



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

02 – 03 NOVEMBRO 2023

# Influência do Tipo de Amostragem na Validação de Mapas de Alterações de Uso e Ocupação de Solo

Ismael JESUS<sup>1,2</sup>, Cidália FONTE<sup>2,3</sup>, Jacinto ESTIMA<sup>1</sup> e Alberto CARDOSO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Informática, CISUC, Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra (INESC Coimbra), Coimbra, Portugal

<sup>3</sup> Universidade de Coimbra, Departamento de Matemática, Coimbra, Portugal

([ijesus@dei.uc.pt](mailto:ijesus@dei.uc.pt); [cfonte@mat.uc.pt](mailto:cfonte@mat.uc.pt); [estima@dei.uc.pt](mailto:estima@dei.uc.pt); [alberto@dei.uc.pt](mailto:alberto@dei.uc.pt))

# Índice

1. Problema
2. Caso de Estudo
  - I – Efeitos da Alocação
  - II – Efeitos dos Estratos usados
3. Aspetos Finais
4. Trabalho Futuro



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

# 1. Problema

- **Validação Temática:** Comparação da classe atribuída no mapa com a realidade
- **Processo de Validação:**
  - Processo de Amostragem (Sampling Design)
  - Protocolo para a Escolha da Classe de Referência (Response Design)
  - Análise e Relatório (Analysis and Report)



# 1. Problema

- **Processo de Validação:**

- Processo de Amostragem (Sampling Design)

- Qual o número de unidades amostrais a seleccionar?

- $$n = \frac{z^2 \hat{E}(1-\hat{E})}{d^2}$$

z : percentil da distribuição normal (z=1.96 para uma confiança de 5%, z=1.645 para uma confiança de 10% )

d: erro admitido (metade da amplitude do intervalo de confiança)

Ê: valor esperado da métrica a estimar

- Recomendação: número mínimo de 50 unidades amostrais por classe
- **Como distribuir as unidades amostrais pelos estratos/classes?**
  - Alocação Equitativa
  - Alocação Proporcional



# 1. Problema

- **Processo de Validação:**

- Processo de Amostragem (Sampling Design)

- Qual o tipo de amostragem a usar para selecionar as unidades amostrais?
  - Amostragem Aleatória Simples
  - Amostragem Aleatória Estratificada
    - Os estratos são as classes
    - **Os estratos não são as classes, como construí-los?**

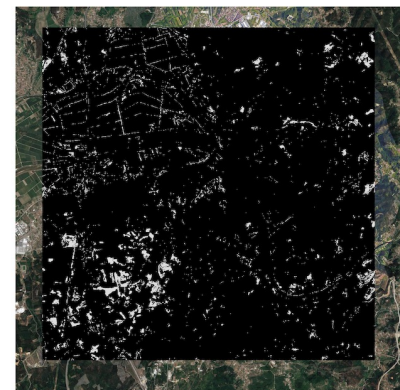


## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

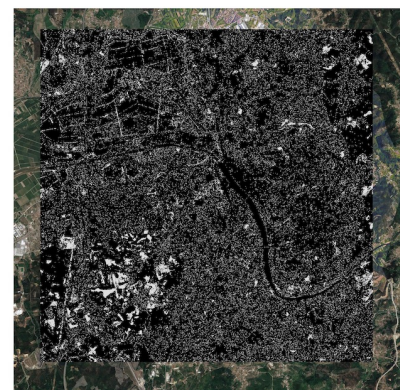
- Comparar o efeito da alocação equitativa e da alocação proporcional nas exatidões do utilizador, produtor e global num mapa de alterações binárias



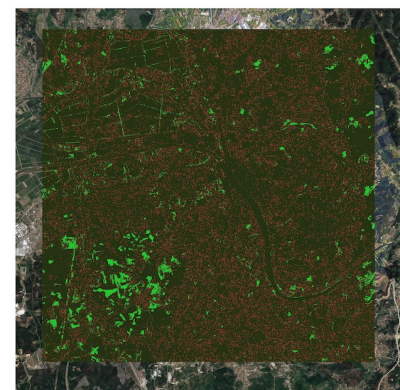
a) Área de Estudo



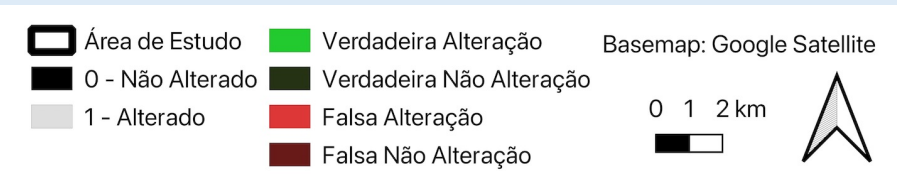
b) Mapa de Referência



c) Mapa a validar



d) Comparação do Mapa de Referência com o a validar



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

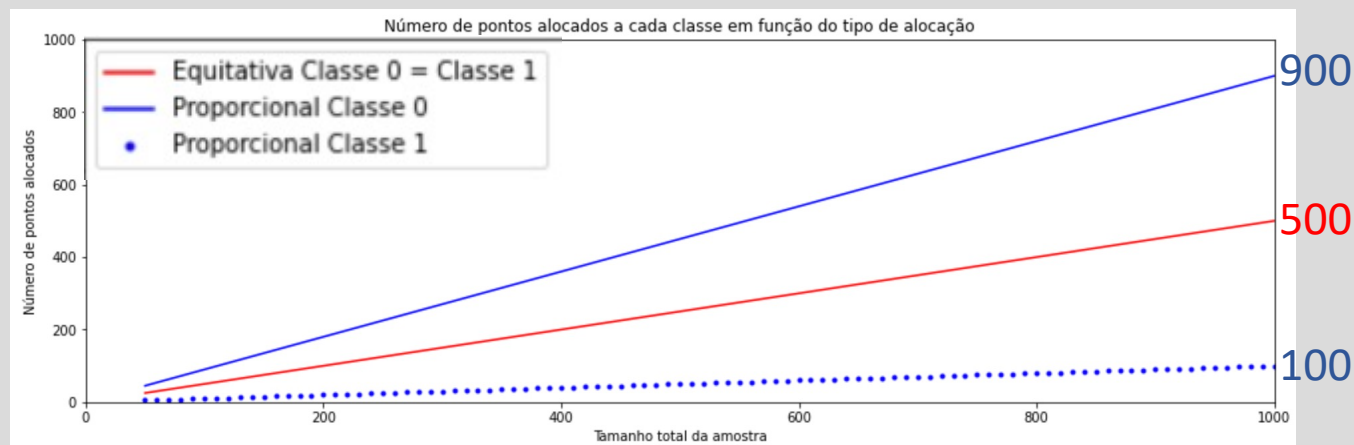
Fixar o tamanho total da amostra



Distribuir a amostra de acordo com:  
 - Alocação Equitativa  
 - Alocação Proporcional



Cálculo das métricas



x 100



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

|                      |                    | Referência                     |                                |   | Exatidão do Utilizador         | Erros de Comissão |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
|                      |                    | “Não Alterado” (0)             | “Alterado” (1)                 | Total   |                                |                   |
| Mapa                 | “Não Alterado” (0) | $n_{00}$                       | $n_{01}$                       | $n_{0*}$  | $EU_0 = \frac{n_{00}}{n_{0*}}$ | $EC_0 = 1 - EU_0$ |
|                      | “Alterado” (1)     | $n_{10}$                       | $n_{11}$                       | $n_{1*}$  | $EU_1 = \frac{n_{11}}{n_{1*}}$ | $EC_1 = 1 - EU_1$ |
|                      | Total              | $n_{*0}$                       | $n_{*1}$                       | $n$   |                                |                   |
| Exatidão do Produtor |                    | $EP_0 = \frac{n_{00}}{n_{*0}}$ | $EP_1 = \frac{n_{11}}{n_{*1}}$ | Exatidão Global<br>$EG = \frac{\sum_i n_{ii}}{n}$ |                                |                   |
| Erros de Omissão     |                    | $EO_0 = 1 - EP_0$              | $EO_1 = 1 - EP_1$              |   |                                |                   |





## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

|                      |                    | Referência                     |                                |   | Exatidão do Utilizador         | Erros de Comissão |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
|                      |                    | “Não Alterado” (0)             | “Alterado” (1)                 | Total   |                                |                   |
| Mapa                 | “Não Alterado” (0) | $n_{00}$                       | $n_{01}$                       | $n_{0*}$  | $EU_0 = \frac{n_{00}}{n_{0*}}$ | $EC_0 = 1 - EU_0$ |
|                      | “Alterado” (1)     | $n_{10}$                       | $n_{11}$                       | $n_{1*}$  | $EU_1 = \frac{n_{11}}{n_{1*}}$ | $EC_1 = 1 - EU_1$ |
|                      | Total              | $n_{*0}$                       | $n_{*1}$                       | $n$   |                                |                   |
| Exatidão do Produtor |                    | $EP_0 = \frac{n_{00}}{n_{*0}}$ | $EP_1 = \frac{n_{11}}{n_{*1}}$ | Exatidão Global<br>$EG = \frac{\sum_i n_{ii}}{n}$ |                                |                   |
| Erros de Omissão     |                    | $EO_0 = 1 - EP_0$              | $EO_1 = 1 - EP_1$              |   |                                |                   |



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

|                      |                    | Referência                     |                                |   | Exatidão do Utilizador         | Erros de Comissão |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
|                      |                    | “Não Alterado” (0)             | “Alterado” (1)                 | Total   |                                |                   |
| Mapa                 | “Não Alterado” (0) | $n_{00}$                       | $n_{01}$                       | $n_{0*}$  | $EU_0 = \frac{n_{00}}{n_{0*}}$ | $EC_0 = 1 - EU_0$ |
|                      | “Alterado” (1)     | $n_{10}$                       | $n_{11}$                       | $n_{1*}$  | $EU_1 = \frac{n_{11}}{n_{1*}}$ | $EC_1 = 1 - EU_1$ |
|                      | Total              | $n_{*0}$                       | $n_{*1}$                       | $n$   |                                |                   |
| Exatidão do Produtor |                    | $EP_0 = \frac{n_{00}}{n_{*0}}$ | $EP_1 = \frac{n_{11}}{n_{*1}}$ | Exatidão Global<br>$EG = \frac{\sum_i n_{ii}}{n}$ |                                |                   |
| Erros de Omissão     |                    | $EO_0 = 1 - EP_0$              | $EO_1 = 1 - EP_1$              |   |                                |                   |



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

|                      |                    | Referência                     |                                |   | Exatidão do Utilizador         | Erros de Comissão |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
|                      |                    | “Não Alterado” (0)             | “Alterado” (1)                 | Total   |                                |                   |
| Mapa                 | “Não Alterado” (0) | $n_{00}$                       | $n_{01}$                       | $n_{0*}$  | $EU_0 = \frac{n_{00}}{n_{0*}}$ | $EC_0 = 1 - EU_0$ |
|                      | “Alterado” (1)     | $n_{10}$                       | $n_{11}$                       | $n_{1*}$  | $EU_1 = \frac{n_{11}}{n_{1*}}$ | $EC_1 = 1 - EU_1$ |
|                      | Total              | $n_{*0}$                       | $n_{*1}$                       | $n$   |                                |                   |
| Exatidão do Produtor |                    | $EP_0 = \frac{n_{00}}{n_{*0}}$ | $EP_1 = \frac{n_{11}}{n_{*1}}$ | Exatidão Global<br>$EG = \frac{\sum_i n_{ii}}{n}$ |                                |                   |
| Erros de Omissão     |                    | $EO_0 = 1 - EP_0$              | $EO_1 = 1 - EP_1$              |   |                                |                   |



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

|                      |                    | Referência                     |                                |   | Exatidão do Utilizador         | Erros de Comissão |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
|                      |                    | “Não Alterado” (0)             | “Alterado” (1)                 | Total   |                                |                   |
| Mapa                 | “Não Alterado” (0) | $n_{00}$                       | $n_{01}$                       | $n_{0*}$  | $EU_0 = \frac{n_{00}}{n_{0*}}$ | $EC_0 = 1 - EU_0$ |
|                      | “Alterado” (1)     | $n_{10}$                       | $n_{11}$                       | $n_{1*}$  | $EU_1 = \frac{n_{11}}{n_{1*}}$ | $EC_1 = 1 - EU_1$ |
|                      | Total              | $n_{*0}$                       | $n_{*1}$                       | $n$   |                                |                   |
| Exatidão do Produtor |                    | $EP_0 = \frac{n_{00}}{n_{*0}}$ | $EP_1 = \frac{n_{11}}{n_{*1}}$ | Exatidão Global<br>$EG = \frac{\sum_i n_{ii}}{n}$ |                                |                   |
| Erros de Omissão     |                    | $EO_0 = 1 - EP_0$              | $EO_1 = 1 - EP_1$              |   |                                |                   |



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

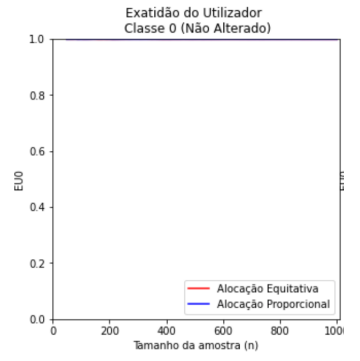
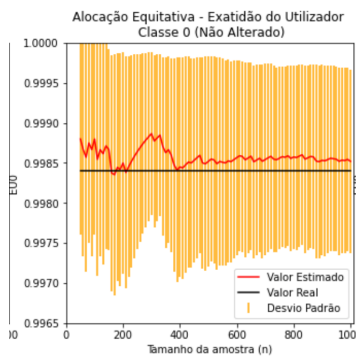
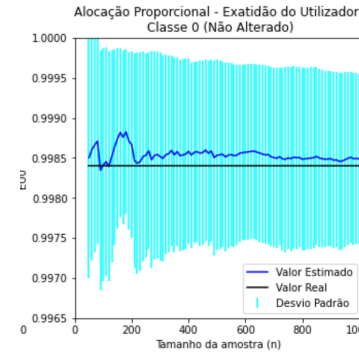
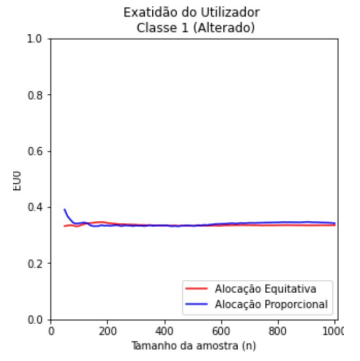
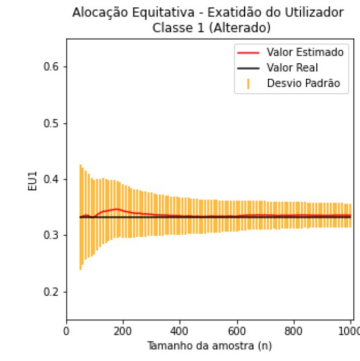
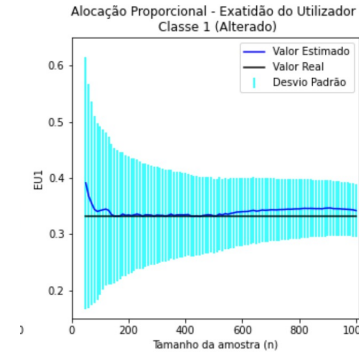
|                      |                    | Referência                           |                                      |                 | Exatidão do Utilizador         | Erros de Comissão |
|----------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------|
|                      |                    | “Não Alterado” (0)                   | “Alterado” (1)                       | Total           |                                |                   |
| Mapa                 | “Não Alterado” (0) | $p_{00} = \frac{n_{00}}{n_{0*}} W_0$ | $p_{01} = \frac{n_{01}}{n_{0*}} W_0$ | $p_{0*} = W_0$  | $EU_0 = \frac{p_{00}}{p_{0*}}$ | $EC_0 = 1 - EU_0$ |
|                      | “Alterado” (1)     | $p_{00} = \frac{n_{11}}{n_{1*}} W_0$ | $p_{01} = \frac{n_{11}}{n_{1*}} W_1$ | $p_{1*} = W_1$  | $EU_1 = \frac{p_{11}}{p_{1*}}$ | $EC_1 = 1 - EU_1$ |
|                      | Total              | $p_{*0}$                             | $p_{*1}$                             | 1               |                                |                   |
| Exatidão do Produtor |                    | $EP_0 = \frac{p_{00}}{p_{*0}}$       | $EP_1 = \frac{p_{11}}{p_{*1}}$       | Exatidão Global |                                |                   |
| Erros de Omissão     |                    | $EO_0 = 1 - EP_0$                    | $EO_1 = 1 - EP_1$                    |                 |                                |                   |

Exatidão Global

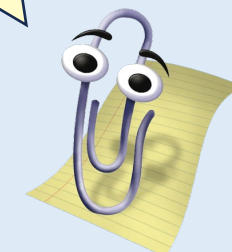
$$EG = \sum_i p_{ii}$$



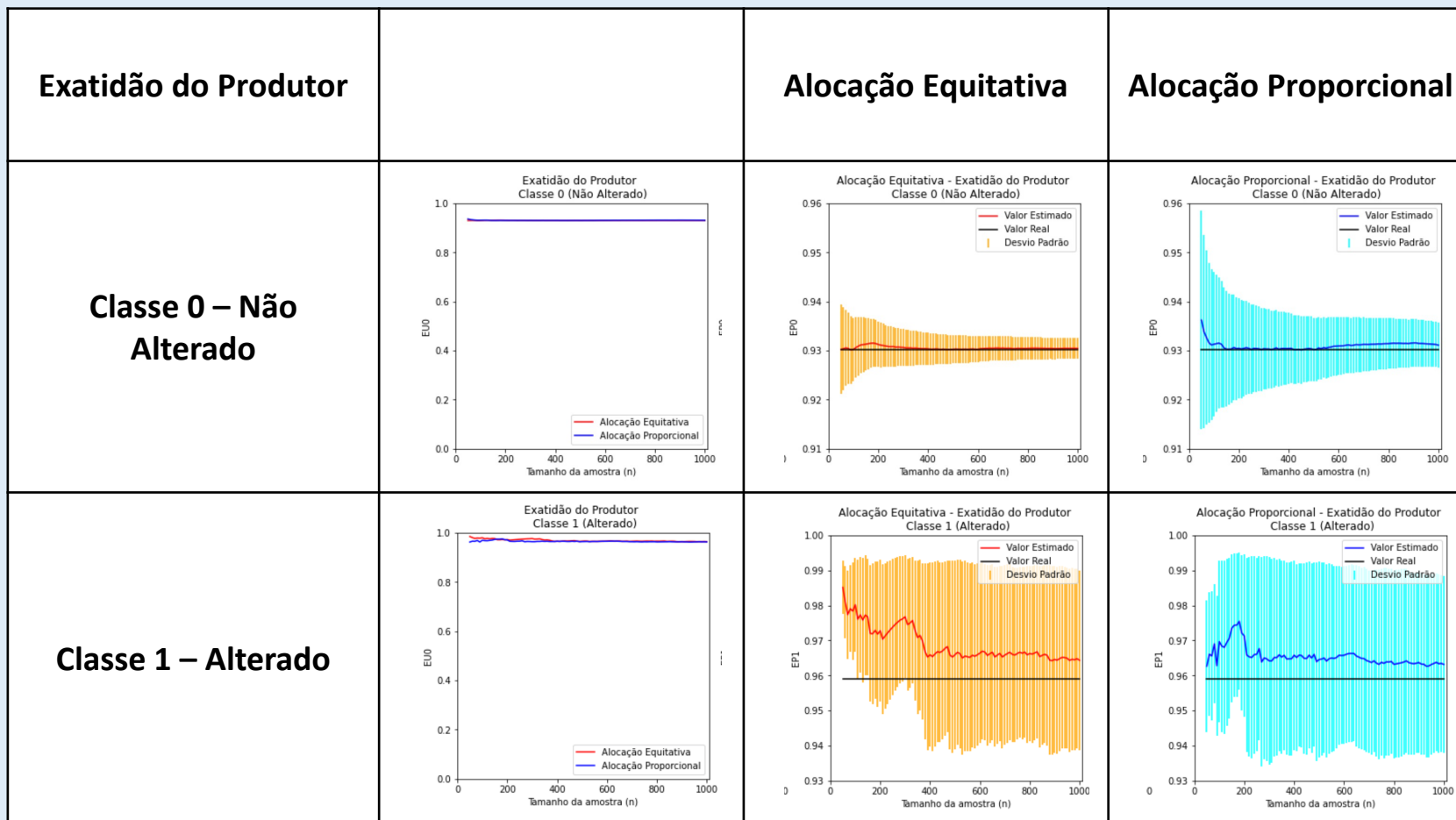
## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

| Exatidão do Utilizador  |  | Alocação Equitativa  | Alocação Proporcional  |
|-------------------------|--|--|--|
| Classe 0 – Não Alterado |   |   |   |
| Classe 1 – Alterado     |  |  |  |

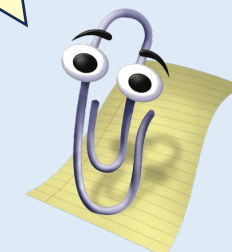
Exatidão do Utilizador da classe i:  
 - Proporção da classe i no mapa correta  
 - Complementar do erro de Comissão



## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

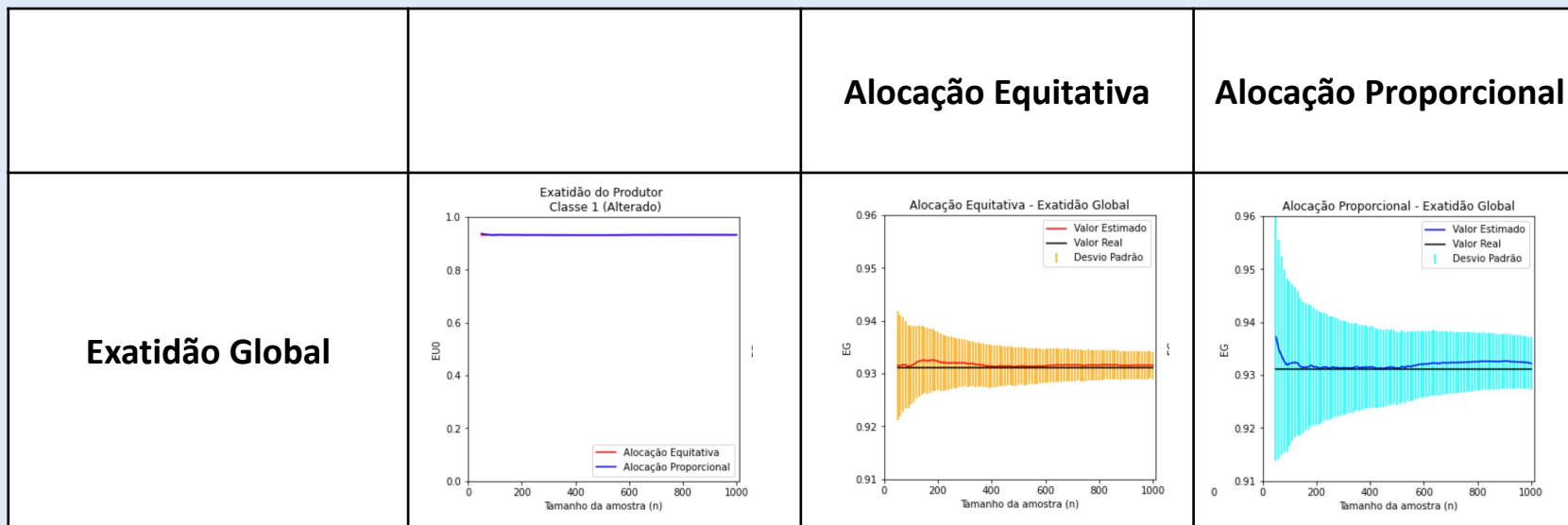


Exatidão do **Produtor** da classe j:  
 - Proporção da classe j na referência correta  
 - Complementar do erro de **Omissão**

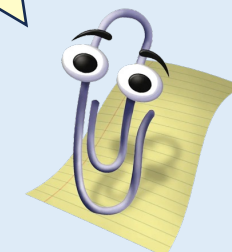


## 2. Caso de Estudo I – Alocação Equitativa vs Proporcional

Exatidão Global



Exatidão **Global**:  
- Proporção corretamente classificada no mapa





## 2. Caso de Estudo II – Estratificação

*International Journal of Remote Sensing*, 2014  
Vol. 35, No. 13, 4923–4939, <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.930207>



### TECHNICAL NOTE

**Estimating area and map accuracy for stratified random sampling  
when the strata are different from the map classes**

Stephen V. Stehman\*

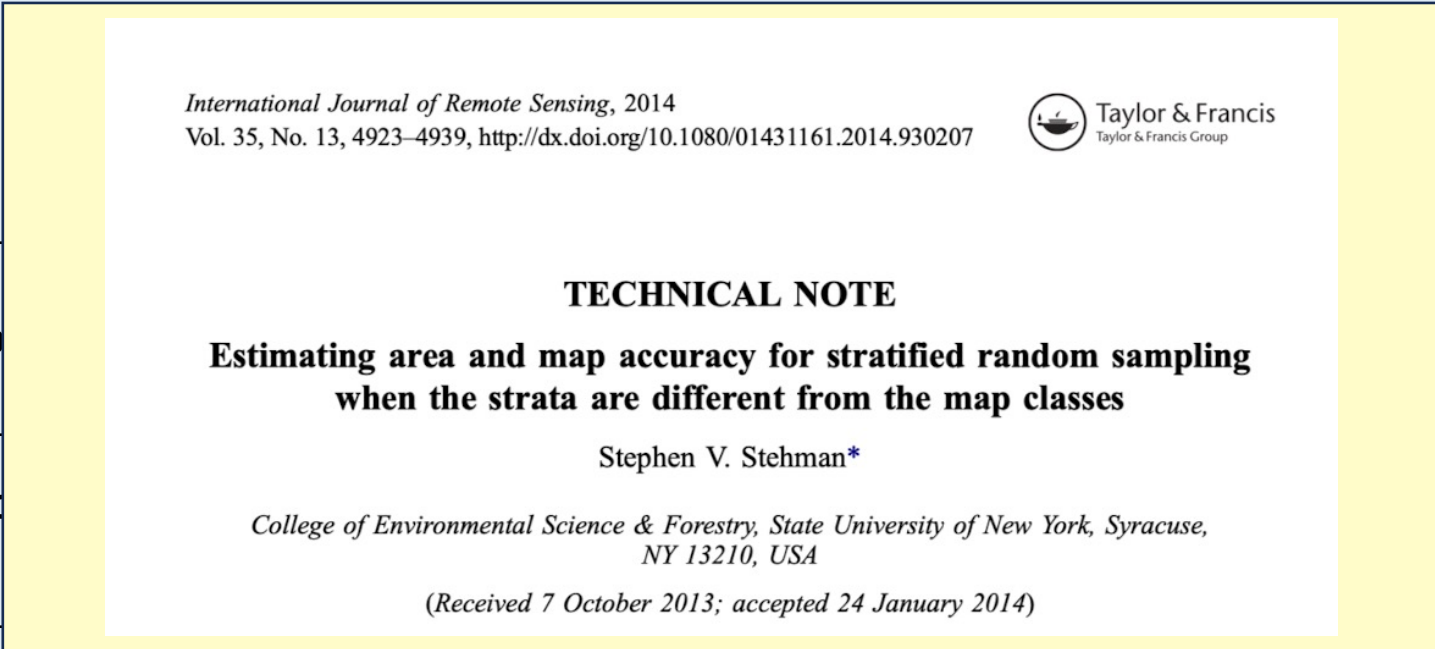
*College of Environmental Science & Forestry, State University of New York, Syracuse,  
NY 13210, USA*

*(Received 7 October 2013; accepted 24 January 2014)*

Erros de  
omissão

$$= 1 - EU_0$$

$$= 1 - EU_1$$

|                      |                                |  |   |                  |                       |
|----------------------|--------------------------------|--|---|------------------|-----------------------|
| Mapa                 | “Não Alterado (0)”             |  |   | Erros de omissão |                       |
|                      | “Alterado (1)”                 |  |   |                  | = 1 - EU <sub>0</sub> |
|                      | Total                          |  |   |                  | = 1 - EU <sub>1</sub> |
| Exatidão do Produtor | $EP_0 = \frac{n_{00}}{n_{*0}}$ | $EP_1 = \frac{n_{11}}{n_{*1}}$   | Exatidão Global<br>$EG = \frac{\sum_i n_{ii}}{n}$ |                  |                       |
| Erros de Omissão     | $EO_0 = 1 - EP_0$              | $EO_1 = 1 - EP_1$  |   |                  |                       |



UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA



CISUC



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

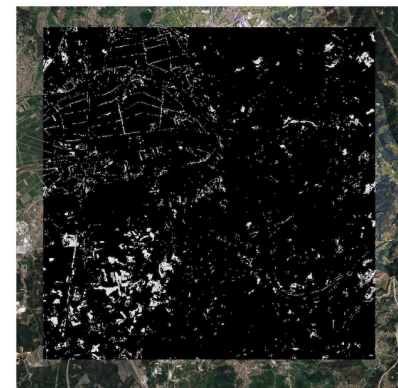
02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

## 2. Caso de Estudo II – Estratificação

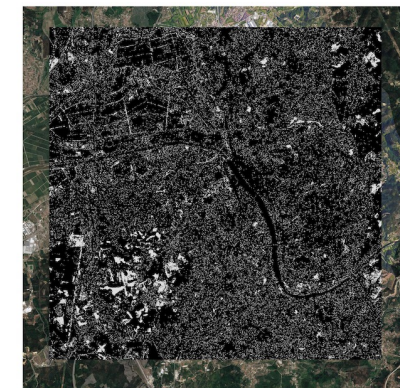
Comparar o efeito da escolha de estratos na amostragem estratificada.



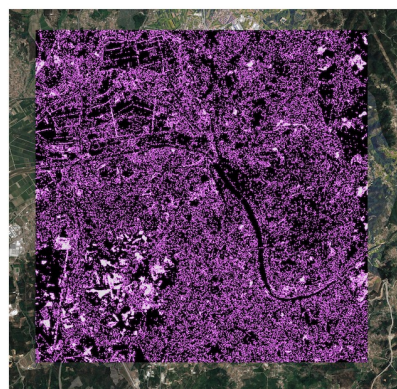
a) Área de Estudo



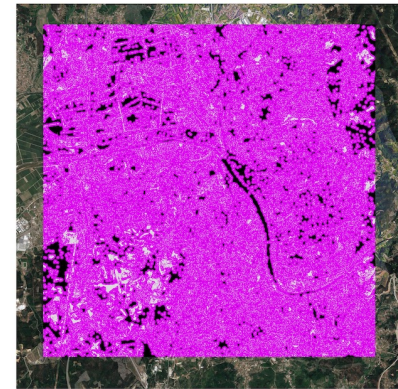
b) Mapa de Referência



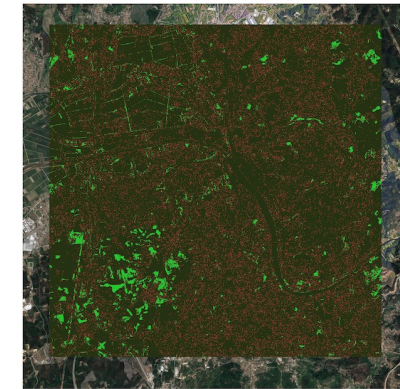
c) Mapa a validar



d) Buffer 10m



e) Buffer 50m



f) Comparação do Mapa de Referência com o a validar



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

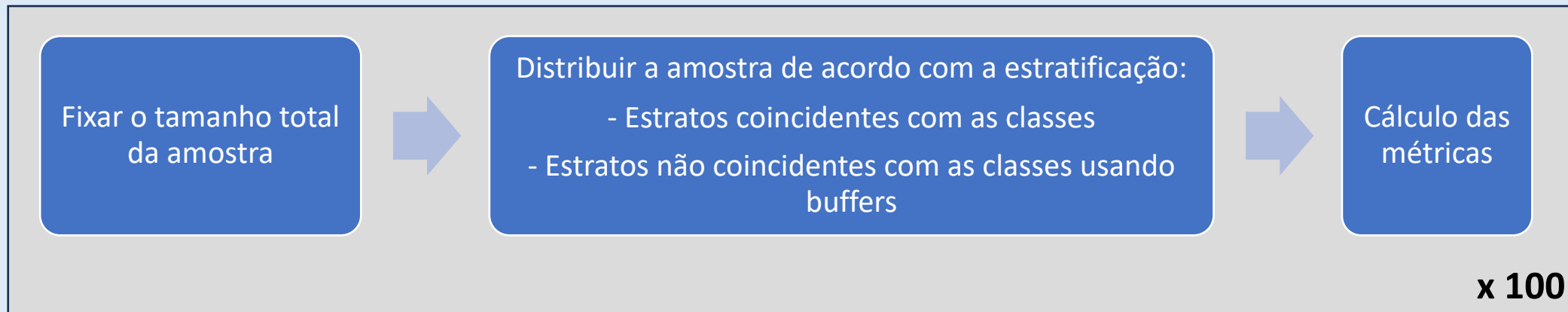


Basemap: Google Satellite

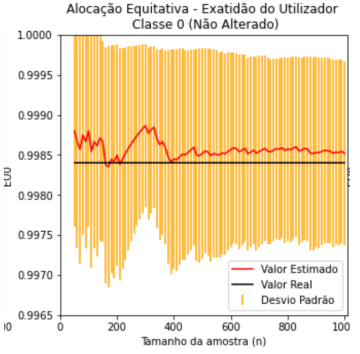
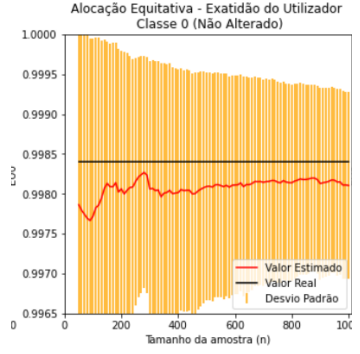
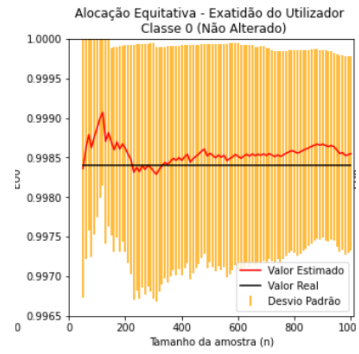
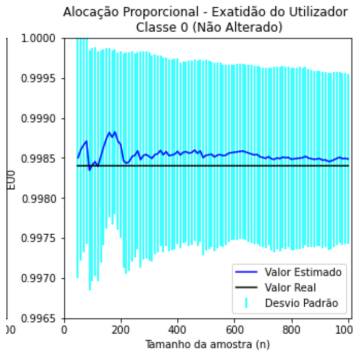
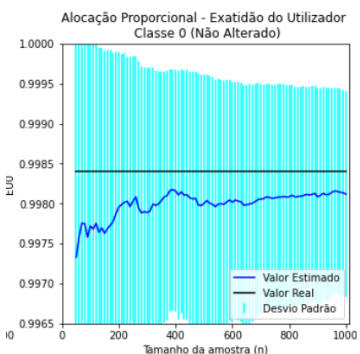
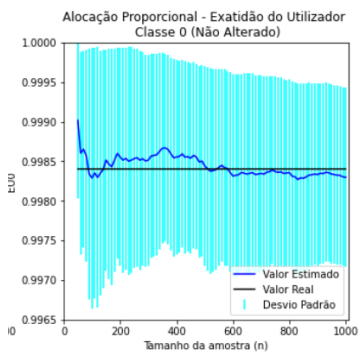
0 1 2 km



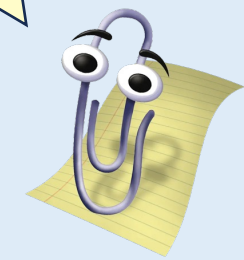
## 2. Caso de Estudo II – Estratificação



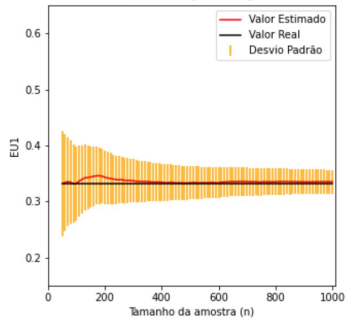
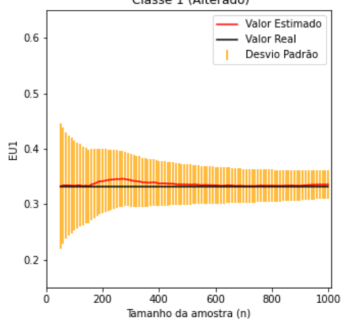
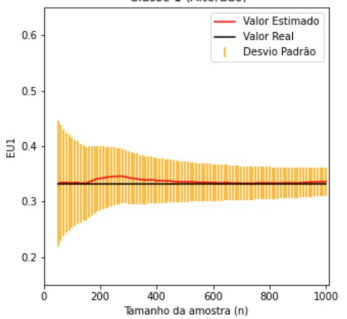
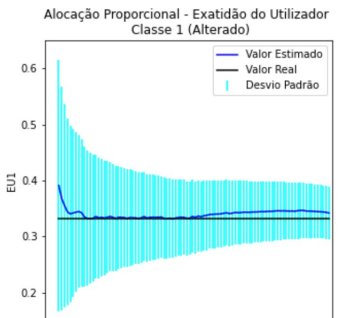
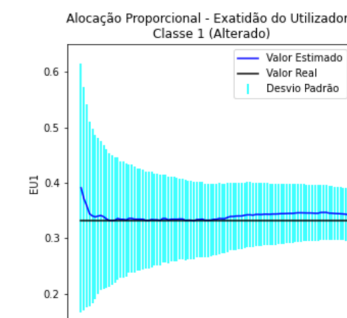
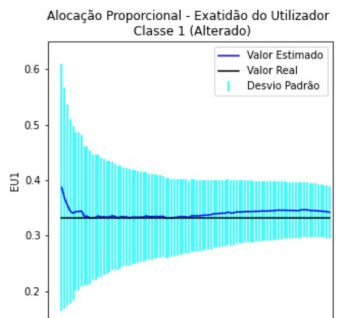
## 2. Caso de Estudo II – Estratificação

| Exatidão do Utilizador Classe 0 – Não Alterado | Estratos = Classes   | Estratos com buffer de 10m   | Estratos com Buffer de 50m   |
|--|--|--|--|
| Alocação Equitativa                            |   |   |   |
| Alocação Proporcional                          |  |  |  |

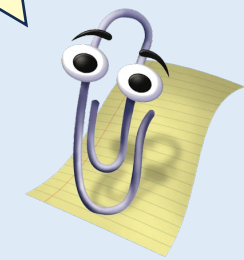
Exatidão do **Utilizador** da classe i:  
 - Proporção da classe i no **mapa** correta  
 - Complementar do erro de **Comissão**



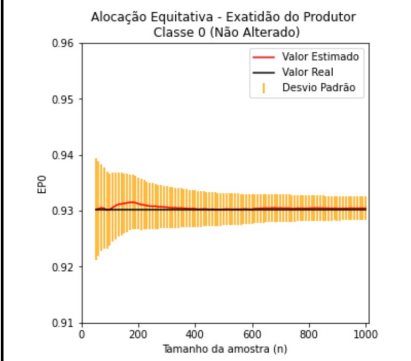
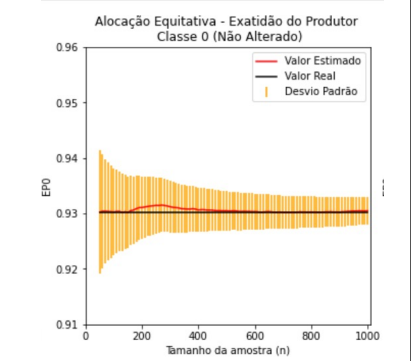
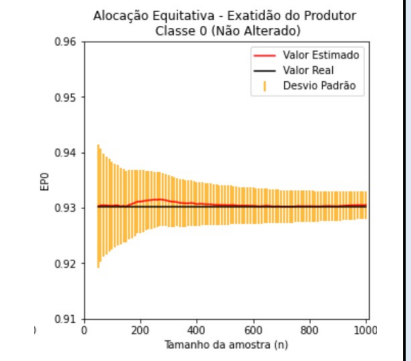
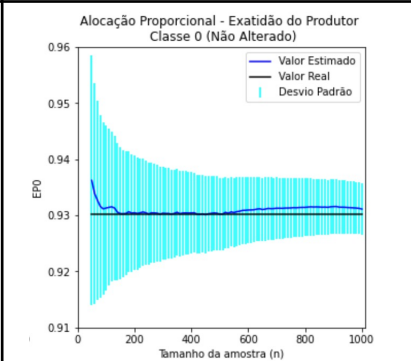
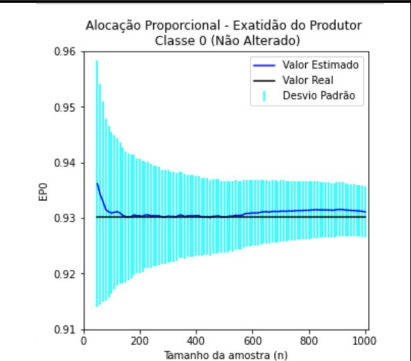
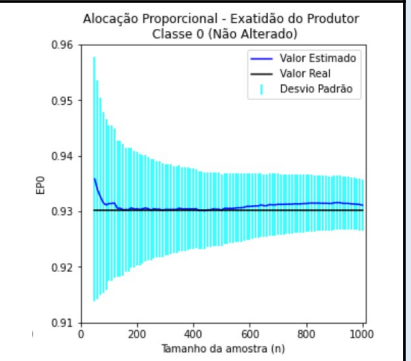
## 2. Caso de Estudo II – Estratificação

| Exatidão do Utilizador Classe 1 – Alterado | Estratos = Classes   | Estratos com buffer de 10m   | Estratos com Buffer de 50m   |
|--|--|--|--|
| <b>Alocação Equitativa</b>                 | <p>Alocação Equitativa - Exatidão do Utilizador Classe 1 (Alterado)</p>     | <p>Alocação Equitativa - Exatidão do Utilizador Classe 1 (Alterado)</p>     | <p>Alocação Equitativa - Exatidão do Utilizador Classe 1 (Alterado)</p>     |
| <b>Alocação Proporcional</b>               | <p>Alocação Proporcional - Exatidão do Utilizador Classe 1 (Alterado)</p>  | <p>Alocação Proporcional - Exatidão do Utilizador Classe 1 (Alterado)</p>  | <p>Alocação Proporcional - Exatidão do Utilizador Classe 1 (Alterado)</p>  |

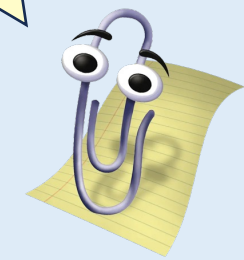
Exatidão do **Utilizador** da classe i:  
 - Proporção da classe i no **mapa** correta  
 - Complementar do erro de **Comissão**



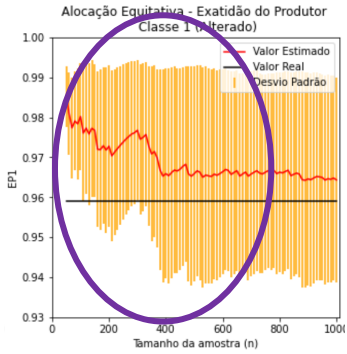
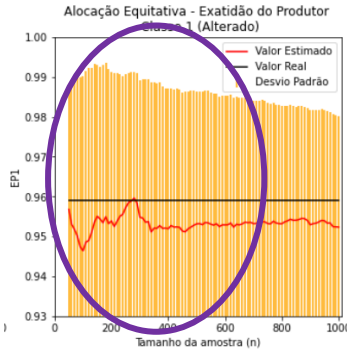
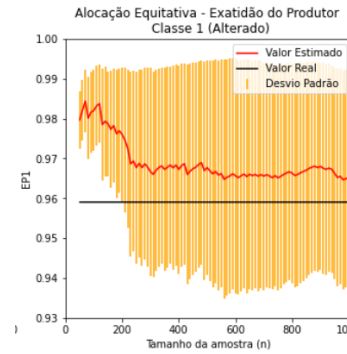
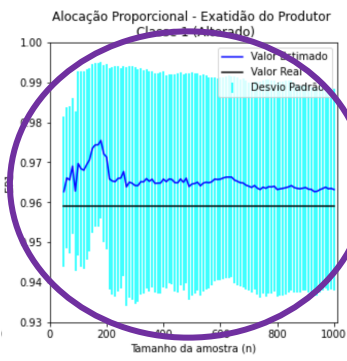
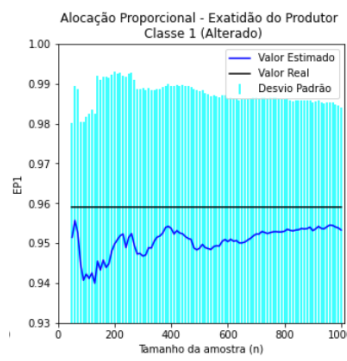
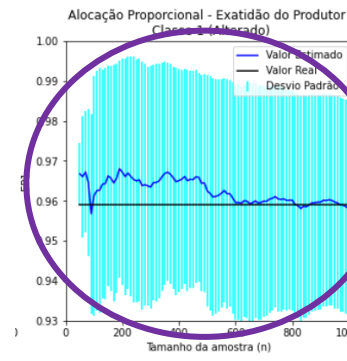
## 2. Caso de Estudo II – Estratificação

| Exatidão do Produtor Classe 0 – Não Alterado | Estratos = Classes   | Estratos com buffer de 10m  | Estratos com Buffer de 50m   |
|--|--|---|--|
| <b>Alocação Equitativa</b>                   |   |   |   |
| <b>Alocação Proporcional</b>                 |  |  |  |

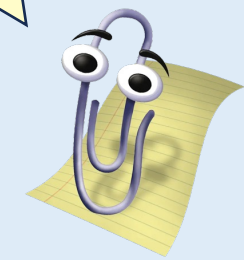
Exatidão do **Produtor** da classe j:  
 - Proporção da classe j na **referência** correta  
 - Complementar do erro de **Omissão**



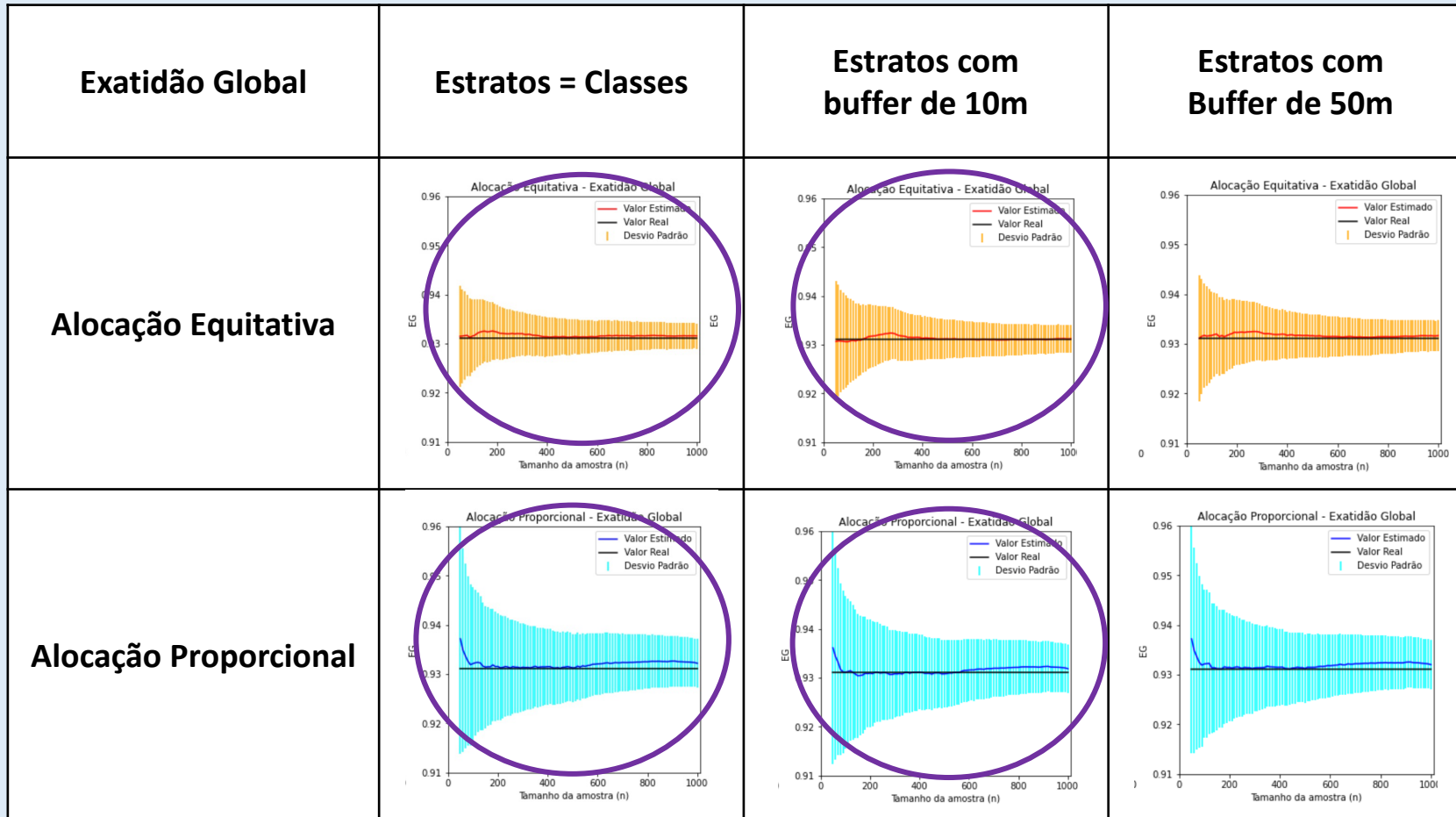
## 2. Caso de Estudo II – Estratificação

| Exatidão do Produtor Classe 1 – Alterado | Estratos = Classes   | Estratos com buffer de 10m   | Estratos com Buffer de 50m   |
|--|--|--|--|
| Alocação Equitativa                      |   |   |   |
| Alocação Proporcional                    |  |  |  |

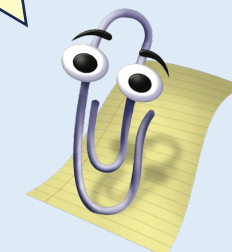
Exatidão do **Produtor** da classe j:  
 - Proporção da classe j na **referência** correta  
 - Complementar do erro de **Omissão**



## 2. Caso de Estudo II – Estratificação



Exatidão **Global**:  
- Proporção  
corretamente  
classificada no mapa





### 3. Aspetos Finais

- O processo de validação temática não é trivial
- É recomendado usarmos uma amostragem aleatória estratificada
- **Caso de Estudo I:** Qualquer tipo de alocação é válida, mas:
  - Alocação equitativa reduz a incerteza nos erros de comissão da classe alterado
  - Alocação proporcional reduz a incerteza nos erros de omissão da classe alterado
- Na prática usamos a alocação proporcional obrigando o mínimo de 50 unidades em cada estrato

| Ocupação da classe Alterado /<br>Número de Pontos | Ocupação da classe Alterado /<br>Número de Pontos | Número total de pontos |
|---|---|------------------------|
| 50% - 50 pontos                                   | 50% - 50 pontos                                   | 100                    |
| 10% - 50 pontos                                   | 90% - 450 pontos                                  | 500                    |
| 5% - 50 pontos                                    | 95% - 950 pontos                                  | 1000                   |
| 1% - 50 pontos                                    | 99% - 4950 pontos                                 | 5000                   |

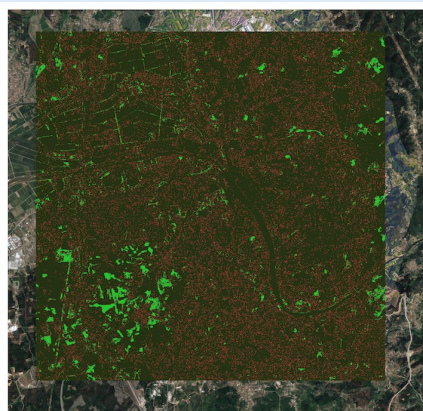


# 3. Aspectos Finais

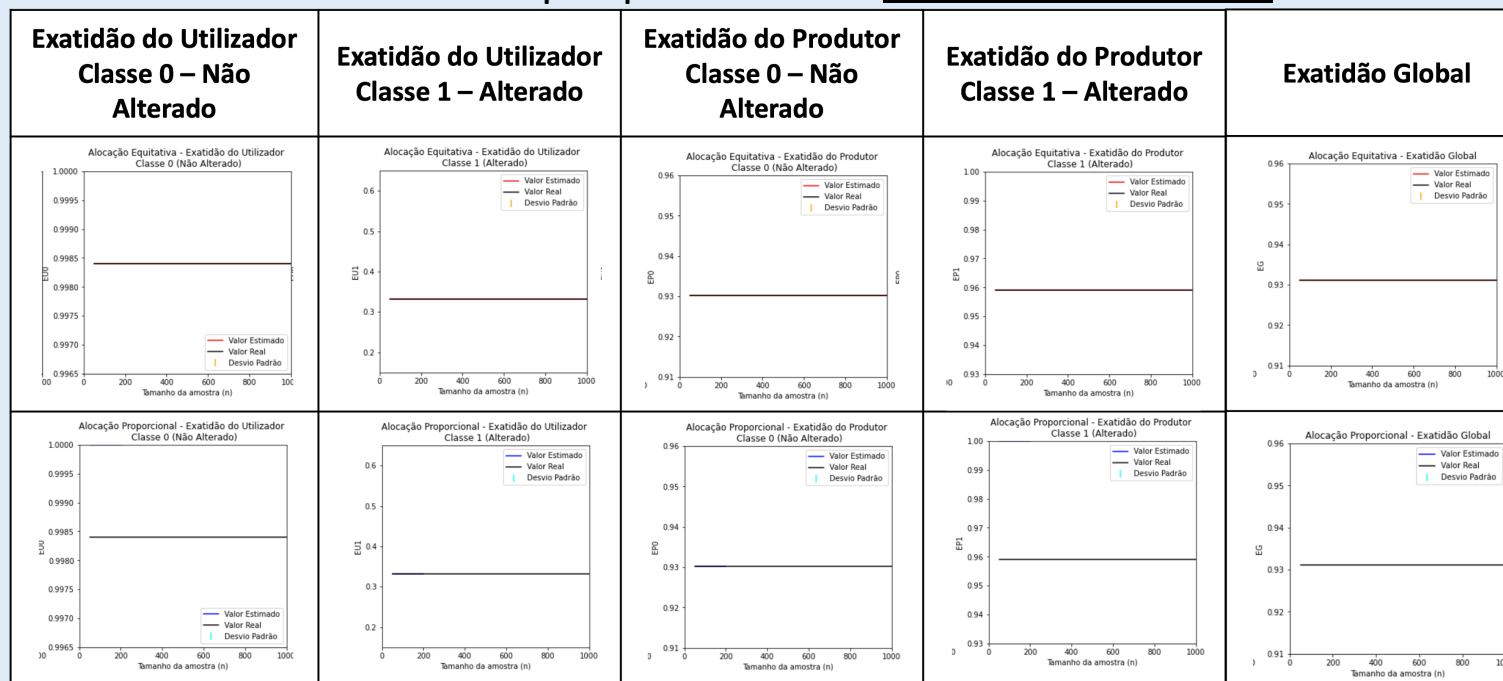
## • Caso de Estudo II:

- Existem várias maneiras de construir estratos, por exemplo, com buffers
- A estratificação com buffers pode ser vantajosa ou não
- Idealmente, deveríamos construir estratos que permitissem isolar as omissões de cada classe

### Estratos Ideais



f) Comparação do Mapa de Referência com o a validar



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

02 – 03 NOV. INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

## 4. Trabalho Futuro

- Comparar o efeito com as alocações de potência e de Neyman
- Construção de estratos que consigam ser o mais próximos dos ideais, como por exemplo, usando medidas de incerteza



# Obrigado pela vossa atenção!

## Influência do Tipo de Amostragem na Validação de Mapas de Alterações de Uso e Ocupação de Solo

**Ismael JESUS**, Cidália FONTE, Jacinto ESTIMA e Alberto CARDOSO

([ijesus@dei.uc.pt](mailto:ijesus@dei.uc.pt) / [jesusismael\\_3@hotmail.com](mailto:jesusismael_3@hotmail.com); [cfonte@mat.uc.pt](mailto:cfonte@mat.uc.pt);  
[estima@dei.uc.pt](mailto:estima@dei.uc.pt); [alberto@dei.uc.pt](mailto:alberto@dei.uc.pt))

