

# Metodologia resumida

A metodologia proposta para identificar os sítios resilientes às mudanças climáticas (Anderson et al. 2014, 2016a, Anderson et al. 2016b, e Anderson et al. 2023) envolve a divisão do espaço geográfico em regiões eco-geológicas, que são similares na sua geologia, geomorfologia, vulnerabilidade ao intemperismo, formação de solos e biodiversidade. Dentro de cada região são mapeadas a diversidade da paisagem e a conectividade local, que posteriormente, compõem a resiliência da paisagem. Os sítios com maior resiliência, possuem alto potencial de abrigar a biodiversidade num cenário de mudanças climáticas e estão conectados entre si (Anderson et al. 2014), permitindo a migração da biodiversidade para essas localidades.

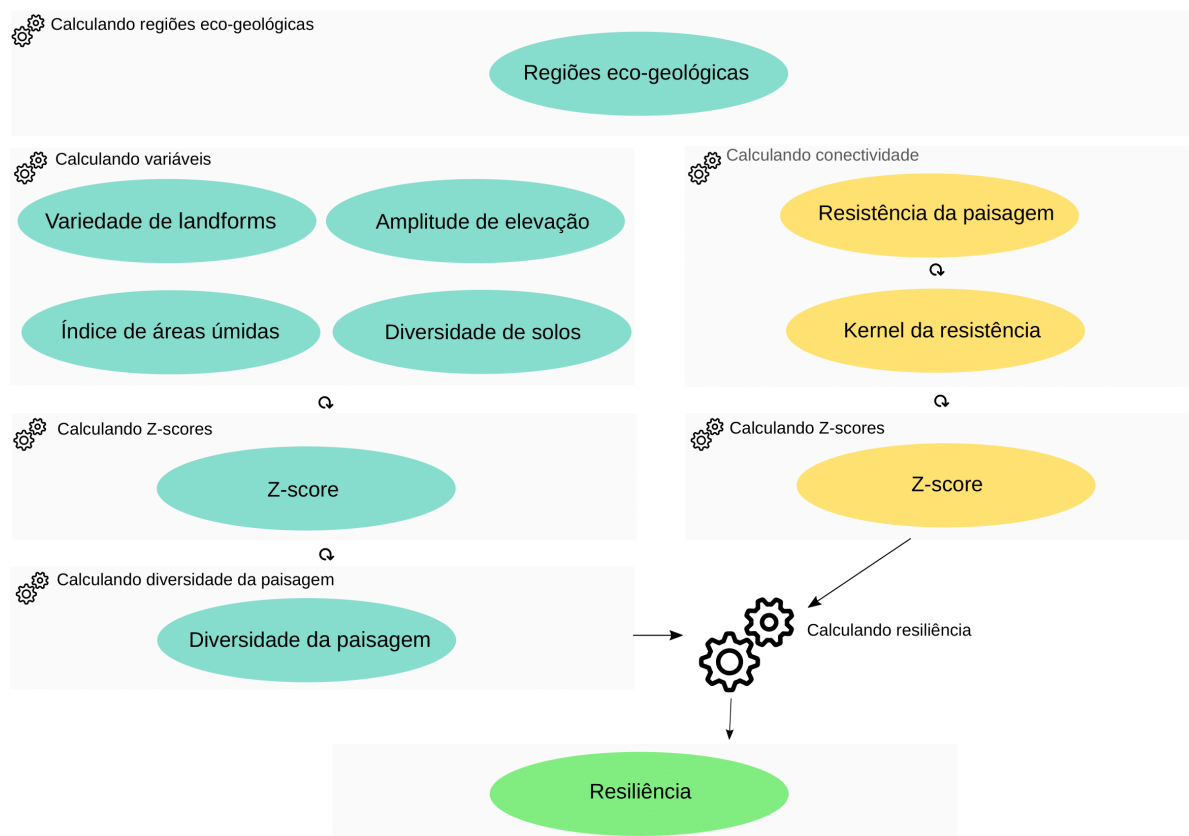


Figura 1. Fluxograma da análise de resiliência da paisagem.

## Regiões eco-geológicas

As regiões eco-geológicas são agrupamentos dos domínios geológicos e ecoregiões, que descrevem as variações geológicas e geomorfológicas promotoras da formação das paisagens, das redes de drenagem, da pedologia e que atuam como base de sustentação da biodiversidade que evoluiu nessas regiões, representadas pelas ecoregiões. O mapeamento das áreas resilientes às mudanças climáticas dentro das regiões eco-geológicas permite a identificação de locais que suportarão a biodiversidade pelos parâmetros locais, sem o enviesamento para regiões com mais variação de elevação e formas de relevo.

Os domínios geológicos são grupos de litoestratigrafia semelhantes em relação ao posicionamento tectônico, nível crustal, classe de rocha, expressão geomorfológica, entre outros [...]. Os domínios geológicos agrupam unidades geológicas, que são agrupamentos de rochas. Portanto, os diferentes domínios geológicos descrevem variações no tipo de rocha, potencial de sofrer intemperismo e idade geológica. As ecoregiões são regionalizações biogeográficas abaixo hierarquicamente dos domínios biogeográficos e biomas, representando agrupamentos espaciais da biodiversidade, numa escala regional, sustentando seus processos ecológicos principais [Olson et al . 2001; Dinerstein et al 2017 (veja material suplementar)]. A integração dos domínios geológicos e ecoregiões foram realizadas pela transformação dos polígonos dos domínios geológicos e ecoregiões em *rasters*, que são posteriormente combinados como a seguinte equação:

$$Regiões\ eco - geológicas = (Ecoregiões) + (100 \times Domínio\ Geológico)$$

Desta forma, os valores do raster final estão no formato **GGEE**, onde as duas primeiras unidades (**GG**) representam os domínios geológicos e as duas últimas unidades (**EE**) as ecoregiões.

## Resiliência

A segunda etapa consiste nas estimativas de resiliência dos sítios. Para estimar a resiliência de um sítio, é necessário estimar a **diversidade da paisagem** e a **conectividade local** para cada célula de 90 m. O resultado dessas análises é combinado para então estimar o valor de resiliência para cada local.

### Diversidade da paisagem

A diversidade da paisagem está relacionada à variedade de microclimas em um determinado local. A análise de diversidade da paisagem resume informações relacionadas à (a) variedade de *landforms*, (b) amplitude altitudinal, (c) índice de áreas úmidas (*wetlands*) e (d) diversidade de solos.

## Variedade de *landforms*

A variedade de *landforms* diz respeito à variedade das formas do relevo criados pela topografia. Sua avaliação é baseada em um modelo de *landforms*, derivado de um modelo digital de elevação (DEM) com resolução de 90 m, que classifica a superfície em diversas categorias, como por exemplo:

- precipícios e áreas íngremes (*cliff e steep slope*)
- topos de montanha e divisores de águas (*summit/ridge-top*)
- vertentes norte e sul, que determinam se uma vertente é quente ou fria, especialmente em latitudes maiores, (*warm/cool side slope*)
- colinas (*flat hill top e gentle slope hilltop*)
- áreas planas de terras baixas (*dry flat*), entre outros.

A classificação de *landforms* é baseada na em índices de **inclinação do relevo, orientação da vertente, posição topográfica e acúmulo de umidade** (*slope, aspect, land position e moisture accumulation*), que correspondem aos locais com diferenças em umidade, radiação e deposição. A variedade de *landforms* é calculada como a quantidade de *landforms* dentro de uma área circular, de 450 metros de raio, no entorno de cada célula de 90 m.

## Amplitude altitudinal

A amplitude altitudinal é determinada a partir do DEM, calculando a amplitude em uma área circular, de 450 m de raio, no entorno de cada célula de 90 m. A amplitude altitudinal considerada no estudo corresponde ao componente não correlacionado com a diversidade de *landforms* (os resíduos de uma regressão linear simples (*Ordinary Linear Squares*)).

## Índice de áreas úmidas

Para áreas planas, nas quais a variedade de *landforms* e a amplitude altitudinal não permitem discriminar a variação microclimática, a densidade e quantidade de áreas úmidas captura a variação microclimática. A densidade e quantidade de áreas úmidas é resumido no índice de áreas úmidas, que é obtido pela média das densidade de áreas úmidas dentro de áreas circulares de 450 metros de raio (escala local) e 1170 metros de raio (escala regional), em cada célula de 90 m. Essa densidade é combinada com a quantidade de áreas úmidas (*wetland patchiness*) em áreas circular de 1170 metros de raio, formando o índice de áreas úmidas.

## Diversidade de solo

Por fim, em locais com baixa variação de *landforms*, amplitude de elevação e presença de áreas úmidas, a diversidade de solo é usada para identificar variações na paisagem que possam sustentar a variação da biodiversidade.

A combinação dos índices de variedade de *landforms*, amplitude altitudinal, índice de áreas úmidas e diversidade de solos gera a **diversidade da paisagem**. Esse índice pondera a variedade de *landforms* com peso maior, sendo ela o dobro do peso das demais variáveis:

## Conectividade local

A conectividade local representa o grau de permeabilidade das matrizes da paisagem (ou reciprocamente o grau de resistência) em torno de cada célula avaliada. A partir de um mapa de uso e cobertura do solo, incluindo a presença de infraestruturas energéticas e de transporte, foi atribuído pesos de resistência de movimento para cada categoria de uso do solo, nos quais áreas naturais apresentam o valor mínimo, e áreas com intervenção antrópica intensa (áreas urbanas), o valor máximo.

As categorias principais de componentes da paisagem foram definidas como:

- áreas naturais (florestas, banhados, campos, etc.),
- áreas agrícolas ou modificadas (incluindo áreas improdutivas não-naturais)
- áreas urbanizadas (de baixa ou alta intensidade).

A conectividade local é a média ponderada das resistências dentro uma vizinhança quadrada de ~2070 m, sendo os pesos um decaimento linear pela distância da célula focal.

## Dados padronizados (*Z-scores*)

Antes de calcularmos a resiliência da paisagem, as variáveis (variedade de *landforms*, amplitude de elevação, índice de áreas úmidas, diversidade de solos e conectividade local) são convertidas para valores de Z (*Z-scores*), assumindo as médias e desvios padrões das **Regiões eco-geológicas**. Isso garante a inclusão de condições físicas e ambientais distintas e permite capturar variações na composição da biota associada. Posteriormente, os valores de Z são combinados em diversidade da paisagem, exceto conectividade local.

## Resiliência: combinando diversidade da paisagem e conectividade local

Finalmente, a resiliência da paisagem é determinada pela média diversidade da paisagem e valor de Z da conectividade local:

$$Resilincia = \frac{(Diversidade da paisagem + Conectividade)}{2}$$

- Anderson, M. G., M. Clark, A. P. Olivero, A. R. Barnett, K. R. Hall, M. W. Cornett, M. Ahlering, M. Schindel, B. Unnasch, C. Schloss, e D. R. Cameron. 2023. [A resilient and connected network of sites to sustain biodiversity under a changing climate](#). Proceedings of the National Academy of Sciences 120:e2204434119.
- Anderson, M. G., M. Clark, e A. O. Sheldon. 2014. [Estimating Climate Resilience for Conservation across Geophysical Settings](#). Conservation Biology 28:959–970.
- Anderson, M. G., M. Clark, e A. O. Sheldon. 2016a. [Resilient Sites for Terrestrial Conservation in Eastern North America](#). Conservation Biology 28:959–970.
- Anderson, M., A. Barnett, M. Clark, J. Prince, S. A. Olivero, e B. Vickery. 2016b. Resilient and Connected Landscapes for Terrestrial Conservation.