

# RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E A ESTRUTURA URBANA ESTIMADA PELO MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL EM PORTO ALEGRE – RS - BRASIL

*Eliana Lima da Fonseca*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Geotecnologias Aplicadas – Departamento de Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS – CEP 91501-970 – Brasil, eliana.fonseca@ufrgs.br

## RESUMO

O Modelo Linear de Mistura Espectral foi utilizado para estimar a estrutura urbana da cidade de Porto Alegre, gerando as imagens-fração de construções, sombras e vegetação a partir de imagens dos satélites Landsat 5 e 8 adquiridas entre os anos de 1990 e 2022. As imagens-fração foram comparadas com os dados de temperatura de superfície também estimados por imagens Landsat para as mesmas datas de aquisição das imagens ópticas. Pela análise dos diagramas de dispersão, não foi observada relação entre a fração vegetação e a temperatura de superfície. Verificou-se uma relação direta entre a fração construções urbanas e a temperatura de superfície e uma relação inversa entre a fração sombra e a temperatura de superfície.

**Palavras-chave** — arborização urbana, Landsat, densidade populacional, clima urbano.

## ABSTRACT

*The Linear Spectral Mixture Model was used to estimate the urban structure, generating fraction-images of buildings, shadows and vegetation from Landsat 5 and 8 satellite images acquired over the city of Porto Alegre between 1990 and 2022. Fraction-images were compared with surface temperature data also estimated by Landsat images. By analyzing the scatter diagrams, no relationship was observed between the vegetation fraction and surface temperature. There was a direct relationship between the urban construction fraction and surface temperature and an inverse relationship between the shade fraction and surface temperature.*

**Key words** — Urban green, Landsat, population density, urban climate.

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Porto Alegre (30°1' S, 51°13' W) tem cerca de 1,3 milhão de habitantes com densidade populacional em torno de 3 hab/km<sup>2</sup>. Essa cidade é frequentemente atingida por ondas de calor no período do verão com temperatura do ar superior a 40°C nas horas mais quentes do dia, e sensação

térmica ainda superior, principalmente nos meses de fevereiro e março.

Durante as ondas de calor, a população com maior poder aquisitivo possui sistemas modernos de ar condicionado que permitem a diminuição da temperatura dos ambientes, mas com um intenso consumo de energia elétrica, que por vezes acaba levando ao colapso do sistema de distribuição de energia. A população com menor poder aquisitivo, que mora nas periferias e partes mais altas da cidade sofre com a falta de abastecimento de água, decorrente da falta de energia elétrica para operar o sistema de bombeamento de água. Também a região tem sido atingida por secas frequentes, que não comprometem tanto o abastecimento de água, mas sim a qualidade da mesma, com alteração do gosto e cheiro.

Em Porto Alegre foi verificada a ocorrência de árvores na frente dos 82,7% de moradias urbanas, segundo o censo brasileiro de 2010. A arborização nas ruas da cidade começou no primeiro semestre do século XX. Atualmente, de acordo com ativistas ambientais, em nesta cidade, dez árvores foram cortadas todos os dias nos últimos anos. Um dos motivos desses cortes é que as árvores mais velhas possuem uma grande estrutura de caules e galhos [1], o que aumenta o risco de queda de árvores sobre os prédios urbanos durante as intensas tempestades que ocorrem nesta região todos os anos no inverno e primavera.

Esse trabalho utilizou imagens do satélites Landsat 5 e 8 adquiridas entre 1990 e 2021 (42 anos), na cidade de Porto Alegre e analisou a relação da temperatura de superfície, estimada pela banda do infravermelho termal, com a arborização e estrutura urbana (construções e sombra), estimadas pelas bandas ópticas utilizando para tanto o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para uma série temporal de 60 imagens. Essa análise tem por objetivo relacionar a variação da temperatura de superfície em relação à proporção de vegetação, sombra urbana e construções urbanas no interior de cada pixel (análise em nível de sub-pixel), visando um melhor entendimento dos fatores que afetam os elementos do clima em áreas intra-urbanas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Todo o processamento de imagens foi feito utilizando a ferramenta de processamento de dados na nuvem *Google Earth Engine* (GEE) [2]. Foram utilizados dois conjuntos de

dados *USGS Landsat 5 Level 2, Collection 2, Tier 1 e USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1*. As imagens *Landsat* permitem estimar as frações dos *endmembers* a partir das imagens ópticas e relacionar com a temperatura de superfície estimada pela banda termal para uma mesma data de aquisição. Foram selecionadas todas as imagens livres de nuvens sobre a cidade de Porto Alegre (*path/row* 221/81) entre os anos de 1990 e 2021, totalizando 60 imagens adquiridas nos diferentes meses do ano. A seleção foi feita com base na filtragem dos metadados das imagens (“*Cloud\_Cover*” inferior à 0,1%) e inspeção visual para posterior conferência.

O Modelo Linear de Mistura Espectral [3] foi calculado para três *endmembers*, a saber, vegetação, sombra urbana e construções urbanas, gerando como resultado imagens-fração que a proporção de cada um desses alvos no interior de cada pixel em cada das sessenta datas analisadas. O MLME, está implementado no GEE e foi configurado com as seguintes restrições: a) a soma das imagens-fração geradas precisa ser igual a um (1) em um mesmo pixel; b) nenhuma fração pode ser negativa. Dessa forma foi gerada uma nova série temporal de imagens, composta por cento e oitenta imagens-fração (sessenta imagens para cada um dos três *endmembers*), as quais apresentam a quantidade relativa de cada *endmember* no interior de cada pixel de 30 metros de resolução espacial das imagens analisadas. Foram utilizadas no cálculo as seis bandas do espectro óptico, disponíveis nas imagens *Landsat* em cada uma das sessenta datas analisadas. Foram selecionados três pontos para a coleta do padrão espectral necessário para o cálculo das imagens-fração sobre as coordenadas de longitude e latitude: (-51.228014, -30.029546) para sombra urbana; (-51.219815, -30.069096) para vegetação; e (-51.203262, -30.060039) para construções urbanas. Foi utilizado o valor da mediana das sessenta (60) imagens que compõem a série temporal de cada um dos três pontos para definir o padrão espectral dos *endmembers* utilizados no cálculo das imagens-fração (Figura 1).

A temperatura de superfície foi obtida diretamente do conjunto de dados, uma vez que os dados com processamento *Level 2, Collection 2*, já fornecem a temperatura da superfície calculada para cada pixel, na unidade física Kelvin, a partir da banda 6 (*Landsat* 5) e da banda 10 (*Landsat* 8), utilizando os algoritmos e dados de entrada coletados e definidos pela própria USGS, que é a curadora das imagens e produtos *Landsat* disponibilizados na nuvem do GEE.

Foram analisados os dados coletados sobre os bairros Azenha, Bom Jesus, Cidade Baixa, Jardim do Salso, Petrópolis e Restinga. O critério para a seleção dos bairros foi considerar diferentes tipos de ocupação, tais como bairros predominantemente urbanos com predomínio de casas (Bom Jesus e Jardim do Salso), com predomínio de prédios (Azenha, Cidade Baixa) e misto entre casas e prédios (Petrópolis), bem como um bairro mais afastado da zona central da cidade (Restinga) e assim possibilitar uma

comparação dos padrões urbanos observados em relação à temperatura de superfície. Para cada um dos 6 bairros foi utilizado o limite vetorial para obter o valor médio da temperatura de superfície e das imagens-fração em cada uma das 60 datas analisadas, considerando na análise apenas o valor dos pixels no interior do limite de cada bairro. Os valores de cada uma das três frações foram plotados em gráficos e sua dispersão analisada considerando toda a nuvem de pontos e também cada bairro especificamente em relação à temperatura de superfície.

### 3. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta o padrão espectral dos *endmembers* utilizados para gerar as imagens fração nos diferentes comprimentos de onda das bandas das imagens *Landsat*. O padrão de sombra urbana apresentou baixa reflectância em todos os comprimentos de onda, a vegetação apresenta um padrão característico de baixa reflectância nas bandas do visível, um aumento nas bandas do infravermelho próximo e um decaimento linear na banda do infravermelho médio e as construções urbanas apresentam um padrão de aumento aproximadamente linear da reflectância com o aumento do comprimento de onda, similar ao padrão apresentados por rochas e solos.

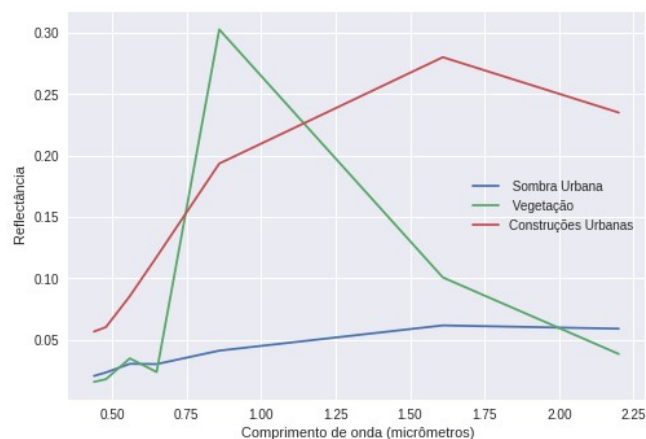


Figura 1. Padrão espectral dos *endmembers* utilizados para gerar as imagens-fração (mediana da série temporal).

A Figura 2 apresenta um exemplo do resultado da aplicação do MLME. A Figura 2A apresenta o mapa-base da ESRI sobre Porto Alegre, (centrado nas coordenadas de longitude e latitude -51.203493, -30.021534) e a Figura 2B, centrada na mesma coordenada, mostra a imagem-fração vegetação calculada para o dia 08 de Janeiro de 2021 com a estimativa da proporção da quantidade de vegetação no interior de cada pixel de 30 metros de resolução espacial. A proporção varia entre 0 (nenhuma vegetação no interior do pixel) à 1 (pixel com 100% de vegetação no interior do pixel). Comparando as Figuras 2A e 2B podemos verificar que nas áreas onde têm maior quantidade de árvores no mapa-base, a proporção de vegetação calculada no interior

do pixel é maior do que nas áreas onde não verificamos árvores no mapa-base. Para os demais *endmembers* e demais datas os resultados obtidos pela aplicação do MLME seguem o mesmo padrão apresentado na Figura 2.



Figura 2. (A) Recorte do Esri basemap, centrado em Porto Alegre (W51.203493, S30.021534). (B) Recorte da imagem-fração da vegetação, calculada para 08 de Janeiro de 2021, centrado na mesma coordenada.

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os diagramas de dispersão entre a temperatura de superfície e as três imagens-fração geradas com dados coletados sobre todas as 60 imagens Landsat em seis diferentes bairros analisados. Cada bairro analisado foi representado em uma diferente cor, para permitir a análise da dependência especial da dispersão dos valores (azul – Azenha, preto – Bom Jesus, vermelho – Cidade Baixa, amarelo – Jardim do Salso, laranja – Petrópolis e verde – Restinga). Foi observada uma tendência de diminuição da temperatura de superfície com o aumento da fração sombra urbana (Figura 3) e uma tendência oposta, de aumento da temperatura de superfície com o aumento da fração construções urbanas (Figura 4). Não foi observada uma relação entre a fração vegetação e a temperatura de superfície (Figura 5), mas sim uma dependência espacial com o bairro analisado, tendo o bairro Restinga um padrão distinto de valores em comparação aos demais bairros. Essa

dependência espacial com o bairro Restinga pode ser observada também nos diagramas de dispersão das frações sombra urbana e construções urbanas.

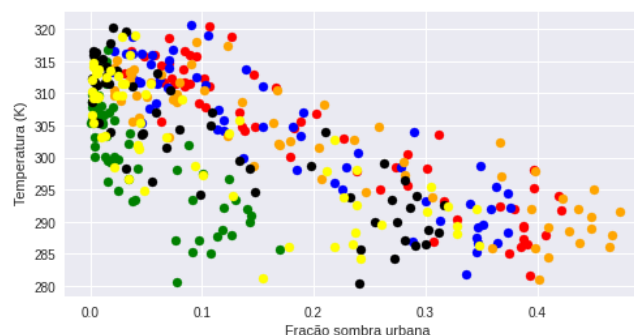


Figura 3. Diagrama de dispersão entre a temperatura de superfície e a fração sombra urbana

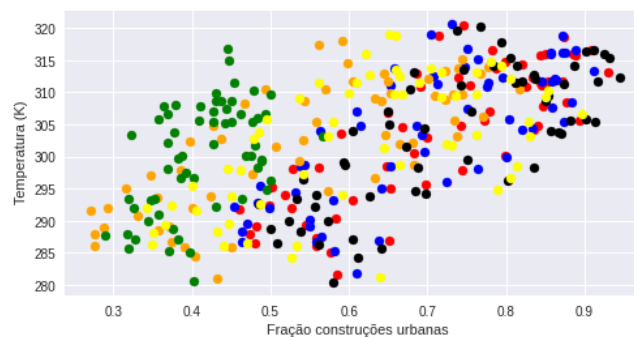


Figura 4. Diagrama de dispersão entre a temperatura de superfície e a fração construções urbanas.

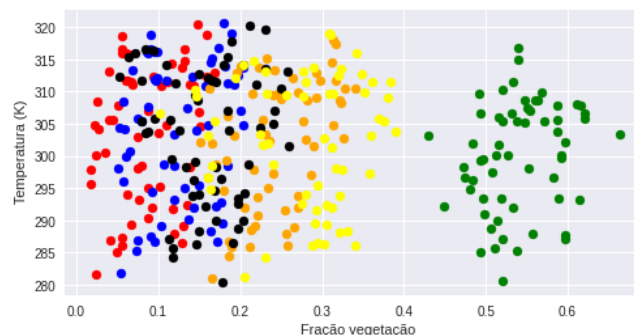


Figura 5. Diagrama de dispersão entre a temperatura de superfície e a fração vegetação.

#### 4. DISCUSSÃO

O MLME aplicado sobre as imagens Landsat com 30 metros de resolução espacial demonstrou ser eficiente para monitorar áreas urbanas com imagens desse satélite (Figura 2), concordando com resultados de outros autores [4]. A fração vegetação permitiu, inclusive, identificar a presença das árvores plantadas ao longo das vias (Figura 2) em todos os diferentes bairros analisados, independente do seu padrão de ocupação e renda, o qual pode ser identificado pela

densidade populacional e renda média das famílias apresentados na Tabela 1.

Bairro	Área (ha)	Densidade (hab/ha)	Renda média (SM/mês)
Azenha	126	106,7	10,73
Bom Jesus	179	157,7	3,97
Cidade Baixa	79	210,6	11,20
Jardim do Salso	93	55,3	11,44
Petrópolis	333	105,3	20,37
Restinga	2149	23,3	3,03

Tabela 1. Área, densidade populacional e renda média das famílias nos bairros analisados.

Foi observada uma dependência espacial em relação ao bairro Restinga em todas as imagens-fração analisadas (pontos verdes nos diagramas de dispersão). Esse bairro está afastado da área central da cidade e possui uma grande quantidade de vegetação nativa em áreas naturais e também uma menor renda das famílias. Por essa razão a fração vegetação desse bairro foi mais elevada que dos demais bairros e em consequência as demais frações (sombra urbana e construções urbanas) apresentaram um menor valor. Nos outros cinco bairros a fração vegetação também evidenciou dependência espacial com o padrão de ocupação (Tabela 1), sendo mais alta nos bairros com menor densidade populacional (Jardim do Salso) e maior renda (Petrópolis).

A relação inversa entre a temperatura de superfície e a fração sombra urbana e a relação direta entre a temperatura de superfície e a fração construções urbanas foram ao encontro com o comportamento esperado. Mas salienta-se que a fração sombra urbana é dependente do horário de passagem do satélite, próximo das 10h30min da manhã sobre Porto Alegre e da declinação solar. Como a soma das três imagens-fração foi definida, por restrição do modelo, para ser igual a um, a época do ano irá influenciar não só a fração sombra urbana, como também nas proporção das demais frações.

Ao contrário do esperado a fração vegetação não apresentou relação com a temperatura da superfície na escala utilizada na análise. Por vezes, as árvores possuem uma copa muito pequena em relação à proporção dos demais alvos, não sendo sua área significante no interior do pixel de 30 metros das bandas ópticas utilizadas para calcular as imagens-fração e tampouco nas bandas de 60 metros utilizadas para estimar a temperatura de superfície. O uso de imagens de satélite para o monitoramento da vegetação intra-urbana de forma sistemática é limitado pela resolução espacial das imagens (tamanho do pixel). Imagens de alta resolução espacial (5 metros ou menos), além de não possuírem uma banda posicionada no infravermelho termal, não são coletadas de forma sistemática, não permitindo a

construção de uma série de dados para uma análise da evolução temporal da vegetação intra-urbana. Mas essa ausência de relação não inviabiliza a metodologia do uso da proporção dos *endmembers* para estudos de clima urbano em áreas intra-urbanas, já que as frações complementares à vegetação (sombra e construções urbanas) apresentaram variações em relação à temperatura da superfície de acordo com os padrões esperados. O período avaliado foi grande o suficiente para em um mesmo pixel exista, por exemplo, o crescimento e queda das árvores plantadas ao longo das vias urbanas ou variações no tipo de construções urbanas, e a sua consequente sombra, que interferem diretamente na temperatura de superfície esse pixel, simulando diferentes variações intra-urbanas que permitem analisar a relação da temperatura com a estrutura urbana de forma robusta.

## 5. CONCLUSÕES

A temperatura de superfície estimada por imagens de satélite apresentou relação com os elementos da estrutura urbana, tais como construções e sombras. Ao contrário do esperado, não foi observada relação entre a vegetação e a temperatura de superfície, apesar da vegetação ter influência direta no valor da temperatura de superfície. O Modelo Linear de Mistura Espectral aplicado sobre uma série temporal de imagens imagens *Landsat* permitiu obter as frações complementares vegetação, sombra urbana e construções urbanas no interior dos pixels para serem relacionadas com a temperatura de superfície estimada com imagens do mesmo satélite.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] B. Boeni and D.Silveira. “Diagnóstico da arborização urbana em bairros do município de Porto Alegre, RS, Brasil.” *Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana*, vol. 6, p. 189, 2019.
- [2] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau and R. Moore, “Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone.” *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18–27, 2017.
- [3] Y. E. Shimabukuro and J. A. Smith. “The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived from Remote Sensing Multispectral Data.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 29, no. 1, pp. 16–20, 1991.
- [4] F. P. Kressler and K.T. Steinnocher. Monitoring urban development using satellite images In (C. Jürgens Edt.): *Remote Sensing of Urban Areas*. Regensburg, 2001, pp.140-147.