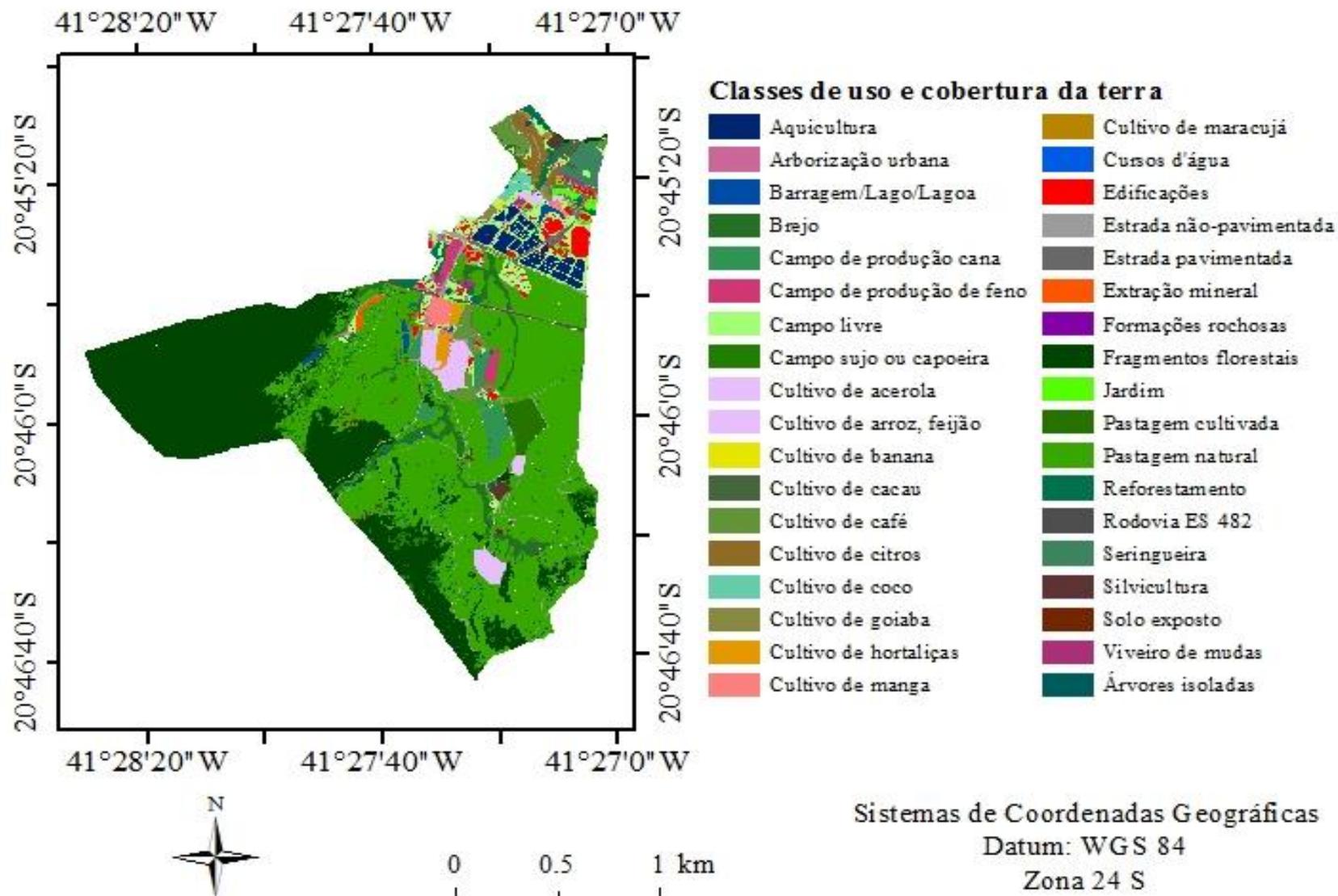
**Ferrari (2012):**

- **Gerou um mapa UOT para o Ifes campus de Alegre**
- **Trabalho atualizado em 2016**

**Obs:**

**Dados estão armazenados num banco de dados georreferenciados do Departamento de Desenvolvimento Educacional do Ifes e foram disponibilizados, mediante autorização, para realização dessa pesquisa**

Figura 07 - Uso e ocupação da terra do Ifes campus de Alegre.



Fonte: Ferrari (2012)

### UOT

Área total: 333,04 hectares

- Pastagem cultivada: 40,35%
- Fragmentos florestais: 29,05%
- Agricultura: 7,33%
- Outros: 23,27%

76,73%

# **IV - Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP)**

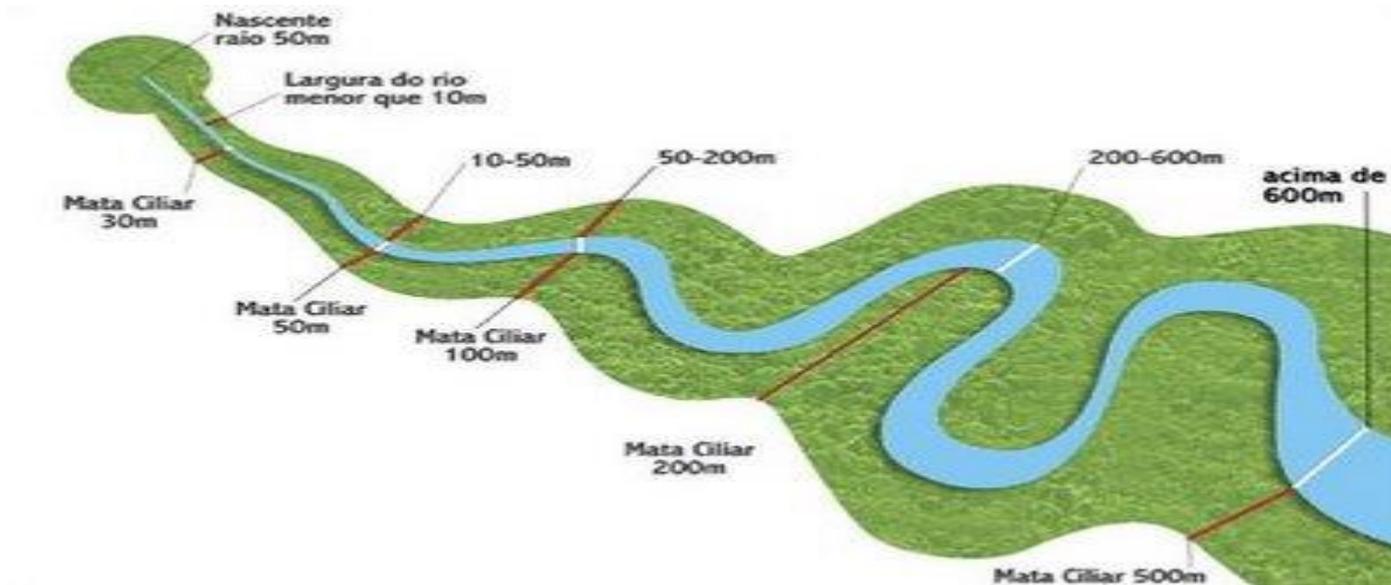
- **Código florestal brasileiro estabelecido pela lei federal nº 2.651 de 2012 (BRASIL, 2012)**
- **Metodologia adaptada de Peluzio et al. (2010)**
  - APP de cursos d'água
  - APP de nascentes
  - APP de encostas
  - APP de topo de morro
  - APP de altitude

Aplicativo computacional

ArcGIS® versão 10.3

## APP cursos d'água e APP nascentes

- Aplicou-se o comando buffer delimitando a largura da APP (50 metros).



## APP de encostas

```
var elevation = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003');  
var fc = ee.FeatureCollection('ft:1p3kzNtfigP-  
A_BqBCjpp_vH9x1j9soU2a_mKN_s5')  
Export.image.toDrive,  
image: elevation,  
description: 'elevation',  
folder: 'Tais',  
region: fc,  
scale: 30,  
maxPixels: 1000000000000  
Map.centerObject(fc);  
Map.addLayer(elevation);  
Map.addLayer(fc);
```

## APP topo de morro

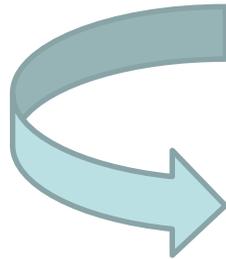
- Extensão de delimitação automática, proposta por Oliveira e Fernandes Filho (2013), no ArcGIS® tendo como entrada o MDE e saída a APP de topo de morro.



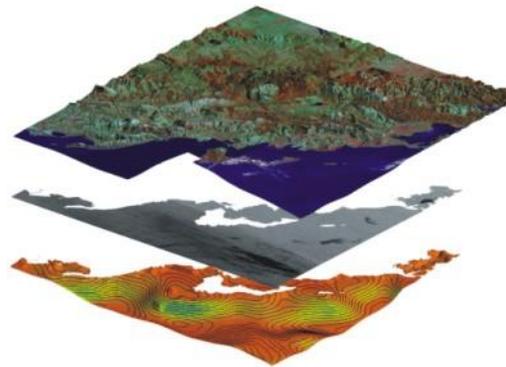
## APP altitude

- **Reclassificação do MDE no ArcGIS®, atribuindo NoData para altitudes menores que 1800 metros e valor 1 para altitudes superiores**
- **O raster resultante deste processamento foi convertido em vetor, gerando a APP de altitude**

## Cruzamento tabular de mapas



**Conflito APP x UOT**



# **V - Estimativa do potencial de lixiviação de agrotóxicos para cultura de café**

- Pesquisa investigativa com gestores do Ifes campus de Alegre para levantamento de dados
- Seleção: 2,4-D, Diuron, Glifosato, Pendimetalina, Sulfentrazone, Tiametoxam

OBS.: Tais princípios ativos estão na lista de ingredientes ativos autorizados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2018), fiscalizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do estado do Espírito Santo (IDAF).

Estimativa do potencial de lixiviação:

- **Índice GUS:** Índice de Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas (GUS) (Groundwater Ubiquity Score) (GUSTAFSON, 1989)
- **Índice LIX:** Leaching Index - Índice de Lixiviação (SPADOTTO, 2002)
- **MÉTODO RF/AF:** Retardation and Attenuation Factor - Fator de Retardação e Atenuação (RAO et al., 1985)
- **Método TLPI:** Temperature Leaching Potential Index) (TLPI) - Índice Potencial de Lixiviação por Temperatura (PARAÍBA; SPADOTTO, 2002)

### Índice GUS:

$$GUS = (\log t_{1/2}) \cdot (4 - \log K_{oc})$$

- GUS = índice de lixiviação (adimensional);
- $t_{1/2}$  = meia vida do produto no solo (dias<sup>-1</sup>);
- $K_{oc}$  = coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (mLg<sup>-1</sup>).

### Índice LIX:

$$LIX = \exp(.k_x \cdot K_{oc})$$

$$K_x = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

- $K_x$ : constante de degradação de primeira ordem do pesticida (dias<sup>-1</sup>);
- $K_{oc}$  - coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (mLg<sup>-1</sup>).
- $t_{1/2}$  = meia vida do produto no solo (dia).

## MÉTODO RF/AF:

$$AF = \exp\left(\frac{-0,693.L.RF.FC}{q_l.t_{1/2}}\right)$$

$$RF = 1 + \frac{\rho_b.OC.K_{oc}}{FC} + \frac{\delta.K_h}{FC}$$

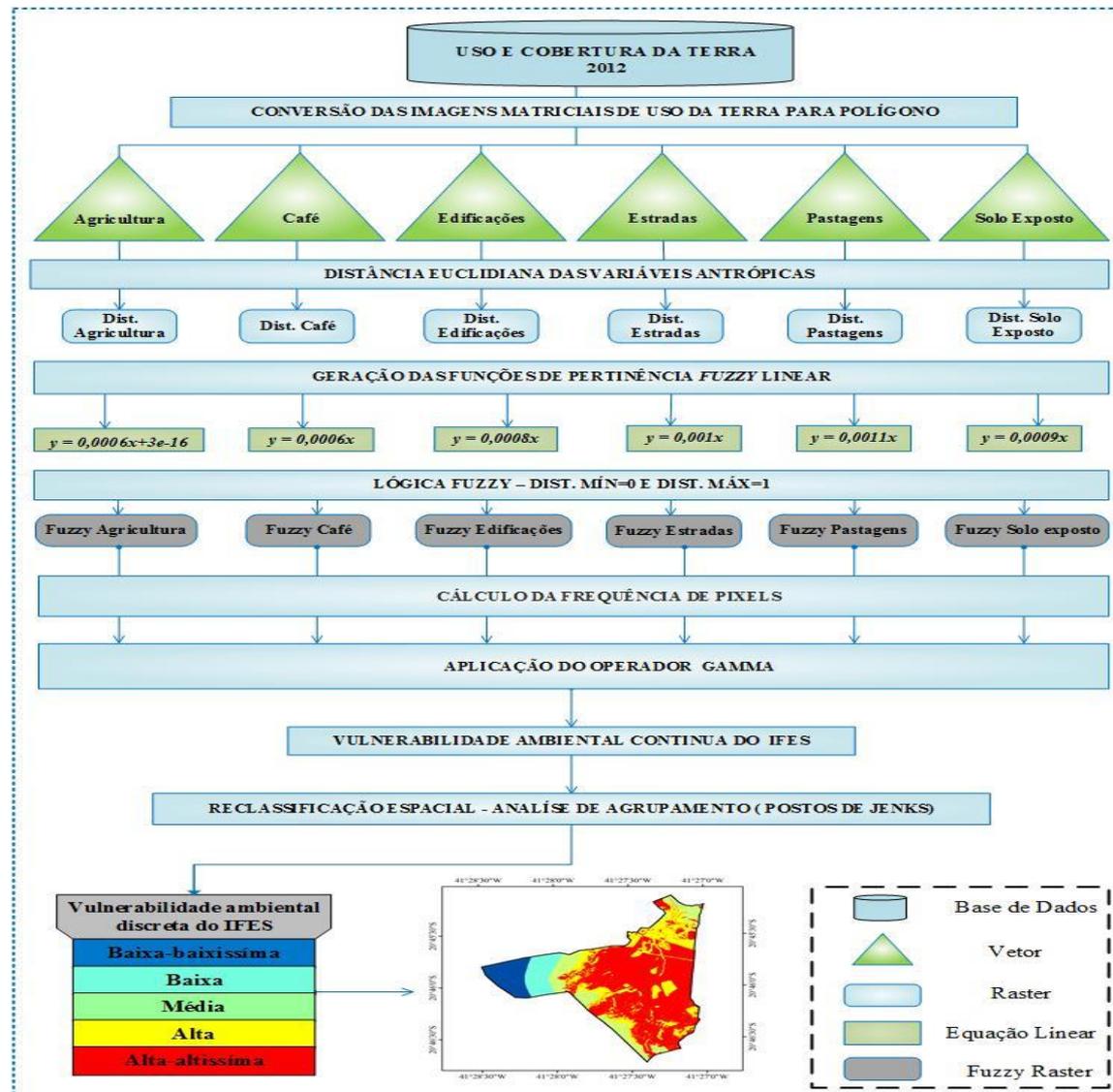
- L = profundidade da água subterrânea a partir da superfície do solo (m)
- RF = fator de retardo (adimensional);
- FC = capacidade de campo do solo ( $v_v^{-1}$ ); -
- q = recarga líquida da água subterrânea ( $m\text{dia}^{-1}$ );
- $t_{1/2}$  = meia vida do produto no solo (dia).
- $\rho_b$  = densidade específica do solo ( $g\text{cm}^{-3}$ );
- OC = teor de carbono orgânico ( $g\text{g}^{-1}$ );
- $K_{oc}$  = coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo ( $\text{cm}^3.g^{-1}$ );
- $\beta$  = porosidade do solo na capacidade de campo ( $v_v^{-1}$ );
- $K_h$  = coeficiente de partição ar-água do agrotóxico ( $\text{cm}^3.g^{-1}$ ).

**Método TLPI:** 
$$TLPI = \frac{1000 \cdot J_w}{K(l, t) \cdot L \cdot RF(l, h) \cdot FC}$$

- $J_w$ : recarga líquida da água subterrânea ( $\text{mm dia}^{-1}$ );
- $k(L, t)$ : constante de degradação de primeira ordem do agrotóxico no solo, considerando a profundidade e o tempo ( $\text{dias}^{-1}$ );
- $t_{1/2}$ : tempo de meia vida do agrotóxico ( $\text{dias}^{-1}$ );
- $E_a$ : energia de ativação da degradação do agrotóxico ( $\text{kJ mol}^{-1}$ );
- $R$ : constante dos gases ( $\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ );
- $T_r$ : temperatura de referência ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T(L, t)$ : temperatura do solo, considerando a profundidade e o tempo ( $^{\circ}\text{C}$ );
- .....Continua

# **VI - Vulnerabilidade Ambiental Antrópica**

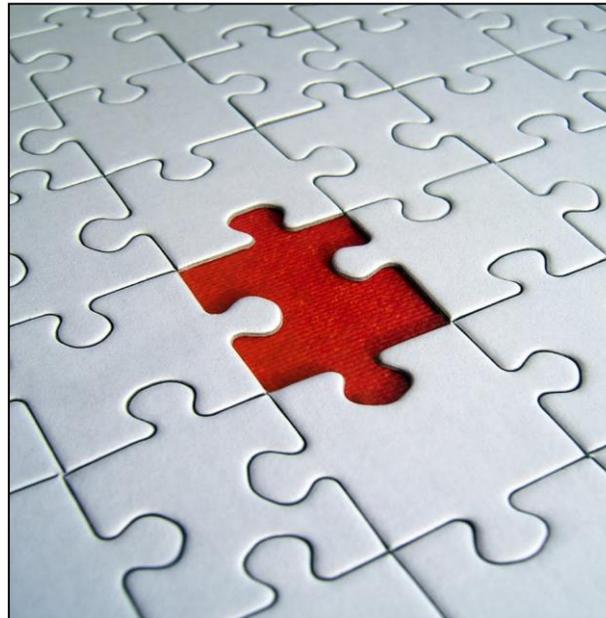
Figura 08 - Etapas metodológicas para análise da vulnerabilidade ambiental.



**Ao final desta análise existem informações sobre:**

- **UOT**
- **Qualidade da água**
- **Risco de lixiviação de agrotóxicos**
- **Conflitos em APP**
- **Vulnerabilidade ambiental antrópica**

**Como reunir as Informações para se obter uma análise mais estruturada sobre a vulnerabilidade ambiental antrópica?**



**Cruzamento tabular de mapas  
utilizando-se a técnica de  
sobreposição no ArcGIS®**



**Análise descritiva para  
interpretação das informações**



# VII - Análise Social

- **Levantamento de informações sobre a importância econômica e social da atividade aquícola para a região sul do estado do Espírito Santo**
- **Foi realizado um levantamento de informações em três Cooperativas que estão no território de domínio da bacia hidrográfica do rio Itapemirim**

# 4 - Resultados e Discussão

# Avaliação da Qualidade da Água



Tabela 01 - Resultado da avaliação físico química da água.

Pontos	pH	OD (mg.l <sup>-1</sup> )	DQO (mg.l <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	F <sub>total</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )
1 - Lagoa de piscicultura	7,26	5,43	22,04	0,166	0,178
2 – Córrego - Prédio extensão	6,27	5,31	28,43	0,170	0,171
3 - Lagoa paisagística – Prédio extensão	6,75	4,95	29,37	0,240	0,291
4 - Lagoa de piscicultura	6,10	4,00	34,43	0,300	0,229
5 - Lagoa de piscicultura	5,81	4,32	32,53	0,298	0,237
6 – Barragem/lagoa	7,22	5,15	23,17	0,123	0,191
7 - Lagoa de piscicultura	5,85	4,53	32,77	0,243	0,266
8 - Lagoa de piscicultura	6,07	4,72	32,43	0,257	0,267
9 - Lagoa paisagística - Suinocultura	4,13	2,56	79,10	0,708	0,342
10 - Poço subterrâneo - Suinocultura	6,49	5,29	30,76	0,166	0,021
11 - Córrego – Pastagem	7,13	3,20	34,76	0,569	0,161
12 - Córrego - Floresta	6,83	4,68	24,03	0,025	0,075
<b>Comparativos</b>					
Resolução CONAMA n°430/2011	6,0 – 9,0	> 3,0	-	10,0	1,0
Resolução CONAMA n°396/2008	6,0 – 9,0	> 3,0	-	4,0	1,0
Portaria Ministério Saúde n°2914/2011	6,0 – 8,0	> 3,0	-	2,0	0,050

Tabela 01 - Resultado da avaliação físico química da água.

Pontos	pH	OD (mg.l <sup>-1</sup> )	DQO (mg.l <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	F <sub>total</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )
1 - Lagoa de piscicultura	7,26	5,43	22,04	0,166	0,178
2 – Córrego - Prédio extensão	6,27	5,31	28,43	0,170	0,171
3 - Lagoa paisagística – Prédio extensão	6,75	4,95	29,37	0,240	0,291
4 - Lagoa de piscicultura	6,10	4,00	34,43	0,300	0,229
5 - Lagoa de piscicultura	5,81	4,32	32,53	0,298	0,237
6 – Barragem/lagoa	7,22	5,15	23,17	0,123	0,191
7 - Lagoa de piscicultura	5,85	4,53	32,77	0,243	0,266
8 - Lagoa de piscicultura	6,07	4,72	32,43	0,257	0,267
9 - Lagoa paisagística - Suinocultura	<b>4,13</b>	<b>2,56</b>	<b>79,10</b>	<b>0,708</b>	<b>0,342</b>
10 - Poço subterrâneo - Suinocultura	6,49	5,29	30,76	0,166	0,021
11 - Córrego – Pastagem	7,13	3,20	34,76	0,569	0,161
12 - Córrego - Floresta	6,83	4,68	24,03	0,025	0,075
<b>Comparativos</b>					
Resolução CONAMA n°430/2011	6,0 – 9,0	> 3,0	-	10,0	1,0
Resolução CONAMA n°396/2008	6,0 – 9,0	> 3,0	-	4,0	1,0
Portaria Ministério Saúde n°2914/2011	6,0 – 8,0	> 3,0	-	2,0	0,050

Tabela 02 - Matriz de correlação do vetor X correspondente ao parâmetros de qualidade da água.

Parâmetros	pH	OD	DQO	N-NH <sub>3</sub>	F <sub>total</sub>
pH	1	-	-	-	-
OD	0,12	1	-	-	-
DQO	0,23	-0,67*	1	-	-
N-NH <sub>3</sub>	0,74*	-0,62*	0,53*	1	-
F <sub>total</sub>	-0,28	-0,45*	0,51*	0,73*	1

\* Correlação de Pearson significativa,  $p < 0,05$ .

Tabela 02 - Matriz de correlação do vetor X correspondente ao parâmetros de qualidade da água.

Parâmetros	pH	OD	DQO	N-NH <sub>3</sub>	F <sub>total</sub>
pH	1	-	-	-	-
OD	0,12	1	-	-	-
DQO	0,23	-0,67*	1	-	-
N-NH <sub>3</sub>	0,74*	-0,62*	0,53*	1	-
F <sub>total</sub>	-0,28	-0,45*	0,51*	0,73*	1

\* Correlação de Pearson significativa,  $p < 0,05$ .

Tabela 03 - Resultados dos ensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis*

Concentração (%)	N° inicial de organismos	N° de organismos mortos							
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8
<b>Controle</b>	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>6,25</b>	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>12,0</b>	20	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>25</b>	20	1	0	0	0	0	0	0	1
<b>50</b>	20	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>75</b>	20	1	0	0	0	0	0	1	0
<b>100</b>	20	2	1	0	0	0	1	0	0

**Não houve toxicidade aguda pela metodologia utilizada**

Tabela 04 - Resultado do teste de toxicidade crônica.

<b>Amostras</b>	<b>Pontos</b>	<b>Cl<sub>25</sub> (%)</b>
<b>1</b>	P1 - Lagoa de piscicultura	26,8
<b>2</b>	P2 – Córrego - Prédio extensão	64,2
<b>3</b>	P4 - Lagoa de piscicultura	31,5
<b>4</b>	P7 - Lagoa de piscicultura	32,1
<b>5</b>	P9 - Lagoa paisagística - Suinocultura	14,9
<b>6</b>	P10 - Poço subterrâneo - Suinocultura	58,7
<b>7</b>	P11 - Córrego – Pastagem	40,2
<b>8</b>	P12 - Córrego - Floresta	73,5

Tabela 04 - Resultado do teste de toxicidade crônica.

Amostras	Pontos	Cl <sub>25</sub> (%)
1	P1 - Lagoa de piscicultura	26,8
2	P2 – Córrego - Prédio extensão	64,2
3	P4 - Lagoa de piscicultura	31,5
4	P7 - Lagoa de piscicultura	32,1
5	P9 - Lagoa paisagística - Suinocultura	14,9
6	P10 - Poço subterrâneo - Suinocultura	58,7
7	P11 - Córrego – Pastagem	40,2
8	P12 - Córrego - Floresta	73,5

Comparação entre valores:

<b>Amostras</b>	<b>Pontos</b>	<b>Cl<sub>25</sub> (%)</b>
<b>Chun et al. (2018)</b>	Carcinicultura, Coréia do Norte	< 11,25
<b>Raptis; Juraske; Hellweg (2014)</b>	Efluente de celulose. Alemanha	< 20,0
<b>Coors et al. (2018)</b>	Agrotóxicos, Turquia	< 18,0
<b>Bila (2018)</b>	Efluentes sanitário, Rio de Janeiro	8,0 à 28,5



- **ACC**

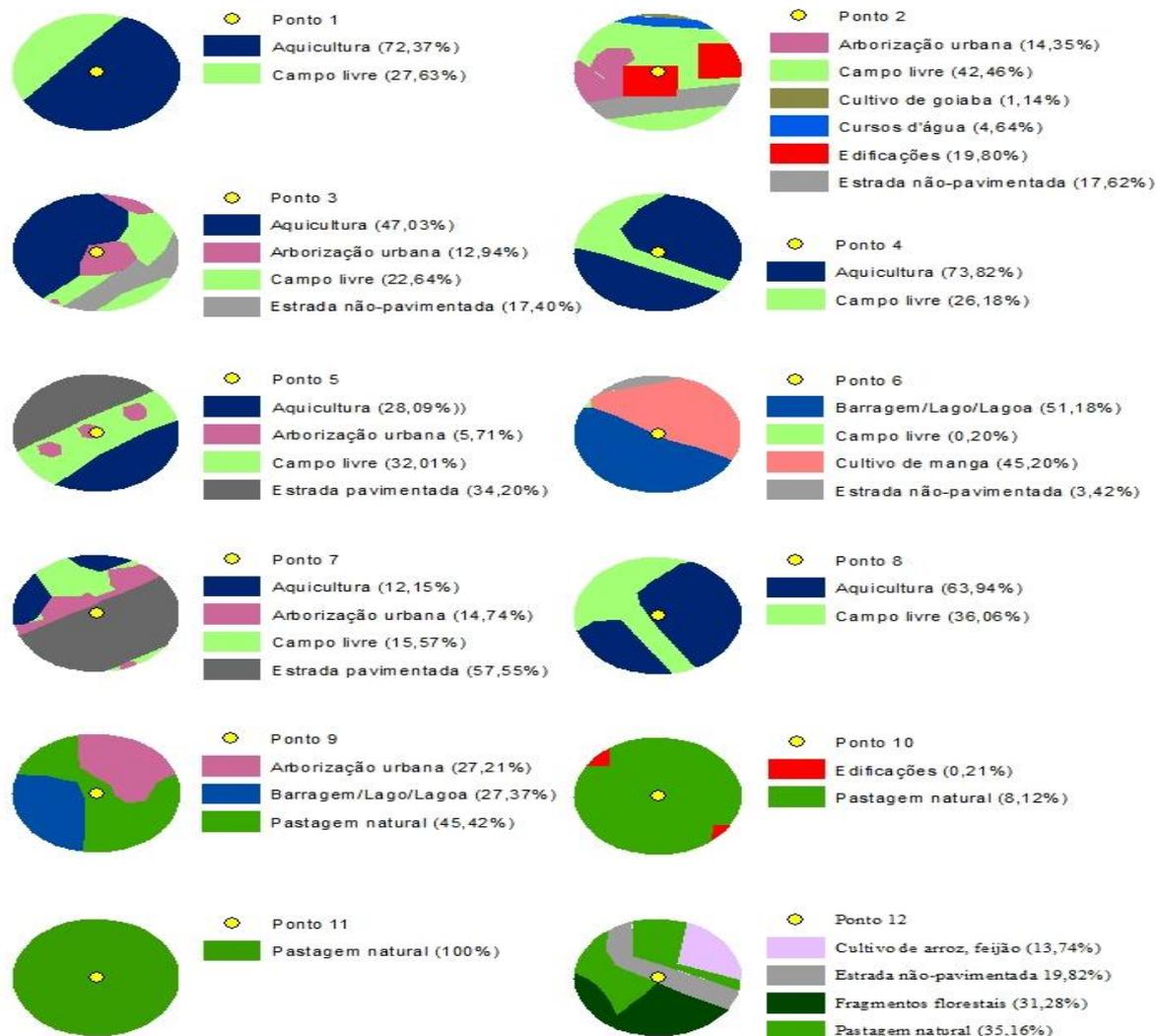
$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix}$$

- $X_1 = \text{pH}$
- $X_2 = \text{Oxigênio dissolvido}$
- $X_3 = \text{DQO}$
- $X_4 = \text{Nitrogênio NKT}$
- $X_5 = \text{Fósforo total}$

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{bmatrix}$$

- $Y_1 = \% \text{ áreas naturais}$
- $Y_2 = \% \text{ áreas agrícolas e pastagem}$
- $Y_3 = \% \text{ arborização urbana}$
- $Y_4 = \% \text{ estradas e edificações}$

Figura 09 - Uso e ocupação da terra conforme a área de influência de cada ponto de amostragem.



Fonte: Autora.

Tabela 05 - Variáveis dos vetores X (parâmetros de qualidade da água) e Y (classes de uso e ocupação da terra).

Pontos	X1 pH	X2 OD (mg.l <sup>-1</sup> )	X3 DQO (mg.l <sup>-1</sup> )	X4 N-NH <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	X5 F <sub>total</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	Y1 Área natural (%)	Y2 Pastagem agricultura (%)	Y3 Arboriz. urbana (%)	Y4 Estradas e edif. (%)
1	7,26	5,43	22,04	0,166	0,178	27,63	72,37	-	-
2	6,27	5,31	28,43	0,170	0,171	42,46	1,14	14,35	37,42
3	6,75	4,95	29,37	0,240	0,291	22,64	47,03	12,94	17,40
4	6,10	4,00	34,43	0,300	0,229	26,18	73,82	-	-
5	5,81	4,32	32,53	0,298	0,237	32,01	28,09	5,71	34,20
6	7,22	5,15	23,17	0,123	0,191	0,20	45,20	-	3,42
7	5,85	4,53	32,77	0,243	0,266	15,57	12,15	14,74	57,55
8	6,07	4,72	32,43	0,257	0,267	36,06	63,94	-	-
9	4,13	2,56	79,10	0,708	0,342	-	45,42	27,21	-
10	6,49	5,29	10,87	0,166	0,021	-	98,0	-	2,0
11	7,13	3,20	34,76	0,569	0,161	-	100	-	-
12	6,83	4,68	24,03	0,025	0,075	31,28	48,90	-	19,82

Tabela 05 - Variáveis dos vetores X (parâmetros de qualidade da água) e Y (classes de uso e ocupação da terra).

Pontos	X1 pH	X2 OD (mg.l <sup>-1</sup> )	X3 DQO (mg.l <sup>-1</sup> )	X4 N-NH <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	X5 F <sub>total</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	Y1 Área natural (%)	Y2 Pastagem agricultura (%)	Y3 Arboriz. urbana (%)	Y4 Estradas e edif. (%)
1	7,26	5,43	22,04	0,166	0,178	27,63	72,37	-	-
2	6,27	5,31	28,43	0,170	0,171	42,46	1,14	14,35	37,42
3	6,75	4,95	29,37	0,240	0,291	22,64	47,03	12,94	17,40
4	6,10	4,00	34,43	0,300	0,229	26,18	73,82	-	-
5	5,81	4,32	32,53	0,298	0,237	32,01	28,09	5,71	34,20
6	7,22	5,15	23,17	0,123	0,191	0,20	45,20	-	3,42
7	5,85	4,53	32,77	0,243	0,266	15,57	12,15	14,74	57,55
8	6,07	4,72	32,43	0,257	0,267	36,06	63,94	-	-
9	4,13	2,56	79,10	0,708	0,342	-	45,42	27,21	-
10	6,49	5,29	10,87	0,166	0,021	-	98,0	-	2,0
11	7,13	3,20	34,76	0,569	0,161	-	100	-	-
12	6,83	4,68	24,03	0,025	0,075	31,28	48,90	-	19,82

Tabela 05 - Variáveis dos vetores X (parâmetros de qualidade da água) e Y (classes de uso e ocupação da terra).

Pontos	X1 pH	X2 OD (mg.l <sup>-1</sup> )	X3 DQO (mg.l <sup>-1</sup> )	X4 N-NH <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	X5 F <sub>total</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	Y1 Área natural (%)	Y2 Pastagem agricultura (%)	Y3 Arboriz. urbana (%)	Y4 Estradas e edif. (%)
2	6,27	5,31	28,43	0,170	0,171	42,46	1,14	14,35	37,42
3	6,75	4,95	29,37	0,240	0,291	22,64	47,03	12,94	17,40
5	5,81	4,32	32,53	0,298	0,237	32,01	28,09	5,71	34,20
7	5,85	4,53	32,77	0,243	0,266	15,57	12,15	14,74	57,55

Obs.: P2 – Córrego próximo ao prédio de extensão, P3 – Lagoa de piscicultura, P5 – Lagoa paisagística da suinocultura, P7 – Córrego próximo a área de pastagem.

Tabela 06 - Matriz de correlação do vetor Y correspondente as classes de uso e ocupação da terra.

Parâmetros	Área natural	Pastagem e agricultura	Arborização urbana	Estradas e edificações
Área natural	1	-	-	-
Pastagem e agricultura	-0,67*	1	-	-
Arborização urbana	0,45	0,22	1	-
Estradas e edificações	-0,71*	0,29	-0,34	1

\* Correlação de Pearson significativa,  $p < 0,05$ .

Tabela 06 - Matriz de correlação do vetor Y correspondente as classes de uso e ocupação da terra.

Parâmetros	Área natural	Pastagem e agricultura	Arborização urbana	Estradas e edificações
Área natural	1	-	-	-
Pastagem e agricultura	-0,67*	1	-	-
Arborização urbana	0,45	0,22	1	-
Estradas e edificações	-0,71*	0,29	-0,34	1

\* Correlação de Pearson significativa,  $p < 0,05$ .

Tabela 07 - Vetores R<sub>UX</sub> e R<sub>VY</sub> e suas classificações.

Vetor R <sub>UX</sub> - canonical loadings			Vetor R <sub>VY</sub> - canonical loadings		
Parâmetro	Valor	Classificação	Parâmetro	Valor	Classificação
pH	-0,078	Muito fraca	Área natural	0.532	Moderada
OD	-0,704	Moderada a forte	Pastagem e agricultura	-0.751	Moderada a forte
DQO	0,174	Fraca a moderada	Arborização urbana	0.326	Moderada
N-NH <sub>3</sub>	0,303	Moderada	Estradas e edificações	0.389	Moderada
F <sub>total</sub>	0,324	Moderada	-	-	-

$$\text{➤ } U_1 = a_1 \cdot X^* = -0,121X_1^* - 0,653 X_2^* - 0,359 X_3^* + 0.456 X_4^* - 0.252 X_5^*$$

$$\text{➤ } V_1 = b_1 \cdot Y^* = - 0.087Y_1^* + 0.382 Y_2^* + 0.488 Y_3^* + 0.753 Y_4^*$$

Onde: X\* é o vetor X padronizado e Y\* o vetor Y padronizado.

Tabela 07 - Vetores RUX e RVY e suas classificações.

Vetor R <sub>UX</sub> - canonical loadings			Vetor R <sub>VY</sub> - canonical loadings		
Parâmetro	Valor	Classificação	Parâmetro	Valor	Classificação
pH	-0,078	Muito fraca	Área natural	0.532	Moderada
OD	-0,704	Moderada a forte	Pastagem e agricultura	-0.751	Moderada a forte
DQO	0,174	Fraca a moderada	Arborização urbana	0.326	Moderada
N-NH <sub>3</sub>	0,303	Moderada	Estradas e edificações	0.389	Moderada
F <sub>total</sub>	0,324	Moderada	-	-	-

$$\text{➤ } U_1 = a_1 \cdot X^* = -0,121X_1^* - 0,653 X_2^* - 0,359 X_3^* + 0.456 X_4^* - 0.252 X_5^*$$

$$\text{➤ } V_1 = b_1 \cdot Y^* = - 0.087Y_1^* + 0.382 Y_2^* + 0.488 Y_3^* + 0.753 Y_4^*$$

Onde: X\* é o vetor X padronizado e Y\* o vetor Y padronizado.

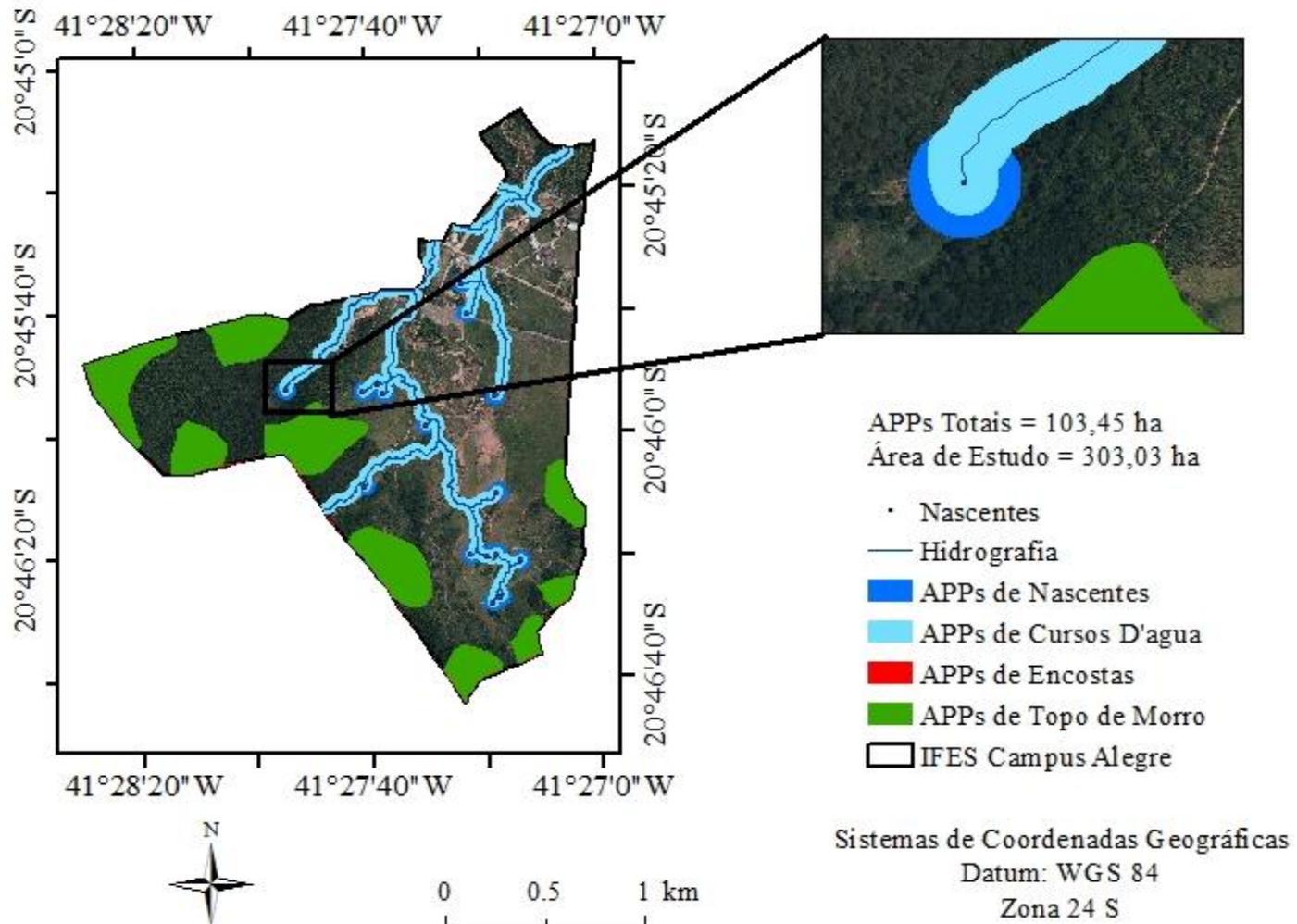
Tabela 08 - Valores dos pares de variáveis canônicas (scores.)

Pontos	Índice de degradação da água, Índice de uso do solo
2 - Córrego - prédio de extensão	- 0.64, - 0.59
3 - Lagoa de piscicultura	- 0.35, - 0.30
5 - Lagoa paisagística - suinocultura	0,55, -0,47
7 - Córrego – pastagem	-0,39, - 0,21

# Avaliação do conflito em APP



Figura 10: APP do Ifes campus de Alegre.



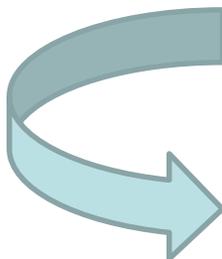
Fonte: Autora.

Tabela 09 - APP do Ifes campus de Alegre.

<b>Classes de APP</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>Porcentagem em relação à área total (%)</b>
<b>APP nascente</b>	10,55	10,20	3,17
<b>APP curso d'água</b>	36,93	35,70	11,10
<b>APP topo morro</b>	49,24	47,60	14,79
<b>APP encosta</b>	5,59	5,40	1,68
<b>APP de altitude</b>	1,14	1,10	0,34

APP = 103,45 hectares = 31,08% da área total

Cruzamento  
tabular de mapas



**APP x UOT**

Tabela 10 - Conflito do uso e ocupação da terra em APP.

Classes de UOT	Área total da classe (ha)	Área em conflito com APP (ha)	Porcentagem em conflito (%)
Pastagem natural	134,37	16,12	12,0
Áreas agrícolas antrópicas	26,26	5,78	22,0
Estradas pavimentadas	6,46	1,56	24,0
Estradas não pavimentadas	2,46	0,53	21,5
Edificações	5,32	0,5	9,4
Outras classes	158,17	4,75	3,0
Total	333,04	29,24	-

# Avaliação do potencial de lixiviação de agrotóxicos



Tabela 11 - Potencial risco de lixiviação dos princípios ativos dos agrotóxicos no lfes campus de Alegre pelos métodos GUS e LIX.

Agrotóxico	GUS	Classificação*	LIX	Classificação**
<b>2,4-D</b>	1,65555	NL	0,00000	N
<b>Diuron</b>	2,25250	FT	0,00071	ZT
<b>Glifosato</b>	0,98255	NL	0,00000	N
<b>Pendimetalina</b>	-0,55614	NL	0,00000	N
<b>Sulfentrazone</b>	6,53220	PL	0,97643	PL
<b>Tiametoxam</b>	3,45640	PL	0,46872	PL

\*GUS: NL: Não Sofre Lixiviação; FT: Faixa de Transição; PL: Provável Lixiviação.

\*\* LIX: N: Nulo; ZT: Zona de Transição; PL: Potencial de Lixiviação.

$$GUS = (\log t_{1/2}) \cdot (4 - \log K_{oc})$$

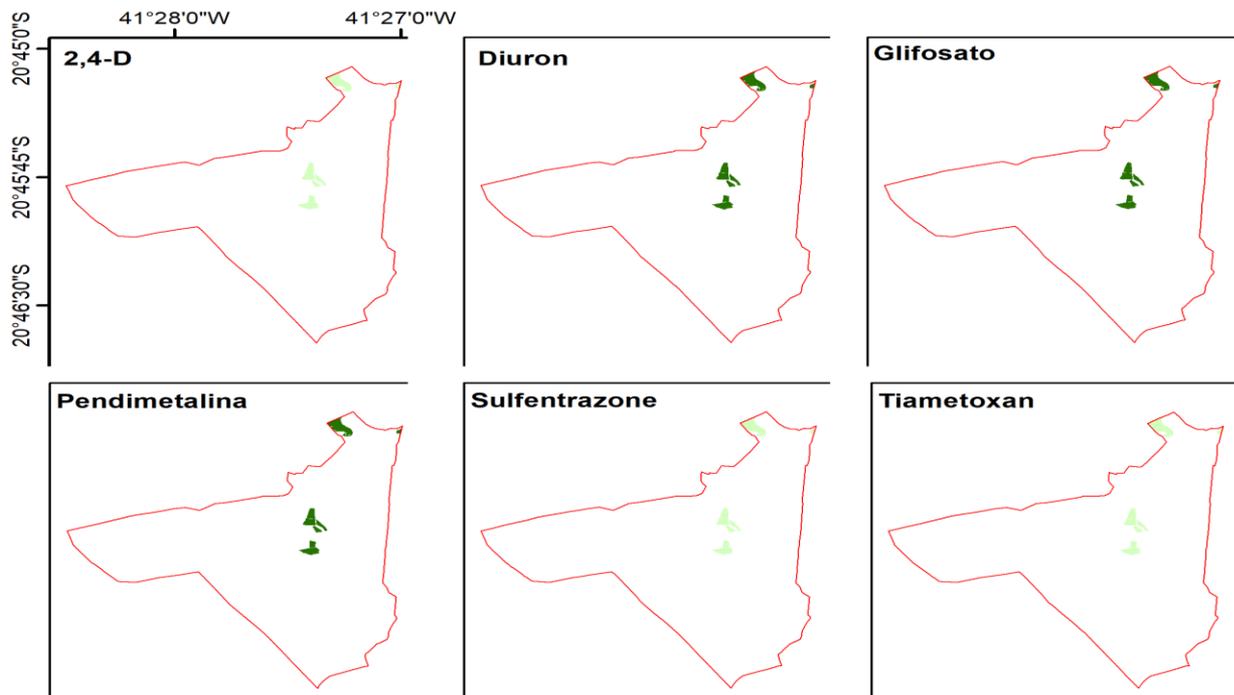
$$LIX = \exp(.k_x \cdot K_{oc}) \quad K_x = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

- Quanto maior o tempo de meia vida >> Maior será o tempo em que ela estará disponível no ambiente >> Maior possibilidade de ser lixiviada

Agrotóxico	$t_{1/2}$ (dias <sup>-1</sup> )
2,4-D	4,4
Diuron	75,5
Glifosato	15,0
Pendimetalina	182,3
Sulfentrazone	541,0
Tiametoxam	50,0

- Resultados são expressos em mapa classificando o **potencial de adsorção**
- Quanto menor for o coeficiente de adsorção, maior será o potencial de lixiviação, pois sua capacidade de sorção em relação ao solo é reduzida

Figura 11 - Fator de Retardo dos princípios ativos de agrotóxicos para cultura de café no Ifes campus de Alegre.



Agrotóxicos	Fator de Retardo (RF)										Total (ha)
	Muito baixo ≤ 1,0		Baixo 1,0 a 2,0		Médio 2,0 a 3,0		Alto 3,0 a 10,0		Muito Alto > 10,0		
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
2,4-D	-	-	-	-	-	-	4,847	100	-	-	-
Diuron	-	-	-	-	-	-	-	-	4,847	100	-
Glifosato	-	-	-	-	-	-	-	-	4,847	100	-
Pendimetalina	-	-	-	-	-	-	-	-	4,847	100	4,847
Sulfentrazone	-	-	-	-	-	-	4,847	100	-	-	-
Tiametoxam	-	-	-	-	-	-	4,847	100	-	-	-

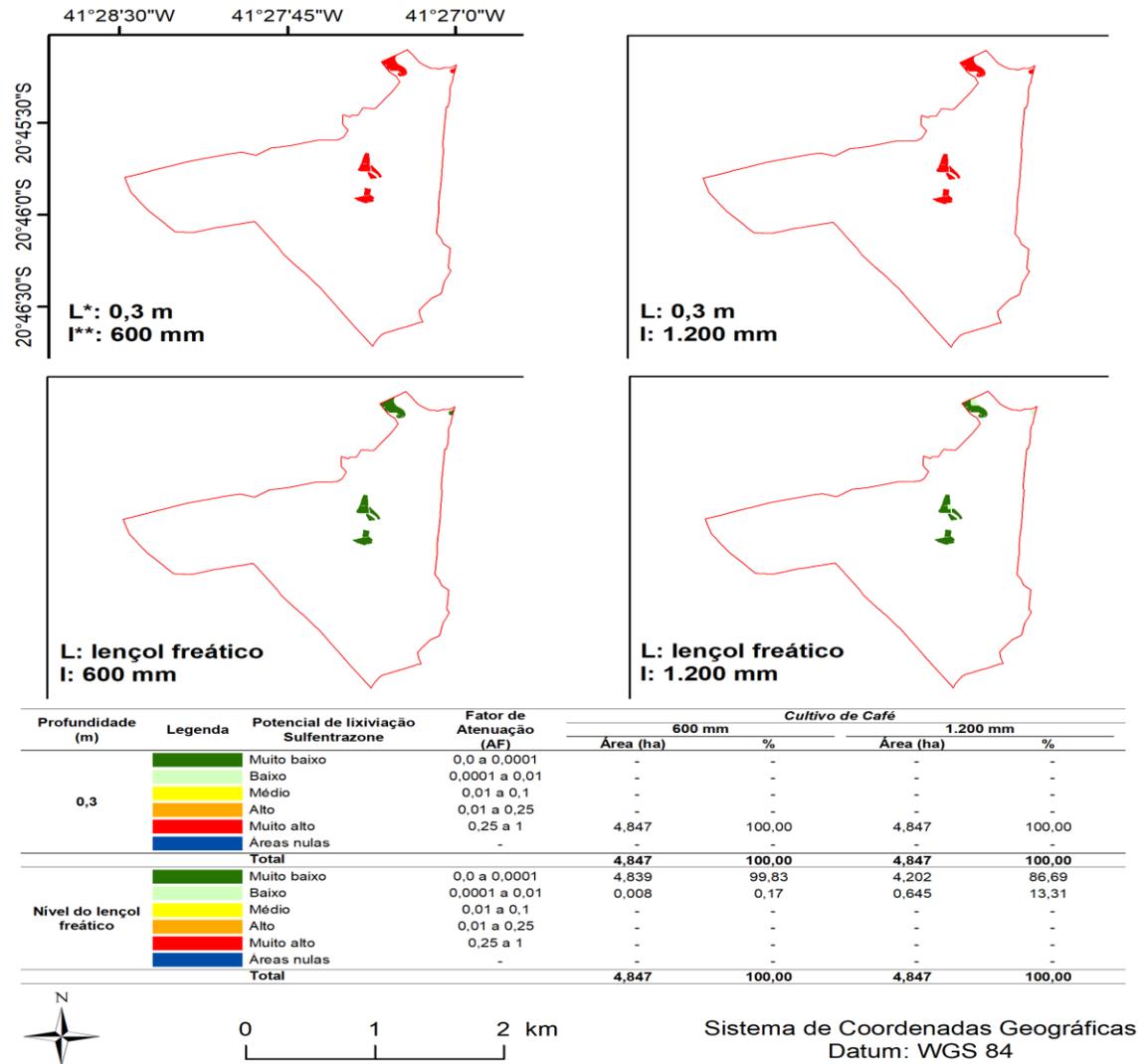


0 1 2 km

Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: WGS 84

- Resultados são expressos em mapa classificando o **potencial de lixiviação**
- Quanto maior o AF maior é o potencial de contaminação do lençol freático

Figura 12 - Fator de Atenuação do composto Sulfentrazone para cultura de café no Ifes campus de Alegre.



Fonte: Autora.

### MÉTODO RF/AF: Retardation and Attenuation Factor - Fator de Retardação e Atenuação (RAO et al., 1985);

$$AF = \exp\left(\frac{-0,693.L.RF.FC}{q_i \cdot t_{1/2}}\right) \quad RF = 1 + \frac{\rho_b \cdot OC \cdot K_{oc}}{FC} + \frac{\delta \cdot K_h}{FC}$$

- L = profundidade da água subterrânea a partir da superfície do solo (m)
- RF = fator de retardo (adimensional);
- FC = capacidade de campo do solo ( $\text{vv}^{-1}$ ); -
- q = recarga líquida da água subterrânea ( $\text{mdia}^{-1}$ );
- $t_{1/2}$  = meia vida do produto no solo (dia).
- $\rho_b$  = densidade específica do solo ( $\text{gcm}^{-3}$ );
- OC = teor de carbono orgânico ( $\text{gg}^{-1}$ );
- $K_{oc}$  = coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo ( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ );
- $\beta$  = porosidade do solo na capacidade de campo ( $\text{vv}^{-1}$ );
- $K_h$  = coeficiente de partição ar-água do agrotóxico ( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ ).

➤ Lourencetti et al. (2005) e Portugal et al. (2018):

**Quando a substância apresenta valores reduzidos do coeficiente de adsorção, o tempo de meia vida passa ser fundamental durante o fluxo descendente do agrotóxico no solo, ou seja, quanto maior o tempo de meia vida, maior será o tempo necessário para a degradação do composto ao longo do perfil do solo = maior possibilidade de lixiviação**

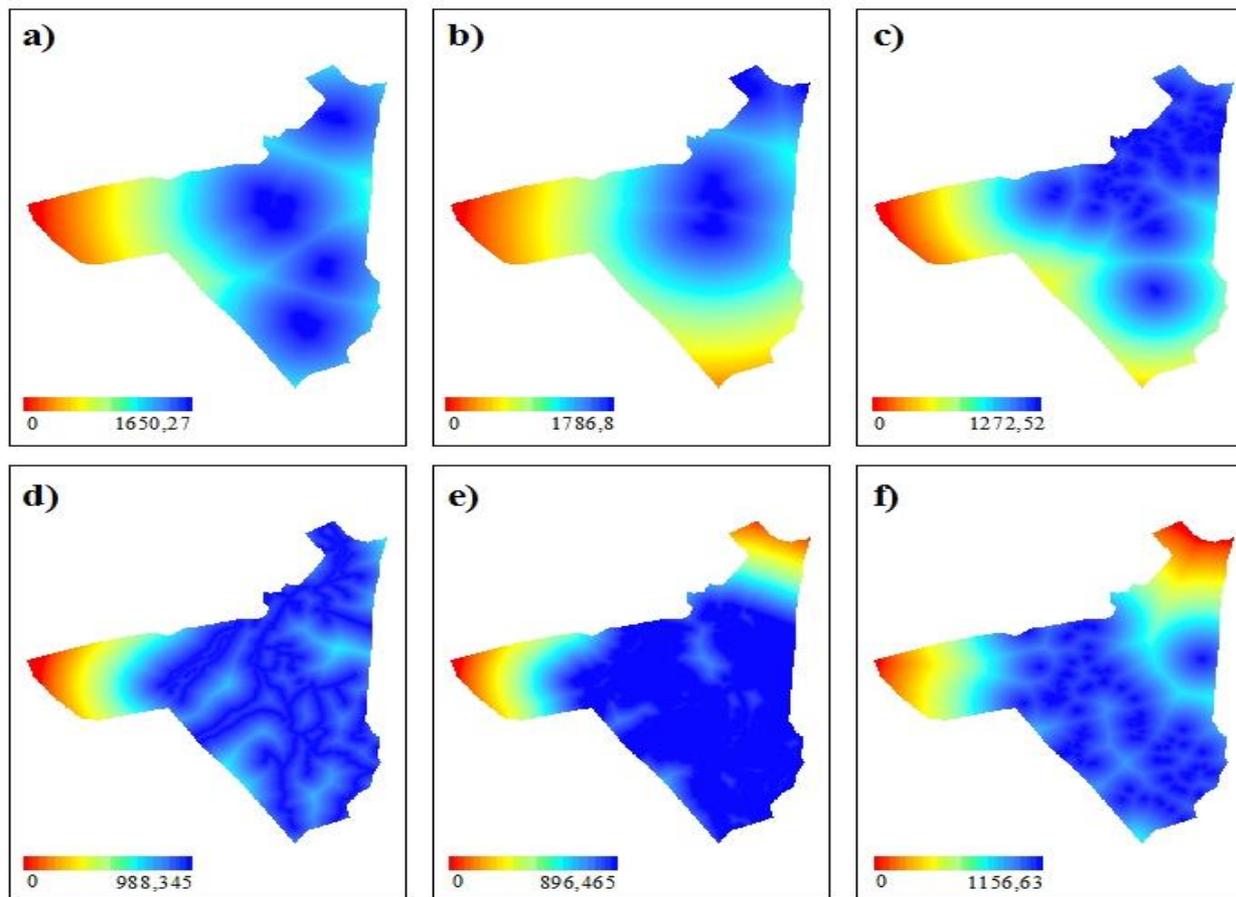
Tabela 12 - Potencial risco de lixiviação dos princípios ativos dos agrotóxicos no lfes campus de Alegre pelo método TLPI.

<b>Agrotóxico</b>	<b>Potencial de lixiviação por meio do método TLPI para Latossolo Vermelho Amarelo</b>	
<b>2,4-D</b>	1,16752	Muito baixo
<b>Diuron</b>	2,05090	Muito baixo
<b>Glifosato</b>	0,00751	Muito baixo
<b>Pendimetalina</b>	0,00011	Muito baixo
<b>Sulfentrazone</b>	<b>26,33240</b>	<b>Baixo</b>
<b>Tiametoxam</b>	5,12540	Muito baixo

- Potencial de lixiviação classificado como Baixo (ou Muito Baixo) desperta um **ALERTA**
- A classificação deve ser acompanhada de uma avaliação sobre as caracterizarias de cada princípio ativo, considerando principalmente sua **recalcitrância** no ambiente e suas propriedades de **bioacumulação**

# **Avaliação da vulnerabilidade ambiental antrópica**

Figura 13 – Distância euclidiana para as variáveis vetoriais distribuída por área.

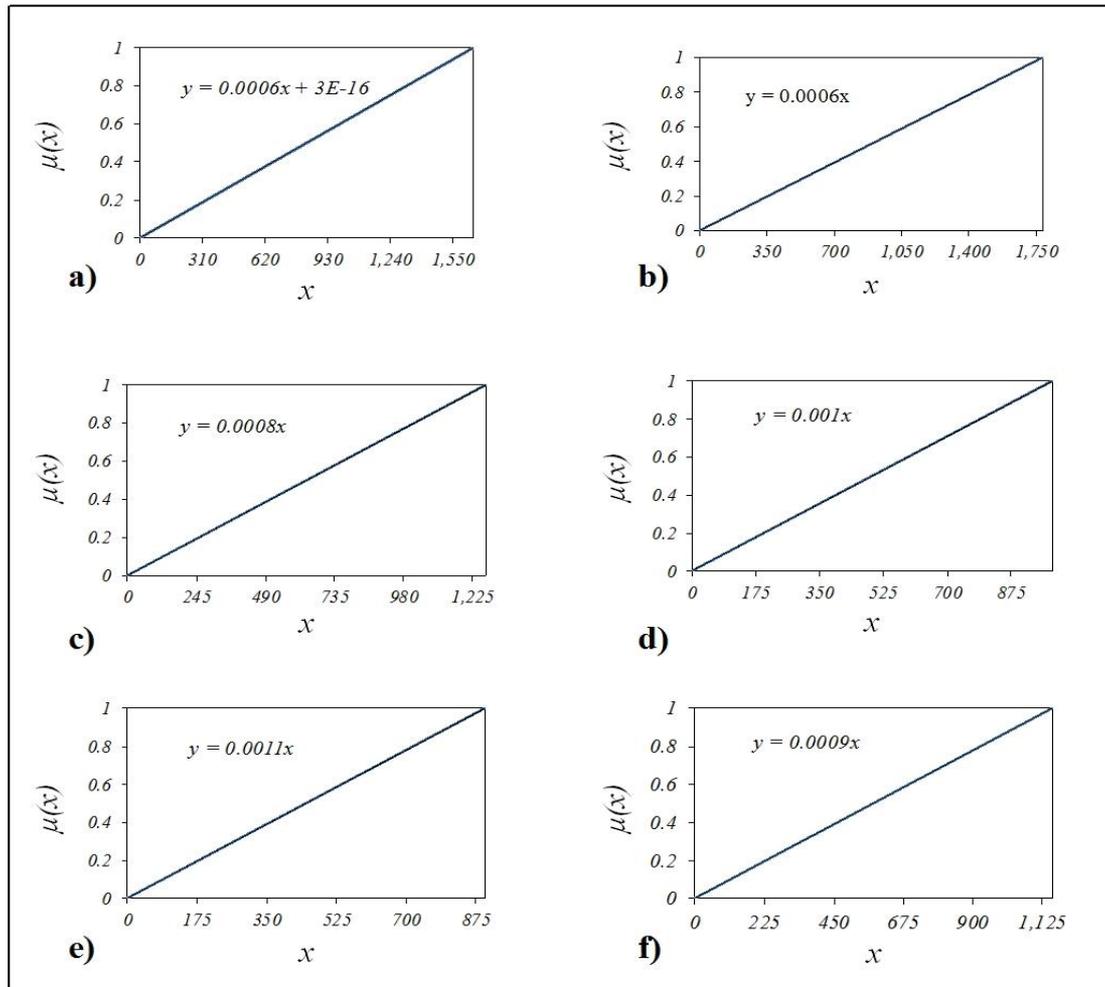


0 0.5 1 km

Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: WGS 84  
Zona 24S

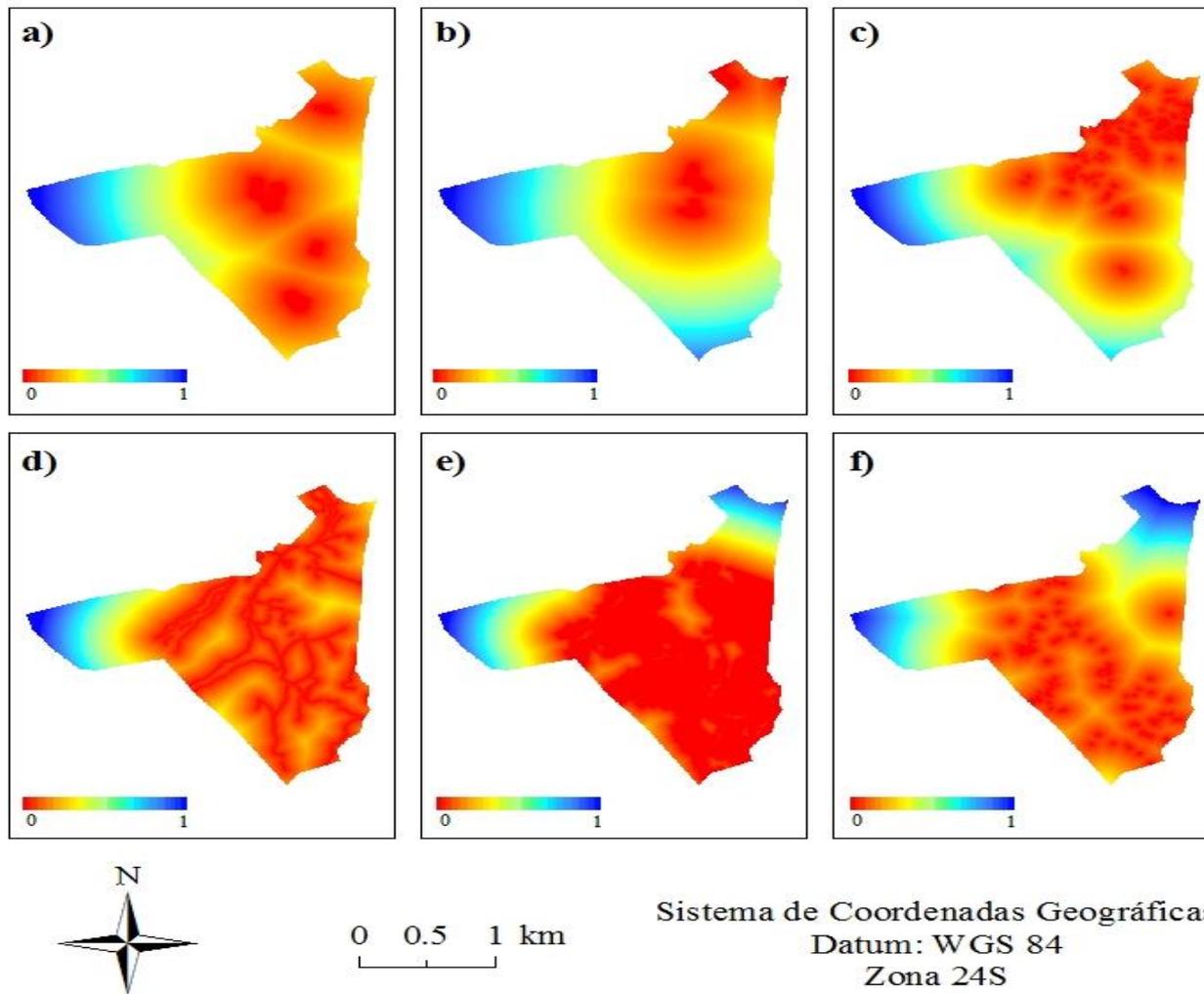
Legenda: a) Agricultura; b) Café; c) Edificações; d) Pastagem; e) Estradas; f) Solo.

Figura 14 – Diagramas da função linear fuzzy.



Legenda: a) Agricultura; b) Café; c) Edificações; d) Pastagem; e) Estradas; f) Solo.

Figura 15 – Lógica Fuzzy para as variáveis matriciais distribuídas



Legenda: a) Agricultura; b) Café; c) Edificações; d) Pastagem; e) Estradas; f) Solo.

Figura 16 – Frequência de pixels para os intervalos do conjunto da função de pertinência fuzzy.

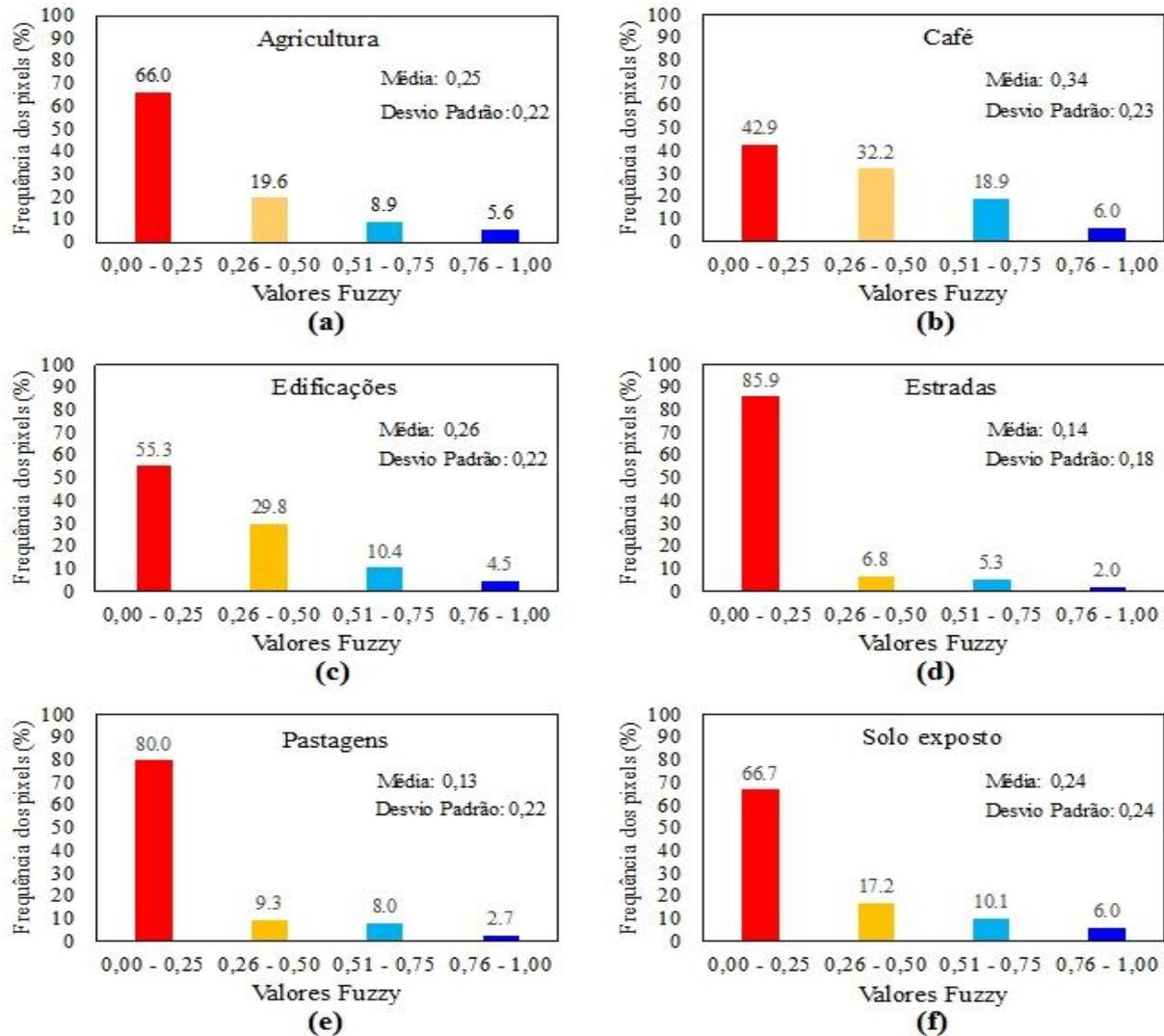
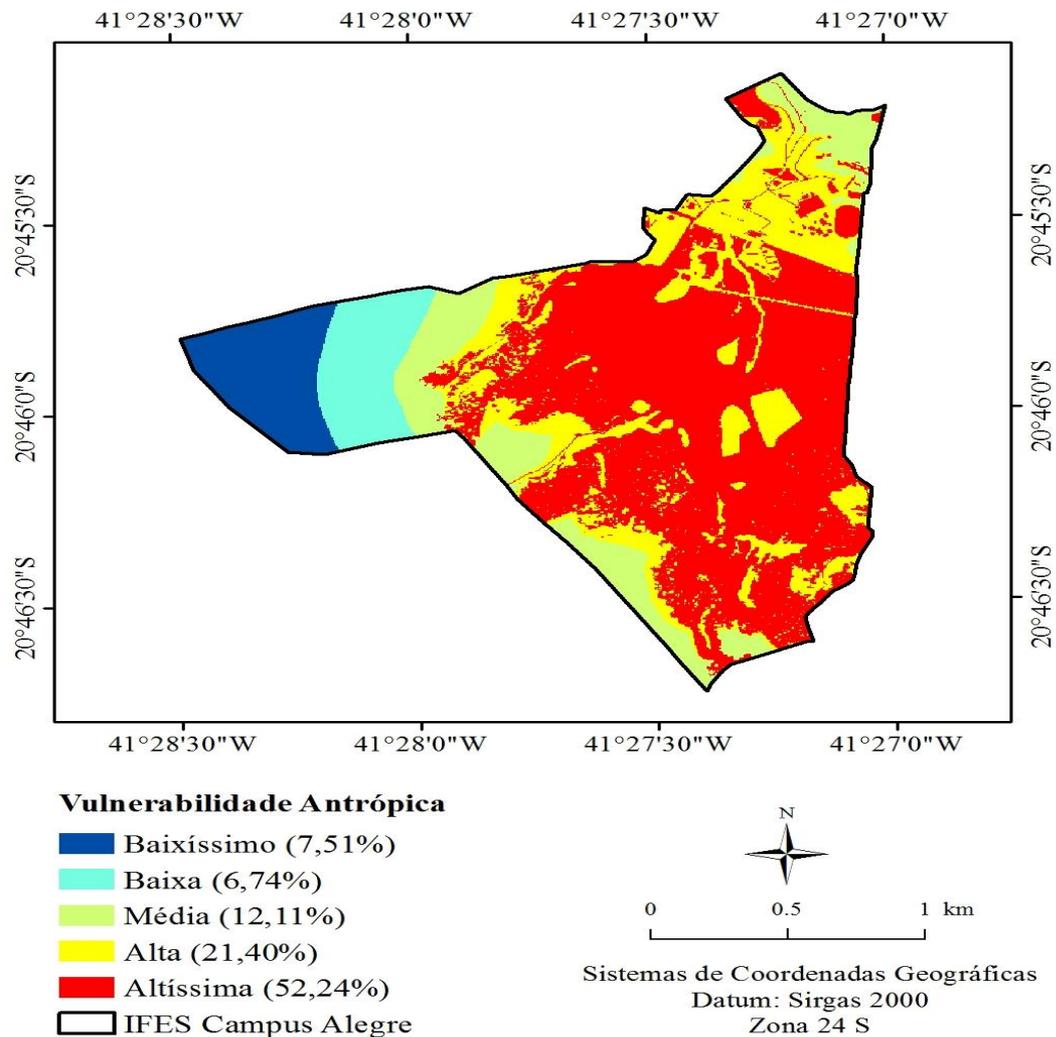
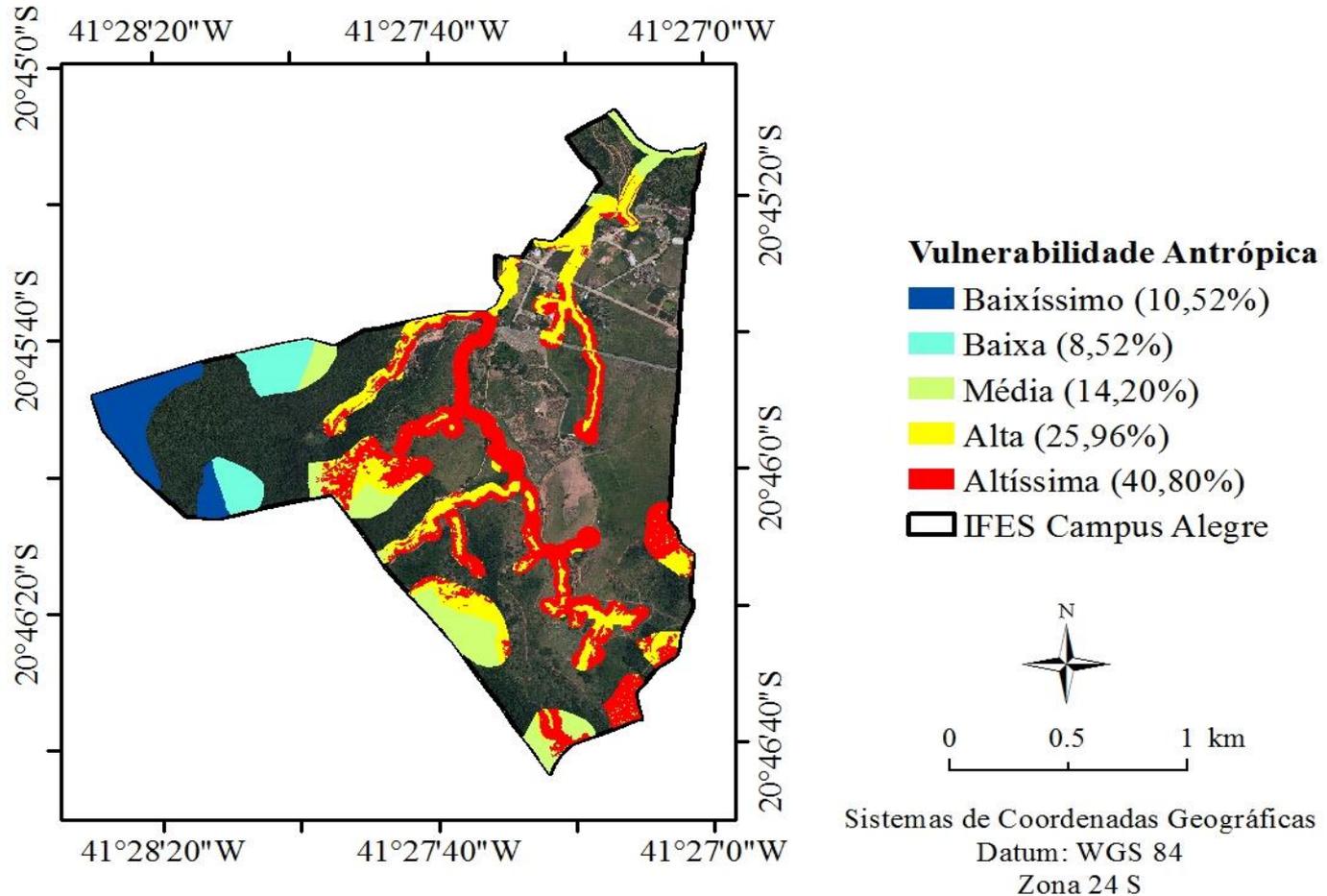


Figura 17 – Vulnerabilidade ambiental antrópica do uso e ocupação da terra para o campus de Alegre.



Fonte: Autora.

Figura 18 – Confronto entre a vulnerabilidade ambiental antrópica e APP no Ifes campus de Alegre.



Fonte: Autora.

# Avaliação Social

Quadro 1 - Levantamento de informações sobre a atividade aquícola na região sul do estado do Espírito Santo.

<b>Informação</b>	<b>Cooperativa A</b>	<b>Cooperativa B</b>	<b>Cooperativa C</b>
<b>Capacidade de processamento</b>	100.000 Kg por mês	100.000 Kg por mês	100.000 Kg por mês
<b>Quantidade processada</b>	30.000 Kg por mês	10.000 Kg por mês	35.000 Kg por mês
<b>Número de empregos<sup>1</sup></b>	52	26	48
<b>Principais produtos processados</b>	Tilápia, traíra e rã	Tilápia	Tilápia, traíra, camarão e rã
<b>Principais fornecedores<sup>2</sup></b>	25 criatórios cadastrados e licenciados e representantes 46 autônomos não cadastrados	12 criatórios cadastrados e licenciados	27 criatórios cadastrados e licenciados e representantes 52 autônomos não cadastrados
<b>Mercado consumidor</b>	Municípios da região sul do Espírito Santo	05 centros de distribuição de alimentos da grande Vitória	Municípios da região sul do Espírito Santo e 05 centros de distribuição de alimentos da grande Vitória

Quadro 1 - Levantamento de informações sobre a atividade aquícola na região sul do estado do Espírito Santo.

Informação	Cooperativa A	Cooperativa B	Cooperativa C
Capacidade de processamento	100.000 Kg por mês	100.000 Kg por mês	100.000 Kg por mês
Quantidade processada	30.000 Kg por mês	10.000 Kg por mês	35.000 Kg por mês
Número de empregos <sup>1</sup>	52	26	48
Principais produtos processados	Tilápia, traíra e rã	Tilápia	Tilápia, traíra, camarão e rã
Principais fornecedores <sup>2</sup>	25 criatórios cadastrados e licenciados e representantes 46 autônomos não cadastrados	12 criatórios cadastrados e licenciados	27 criatórios cadastrados e licenciados e representantes 52 autônomos não cadastrados
Mercado consumidor	Municípios da região sul do Espírito Santo	05 centros de distribuição de alimentos da grande Vitória	Municípios da região sul do Espírito Santo e 05 centros de distribuição de alimentos da grande Vitória

Quadro 1 - Levantamento de informações sobre a atividade aquícola na região sul do estado do Espírito Santo.

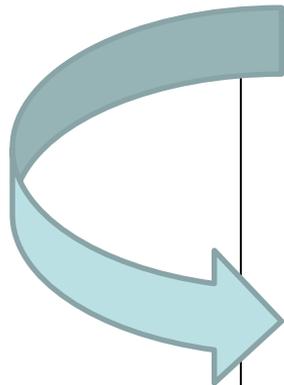
Informação	Cooperativa A	Cooperativa B	Cooperativa C
Capacidade de processamento	100.000 Kg por mês	100.000 Kg por mês	100.000 Kg por mês
Quantidade processada	30.000 Kg por mês	10.000 Kg por mês	35.000 Kg por mês
Número de empregos <sup>1</sup>	52	26	48
Principais produtos processados	Tilápia, traíra e rã	Tilápia	Tilápia, traíra, camarão e rã
Principais fornecedores <sup>2</sup>	<b>25 criatórios cadastrados e licenciados e representantes 46 autônomos não cadastrados</b>	<b>12 criatórios cadastrados e licenciados</b>	<b>27 criatórios cadastrados e licenciados e representantes 52 autônomos não cadastrados</b>
Mercado consumidor	Municípios da região sul do Espírito Santo	05 centros de distribuição de alimentos da grande Vitória	Municípios da região sul do Espírito Santo e 05 centros de distribuição de alimentos da grande Vitória

# 5 - Conclusões

# Conclusões

---

- O uso e ocupação da terra do Ifes campus de Alegre é caracterizado por uma diversidade de cenários: destaque para pastagem e agricultura - expansão e grande potencial de causar impactos ambientais



**vulnerabilidade ambiental antrópica  
demonstrou que a área encontra-se  
predominantemente, em regiões de  
altíssima e alta vulnerabilidade**

# Conclusões

---

## ➤ Qualidade da água:

- Lagoa paisagística próxima à unidade de suinocultura apresenta-se poluída
- Pela análise de toxicidade crônica com *Ceriodaphnia* dúbia, a lagoa da suinocultura apresentou a maior toxicidade entre as amostras avaliadas
  - As lagoas de piscicultura apresentaram maior toxicidade que as lagoas paisagísticas, córregos e poço subterrâneo.

# Conclusões

---

- A análise do potencial de lixiviação de agrotóxicos pelos métodos GUS, LIX, RF/AF e TLPI indicou o composto Sulfentrazone com o maior potencial
- Geotecnologias - Ferramenta valiosa para estudos ambientais

## Conclusões

---

- Na região sul do estado do Espírito Santo a piscicultura vem se destacando como uma atividade importante, gerando empregos e agregando conhecimento onde estão instaladas as unidades de processamento industrial e a as áreas de reprodução dos organismos aquáticos.

# 5 - Referências

## Referências

---

- BILA, D. M. **Degradação e remoção da atividade estrogênica do desregulador endócrino 17 $\beta$ -estradiol pelo processo de ozonização.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2018, 203f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- BORRELLI, P. et al. land use change on soil erosion. **Nature Communications**, v. 17, p. 1202-1224, 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 2914 de 25 de março de 2011.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 430 de 11 de março de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2011.

# Referências

---

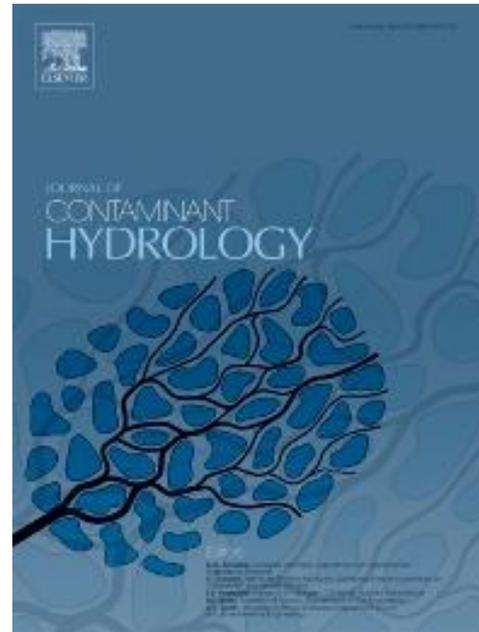
- FERRARI, G.L. **Avaliação de geotecnologias para subsidiar o mapeamento do uso e cobertura da terra no Instituto Federal do Espírito Santo – campus de Alegre**. Campos dos Goytacazes: UNFF, 2012, 230f. Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.
- LOURENCETTI, C.; SPADOTTO, C. A.; SILVA, M. S.; RIBEIRO, M. L. Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: comparação entre métodos de previsão de lixiviação. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.15, p.1-14, 2005.
- PARAÍBA, L. C.; CERDEIRA, A. L.; SILVA, E. F. MARTINS, J. S.; COUTINHO, H. L. C. Evaluation of soil temperature effect on herbicide leaching potential into groundwater in the Brazilian Cerrado. **Chemosphere**, v. 53, p.1087-1095, 2003..
- PARIZI, E. et al. Vulnerability mapping of coastal aquifers to seawater intrusion: Review , development and application. **Journal of Hydrology**, v. 570, n. December 2018, p. 555–573, 2019.
- PELUZIO, T. M. D. O. et al. **Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no ArcGis 9.3**. 2010.

# 6 - Publicações

# Agradecimentos

---

- 4 livretos devido ao material produzido na **QUALIFICAÇÃO**
- Artigo Internacional: **Journal of Contaminant Hydrology**



# 7 - Agradecimientos

# Agradecimentos

---

- **Família**
- **Orientador - Alexandre Rosa dos Santos**
- **Membros da banca**
- **GAGEN - família formada por essa equipe de pessoas maravilhosas e prestativas**
- **Pós Graduação em Ciências Florestais - UFES - amigos formados ao longo desta etapa**
- **Ifes campus de Alegre e Ibatiba + UFV**

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DA  
VULNERABILIDADE AMBIENTAL ANTRÓPICA E RISCO DE  
LIXIVIAÇÃO DE AGROTÓXICOS**

**Alessandra Cunha Lopes**

**Engenheira Ambiental**

**Mestre em Saneamento Básico**

**Professora Instituto Federal do Espírito Santo**

**[alessandra.lopes@ifes.gov.br](mailto:alessandra.lopes@ifes.gov.br)**