

Avaliação de segmentações de imagens de Observação da Terra com R

Alber Sanchez¹, Michelle C. A. Picoli², Rolf Simoes³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Avenida dos Astronautas, 1758. São José dos Campos - SP - Brasil.

²WeForest
Cantersteen 47, 1000 Brussels, Belgium

³OpenGeoHub
Agro Business Park 10, 6708PW, Wageningen, Netherlands

alber.ipia@inpe.br, michelle.picoli@weforest.org, rolf.simoes@opengeohub.org

Abstract. *The segmentation of Earth Observation images is a challenging task due to the parameter dependencies of the algorithms and human subjectivity in its evaluation. We present segmetric, an R package that provides supervised metrics for an objective evaluation of under-segmentation and over-segmentation errors. This tool allows users to assess the parameters of segmentation algorithms, improving the accuracy of the results. Contributions to segmetric are encouraged, promoting collaborative advances in the field of Earth Observation data science.*

Resumo. *A segmentação de imagens de Observação da Terra é uma tarefa desafiadora devido às dependências de parâmetros dos algoritmos e à subjetividade humana na avaliação. Apresentamos o segmetric, um pacote em R que fornece métricas supervisionadas para uma avaliação objetiva de erros de sub-segmentação e super-segmentação. Essa ferramenta permite que os usuários avaliem os parâmetros dos algoritmos de segmentação, melhorando a precisão dos resultados. As contribuições para o segmetric são incentivadas, promovendo avanços colaborativos no campo da ciência de dados de Observação da Terra.*

1. Introdução

As imagens de Observação da Terra têm sido amplamente usados para mapear a cobertura da solo. Os métodos mais comumente usados para realizar esses mapeamentos são baseados em pixels e em objetos. Os métodos baseados em pixels os classificam diretamente e individualmente. A classificação baseada em objeto, por outro lado, primeiro agrega os pixels em objetos espectralmente homogêneos usando um algoritmo de segmentação e, em seguida, classifica os objetos gerados. Trabalhos anteriores demonstram que uma metodologia baseada em objeto melhora a acurácia da classificação [Sibaruddin et al. 2018, Whiteside et al. 2011]. No entanto, sabe-se que a precisão da classificação baseada em objetos depende da qualidade da segmentação. Há uma tendência crescente de desenvolvimento de novos métodos para segmentar imagens de observação da Terra [Yuan et al. 2021], mas nem todos eles são precisos. Muitas vezes

a avaliação da acurácia da segmentação é feita por intérpretes o que pode levar a erros [Liu et al. 2017]. Por esse motivo, a qualidade de uma segmentação deve ser avaliada usando métricas de precisão [Costa et al. 2018, Jozdani and Chen 2020]. Essa avaliação ajuda os usuários a aprimorar os parâmetros dos algoritmos de segmentação e as amostras de treinamento.

Uma das formas de avaliar a qualidade de uma segmentação é utilizando métricas supervisionadas que comparam segmentos com dados de referência, medindo sua similaridade ou discrepância em termos de sub-segmentação e super-segmentação [Clinton et al. 2010]. A sub-segmentação ocorre quando o algoritmo de segmentação falha e agrupa diferentes alvos em um único objeto. A super-segmentação é o oposto, ou seja, o algoritmo de segmentação divide desnecessariamente um alvo em vários objetos.

Apesar de se saber sobre a importância da avaliação da acurácia das segmentações das imagens de Observação da Terra, há uma escassez de ferramentas específicas para este fim. Neste artigo, nós apresentamos o pacote *segmetric* [Simoes et al. 2023], que é uma ferramenta desenvolvida em R [R Core Team 2022] para avaliar a acurácia de segmentação de imagens de Observação da Terra. Esta ferramenta fornece um conjunto de métricas supervisionadas para serem usadas na comparação e avaliação de diferentes métodos e parâmetros de algoritmos de segmentação. O *segmetric* fornece visualizações inovadoras para auxiliar na análise espacial qualitativa e na comparação entre as métricas.

2. Avaliação da segmentação supervisionada

As métricas em *segmetric* podem ser definidas de acordo com os dados de entrada usados para calculá-las. Assim, cada métrica usa um subconjunto dos dados de referência (X) ou de segmentação (Y); cada elemento (polígono) que pertence a um dos subconjuntos é identificado por um subíndice (i e j para os polígonos de referência e de segmentação, respectivamente). Os subconjuntos são formados pelos polígonos de referência e de segmentação que atendem aos critérios de sobreposição, agrupamento (por polígono de referência ou segmentação) ou filtragem (área mínima ou máxima de sobreposição, ou sobreposição do centroide).

O subconjunto \tilde{Y} contém os polígonos resultantes da segmentação que se intersectam com os polígonos de referência. Y' é composto pelos polígonos de segmentação com a maior área de interseção com cada polígono de referência. Y_a contém os polígonos da segmentação que contêm os centroides dos polígonos de referência, enquanto Y_b contém os polígonos da segmentação em que seus centroides estão nos polígonos de referência. Y_c contém os polígonos de segmentação em que a taxa de sobreposição (normalizada pela área de segmentação) é maior que 0,5. Y_d é semelhante ao Y_c , exceto pelo fato de que a taxa é normalizada usando a área do polígono de referência. Por fim, o subconjunto Y^* contém a união dos subconjuntos Y_a , Y_b , Y_c e Y_d . Os subconjuntos \tilde{X} e X' são semelhantes aos seus equivalentes \tilde{Y} e Y' com a diferença de incluir os polígonos de referência em vez dos polígonos resultantes da segmentação. Os subconjuntos mencionados são apresentados na Figura 1.

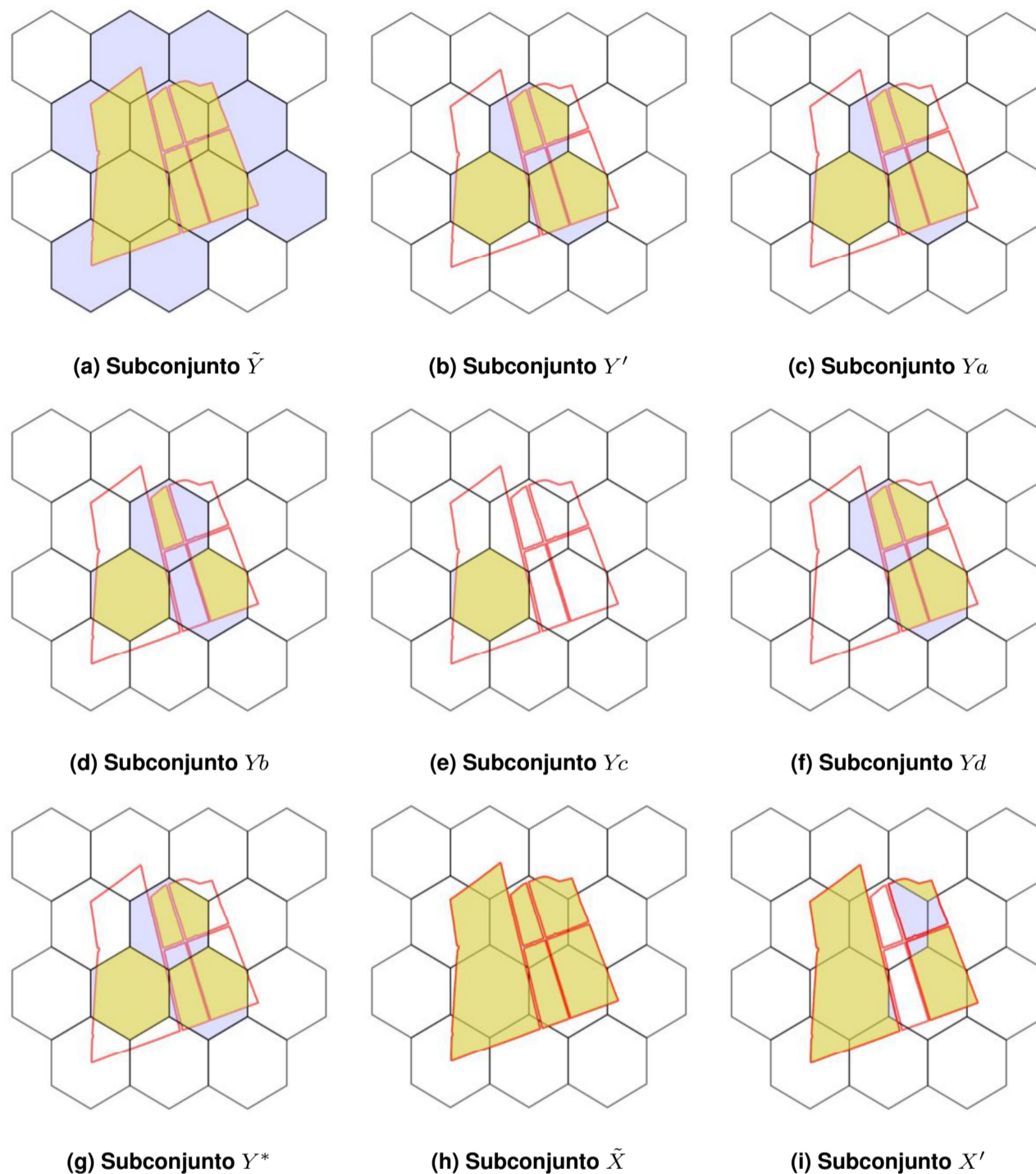


Figura 1. Subconjuntos usados para calcular as métricas. Os hexágonos representam os resultados de um algoritmo de segmentação e os polígonos com uma borda vermelha representam polígonos de referência (a forma verdadeira do objeto segmentado). Os hexágonos coloridos correspondem aos polígonos de segmentação que fazem parte de cada subconjunto, sendo o amarelo a interseção entre a referência e a segmentação, e o azul o seu complemento.

3. Métricas

As métricas supervisionadas são definidas a partir dos subconjuntos descritos e são usadas para avaliar a qualidade e a precisão de uma segmentação. Normalmente, as métricas são calculadas para cada polígono de interseção dos subconjuntos e, em seguida, agregadas para obter um valor final para a métrica. No entanto, há métricas que são calculadas globalmente e não exigem agregação adicional.

O pacote *segmetric* oferece 28 métricas supervisionadas, como por exemplo: Oversegmentation, Undersegmentation, Area Fit Index, Quality Rate, Precision, Recall,

Undermerging, Overmerging, Match, Evaluation measure, Relative area (sub e super), Purity Index, Fitness Function, Index D, Euclidean Distance, F-measure, e Relative position (sub e super) [Simoes et al. 2023].

Algumas métricas são especializadas em avaliar erros de segmentação, que podem ser sub-segmentação e super-segmentação. Outras métricas fornecem uma avaliação global que inclui os dois tipos de erro citados anteriormente, como a métrica de Interseção sobre União (IoU), também conhecida como índice de Jaccard. Essa métrica avalia a sobreposição entre a segmentação e os polígonos de referência. De acordo com a definição de [Rezatofghi et al. 2019], a métrica IoU é definida por:

$$IoU_{ij} = \frac{\text{area}(x_i \cap y_j)}{\text{area}(x_i \cup y_j)}, y_j \in Y'_i$$

Observe que essa definição é baseada no subconjunto Y' e, portanto, considera apenas a interseção de um segmento com a referência cuja interseção é a maior. Quanto mais próximo de 1, mais precisa será a segmentação. Depois de calcular para cada polígono no subconjunto Y' , uma métrica IoU global pode ser obtida por meio de uma média simples. Para calcular a métrica de IoU para outro subconjunto de dados, uma nova métrica deve ser registrada no pacote. Isso é explicado na seção a seguir.

O pacote *segmetric* fornece subconjuntos diferentes para algumas métricas. Esse é o caso, por exemplo, das métricas de sub-segmentação (US) e super-segmentação (OS). Existem três métricas US e três métricas OS e elas diferem entre si apenas pelo subconjunto usado para calcular seus valores.

4. Registrando novas métricas

O pacote *segmetric* pode ser instalado por meio do repositório oficial R (CRAN-*Comprehensive R Archive Network*) ou, para obter a versão mais recente, o usuário pode instalar a versão de desenvolvimento usando o repositório público do pacote (consulte Código 1).

```

1 # Instale a partir do CRAN.
2 install.packages("segmetric")
3
4 # Instale a versao de desenvolvimento mais recente.
5 devtools::install_github("michellepicoli/segmetric", ref = "dev")

```

Código 1. Instalação do pacote *segmetric*.

O pacote *segmetric* é extensível e permite que os usuários implementem novas métricas. Para implementar uma nova métrica, os usuários podem usar `sm_new_metric()` para criar uma nova métrica e registrá-la usando a função `sm_reg_metric()`. Os usuários podem encontrar mais detalhes sobre como as novas métricas podem ser implementadas usando a função `?sm_reg_metric()`. O exemplo a seguir implementa a métrica IoU2, com base na métrica IoU, mas alterando o subconjunto original de Y' para Y_d (consulte Código 2).

```

1 # Register a new metric.
2 sm_reg_metric(

```

```

3  metric_id = "IoU2",
4  entry = sm_new_metric(
5    fn = function(m, s, ...) {
6      sm_area(s) / sm_area(sm_subset_union(s))
7    },
8    fn_subset = sm_yd,
9    name = "Intersection over Union 2",
10   optimal = 1,
11   description = "Values from 0 to 1 (optimal)",
12   reference = "Adapted from Rezatofighi et al. (2019)"
13 )
14 )
15
16 # Describe the 'IoU2' metric.
17 sm_desc_metric("IoU2")
18 #> * IoU2 (Intersection over Union 2)
19 #>   Values from 0 to 1 (optimal)
20 #>   reference: Adapted from Jaccard (1912); Rezatofighi et al. (2019)

```

Código 2. Adiciona uma nova métrica no *segmetric*.

5. Considerações finais

O pacote *segmetric* desenvolvido em R [R Core Team 2022] é uma ferramenta criada para atender às necessidades dos usuários que trabalham com segmentação de imagens de Observação da Terra e que precisam avaliar a precisão dos segmentos. O pacote fornece um conjunto coerente de métricas supervisionadas a serem usadas na comparação e avaliação de diferentes métodos e parâmetros de algoritmos de segmentação.

Além de avaliar os resultados da segmentação, os usuários também podem empregar o pacote *segmetric* para auxiliar na seleção de parâmetros em algoritmos de segmentação. Os usuários podem aplicar sistematicamente as métricas oferecidas pelo pacote para avaliar os resultados da segmentação em uma série de configurações de parâmetros, bem como comparar o desempenho de diferentes algoritmos de segmentação, fornecendo uma visão abrangente de como diferentes escolhas de parâmetros afetam a precisão da segmentação. De forma similar, os usuários podem avaliar como diferentes conjuntos de amostras de treinamento influenciam a precisão da segmentação por meio da quantificação de valores métricos, ajudando na seleção de amostras de treinamento representativas e informativas.

Contribuições para o *segmetric* são bem-vindas no GitHub do pacote, e mais detalhes sobre como contribuir com o pacote também podem ser encontrados no mesmo endereço: <https://michellepicoli.github.io/segmetric>.

Referências

- Clinton, N., Holt, A., Scarborough, J., Yan, L., and Gong, P. (2010). Accuracy Assessment Measures for Object-based Image Segmentation Goodness. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(3):289–299.
- Costa, H., Foody, G. M., and Boyd, D. S. (2018). Supervised methods of image segmentation accuracy assessment in land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 205:338–351.

- Jozdani, S. and Chen, D. (2020). On the versatility of popular and recently proposed supervised evaluation metrics for segmentation quality of remotely sensed images: An experimental case study of building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 160:275–290.
- Liu, J., Du, M., and Mao, Z. (2017). Scale computation on high spatial resolution remotely sensed imagery multi-scale segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, 38(18):5186–5214.
- R Core Team (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rezatofghi, H., Tsoi, N., Gwak, J., Sadeghian, A., Reid, I., and Savarese, S. (2019). Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pages 658–666.
- Sibaruddin, H. I., Shafri, H. Z. M., Pradhan, B., and Haron, N. A. (2018). Comparison of pixel-based and object-based image classification techniques in extracting information from uav imagery data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1):012098.
- Simoës, R., Sanchez, A., Picoli, M. C. A., and Meyfroidt, P. (2023). The segmetric package: Metrics for assessing segmentation accuracy for geospatial data. *The R Journal*, 15:159–172.
- Whiteside, T. G., Boggs, G. S., and Maier, S. W. (2011). Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(6):884–893.
- Yuan, X., Shi, J., and Gu, L. (2021). A review of deep learning methods for semantic segmentation of remote sensing imagery. *Expert Systems with Applications*, 169:114417.