



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

A temática ambiental e o ensino de física: uma estratégia didática possível através do sensoriamento remoto*The environmental theme and the physics teaching: a possibility through remote sensing*Francineide Amorim Costa Santos¹, Neusa Teresinha Massoni²,
Claudio Rejane da Silva Dantas³, Rochelande Felipe Rodrigues⁴

RESUMO

Este trabalho propõe a abordagem da temática ambiental na educação básica a partir de conteúdos da física, utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto (SR). Inicialmente, fazemos uma articulação da legislação brasileira sobre educação ambiental com a literatura, em periódicos, referente à pesquisa em ensino de física e sua relação com a educação ambiental. Na sequência, apresentamos algumas situações que poderiam ser abordadas em sala de aula utilizando imagens de satélite. Posteriormente, são abordados alguns princípios físicos do SR, destacando o papel da radiação solar e terrestre e o registro dessa radiação pelos sensores. Apresentamos, então, alguns resultados estimados a partir de dados de SR para Temperatura da superfície (Ts), Radiação terrestre (radiação de onda longa - ROL) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para diferentes localidades. Os resultados demonstram a importância da preservação da vegetação para a manutenção de temperaturas mais amenas. A proposta permite articular aspectos da temática ambiental ao ensino de física, estendendo aspectos do conteúdo científico a fenômenos socioambientais para além da sala de aula, possibilitando relacionar o currículo de física com o contexto local em que vivem os estudantes.

Palavras-chave: Educação ambiental; ensino de física; sensoriamento remoto; temperatura da superfície terrestre; vegetação.

ABSTRACT

This paper aims to approach environmental issues in basic education from Physics content, using data from Remote Sensing (RS). First, we congregate the Brazilian legislation on environmental education with the literature in journals, regarding research in teaching Physics. In sequence, we present some situations that could be addressed in the classroom using satellite images. Subsequently, some physical principles of SR are addressed, highlighting the role of solar and terrestrial radiation and the recording of this radiation by sensors. The following step is presenting some results estimated from RS data for Surface Temperature (St), Terrestrial Radiation (long wave radiation - LWR), and Vegetation Index by Normalized Difference (IVDN) for

¹ Universidade Federal do Cariri – UFCA, Campus Brejo Santo/CE – Brasil. E-mail: francineide.amorim@ufca.edu.br

² E-mail: neusa.massoni@ifufrgs.br

³ E-mail: claudio.dantas@urca.br

⁴ E-mail: rochelanderodrigues@ufca.edu.br



different locations. The results show the importance of preserving vegetation to maintain milder temperatures. The study contributes to bringing the environmental theme into the Physics teaching practice, extending aspects of the scientific content to socioenvironmental phenomena beyond the classroom, making it possible to relate the Physics curriculum to the local context in which the students live.

Keywords: *Environmental education; physics teaching; remote sensing; earth's surface temperature; vegetation.*

1. INTRODUÇÃO

A discussão da temática ambiental está presente nos vários setores da sociedade, trazendo reflexões acerca dos problemas e dos desafios de nossa convivência no mundo em que vivemos. A educação como direito de todos, tomando por base os documentos legais, ressalta a importância de uma abordagem ambiental em sala de aula como algo imprescindível para a formação de cidadãos conscientes e comprometidos com o ambiente natural de que fazem parte. Esta temática está presente na Lei de Diretrizes e Base da Educação Brasileira – LDB (BRASIL, 1996), e foi regulamentada pela Lei n.º 9.795, de 27 de abril 1999, que instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental, fortalecendo e orientando as discussões no setor educacional.

O envolvimento da comunidade escolar nas tomadas de decisões relacionadas à sua convivência local é considerado um fator imprescindível no mundo atual, necessitando, assim, de uma compreensão científica e tecnológica adequada. Para isso, exige-se uma formação básica em ciências para subsidiar a compreensão crítica dos problemas que perpassam a sociedade contemporânea (e.g., manipulação genética; mudanças climáticas; fontes de produção de energia; esgotamento de recursos naturais; desmatamento e perda da biodiversidade). (CACHAPUZ *et al.*, 2011; MILER, 2015).

Nessa mesma perspectiva, defendemos que o ensino de física não pode desconsiderar esses aspectos tanto na formação dos estudantes como de futuros professores. Delizoicov (2001) argumenta que é preciso pensar em metodologias de ensino que aproximem o conteúdo dos programas de física às situações cotidianas dos alunos, o que torna claro aos professores a importância de preparar o aprendiz para compreender e atuar na sociedade na qual está imerso. Reigota (2009) destaca que a educação ambiental deve ser entendida como uma educação crítica, buscando formar cidadãos responsáveis, conscientes de sua cidadania global e local e atuantes na resolução de problemas ambientais da sua comunidade.

Apesar da importância do papel da física para o entendimento de diversas questões relacionadas à temática ambiental, ainda são escassos os estudos que tratam dessa articulação no campo do ensino de física. (SILVA; CAVALARI; MUENCHEN, 2015; JUNGES *et al.*, 2018). Como consequência, pouca ênfase é dada em sala de aula, e isso pode ter relação com o deficit de materiais didáticos contextualizados, cabendo ao professor esse papel. Segundo Moraes, Costa e Gebara (2016), as discussões sobre educação ambiental nos livros de física são ainda modestas, predominando uma visão mais pragmática, que enfatiza as relações de produção e consumo, ficando as questões ambientais aquém da importância que lhes é atribuída nos documentos norteadores da educação básica brasileira.

O presente trabalho é um recorte de estudos de pós-doutoramento da primeira autora junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do



Rio Grande do Sul (UFRGS)⁵, e tem o objetivo de apresentar uma proposta para problematizar e articular o ensino de alguns conceitos da física à educação ambiental, fazendo uso de sensoriamento remoto (SR)⁶ como elemento principal do desenvolvimento da proposta. Com dados de SR se pode estudar diversas variáveis importantes e gerar mapas de variáveis físicas e biofísicas de uma dada região, colaborando com respostas sobre o equilíbrio energético local, estabelecido através da interação entre a superfície da Terra e a atmosfera, interação essa que é fundamental para a identificação de alterações da cobertura vegetal, sejam elas antrópicas ou naturais, e das consequências advindas dessas transformações.

2. ALGUNS ASPECTOS DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA REFERENTE À EDUCAÇÃO AMBIENTAL E SUA ARTICULAÇÃO COM O PROCESSO DE ENSINO

Por se tratar de um tema integrador entre diversas disciplinas, a dimensão ambiental na educação visa problematizar a exploração insustentável e as possíveis consequências para a humanidade nas diversas instituições de ensino, nas escolas das redes públicas e privadas e nas universidades. (SILVA; SANTOS JUNIOR, 2019).

É de grande importância a interpretação e propagação dos documentos que legalizam a educação ambiental no Brasil, como a Lei n.º 9.795/99 (BRASIL, 1999), que a determina e que serve de base para a construção das Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental – DCNEA. (BRASIL, 2012). Essas orientações legais buscam nortear os docentes em direção ao desenvolvimento de práticas preocupadas com a educação ambiental em todos os níveis. (FOEPPPEL; MOURA, 2014).

Nessa perspectiva, as DCNEA (BRASIL, 2012, p.5) estabelecem que a inserção dos conhecimentos relacionados à educação ambiental nos currículos tanto da educação básica, como também dos cursos de formação em nível superior, pode ocorrer: “[...] pela transversalidade, mediante temas relacionados com o meio ambiente e a sustentabilidade socioambiental; como conteúdo dos componentes já constantes do currículo; pela combinação de transversalidade e de tratamento nos componentes curriculares.”

O mais recente documento regulador da educação básica, a Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018), afirma que fica a cargo dos sistemas e redes de ensino, como também das escolas, englobar aos currículos o tratamento da educação ambiental, preferencialmente de forma transversal e integradora. Também, no que diz respeito aos conteúdos de ciências da natureza, a BNCC afirma que os mesmos devem garantir aos estudantes o desenvolvimento de três competências específicas, sendo que em todas elas aparecem ações voltadas para atitudes éticas perante o meio ambiente. A exemplo, a segunda competência estabelecida considera as aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, considerando as demandas locais, regionais e/ou globais em prol do desenvolvimento sustentável e a preservação da vida no planeta.

Apesar das orientações legais, o tratamento da questão ambiental em sala de aula não é frequentemente abordado. Soczek e Haiduke (2013) e Teixeira e Torales (2014) têm demonstrado

⁵ O referido trabalho está disponível na página da série “Textos de apoio ao professor de física”. (SANTOS *et al.*, 2018).

⁶ Procedimento tecnológico que busca captar imagens e informações da superfície terrestre a partir da energia refletida da superfície para um dispositivo (sensor) de captação. Esse sensor recebe a energia (através de radiação infravermelha) de áreas da superfície. Esse mecanismo é bastante usado para monitoramento da degradação ambiental de florestas.



que os professores não se sentem aptos para a abordagem dessa temática, atribuindo essa condição à falta de uma formação adequada. A temática ambiental, em decorrência, é reduzida à superficialidade ou ao preservacionismo, ficando no campo do “politicamente correto” e muito aquém da profundidade pretendida para a referida discussão. (SOCZEK; HAIDUKE, 2013; CAMPOS; SAHEB; CARVALHO, 2017). A literatura aponta que as complexidades inerentes à temática ambiental não podem ser compreendidas de forma significativa por parte dos estudantes se o processo educativo, nesse contexto, estiver focado apenas em modificações comportamentais. (SILVA; CAVALARI; MUENCHEN, 2015).

Por tudo o que foi aqui exposto, pensamos que é imprescindível articular, sempre que possível, temas relacionados ao meio ambiente aos conteúdos escolares. Essa necessidade pode ser confirmada por ações como a da coleção “Explorando o ensino”, que visa apoiar o trabalho do professor em sala, e que no volume 13, de 2009, abordou o tema “Mudanças climáticas”. Organizado pelo Ministério da Educação (MEC), em parceria com outros órgãos, como a Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), esse volume visava uma abordagem multidisciplinar, apresentando textos que permitem explorar conceitos que envolvem várias disciplinas, entre elas a física, abordando uma ampla gama de conhecimentos científicos sobre o aquecimento global, mudanças climáticas e suas repercussões nas esferas social, ambiental e econômica. (OLIVEIRA; SILVA; HENRIQUES, 2009).

Com relação às revistas específicas de ensino de física, em uma análise sobre as publicações entre 2000 e 2010 nos dois mais respeitados periódicos da área, Santos e Carvalho (2014) concluíram que elas apresentam apenas cerca de um por cento (1%) do total de pesquisas que estabelecem relação com a educação ambiental. Esse resultado corrobora com o trabalho de Pereira, Fortunato e Lourenço (2016), que mapeou a produção de 2000 a 2014, para as mesmas revistas, e constatou que apenas 0,52% dos artigos publicados tratavam de temas relacionados à educação ambiental, revelando uma contundente lacuna nos estudos da área de ensino de física. Os autores ainda alertam para a necessidade de que mais pesquisas sejam realizadas, tanto para esclarecer as razões dessa escassez quanto para reparar essa insuficiência, tendo em vista que se trata de uma área que pode colaborar bastante com ações direcionadas para a atenuação dos problemas relacionados ao meio ambiente.

Essas questões alertam para a necessidade de promover a implementação efetiva da temática ambiental junto a ações tão necessárias para um ensino de física mais voltado para a formação cidadã. Na esperança de que essas mudanças ocorram, pensamos que cabe ao professor o papel de agente nessa articulação de conteúdos das mais diversas formas, a depender das especificidades de cada componente curricular. No que diz respeito à física, apresentamos aqui uma alternativa viável para articular um conteúdo à temática ambiental, visando a conscientização a partir de dados ambientais coletados do entorno dos sujeitos inseridos no processo educativo. Objetivamos, assim, sair do campo do discurso para a ação capaz de promover a inserção dos estudantes no processo de análise de situações ambientais, a fim de que se percebam como agentes transformadores da realidade.



3. O MEIO AMBIENTE E O SENSORIAMENTO REMOTO: SITUAÇÕES DIDÁTICAS AUXILIARES EM AULAS DE FÍSICA

O SR pode ser definido como um conjunto de atividades que incluem a detecção, a aquisição e a análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida por objetos da superfície terrestre e registrada por sensores remotos. (MORAES, 2008).

Para entender como os satélites podem “ver” os alvos da superfície terrestre é importante saber que a energia solar é um tipo de energia eletromagnética (ondas eletromagnéticas que podem ser transmitidas, inclusive, no vácuo existente entre o Sol e a Terra) composta de uma determinada faixa de frequência. As características e magnitudes das energias refletidas e emitidas pelos objetos e captadas pelos sensores são fontes essenciais de informações para poder identificar esses objetos, e as interações entre as ondas eletromagnéticas e as superfícies naturais ou a atmosfera dependem fortemente das frequências das ondas. (LIU, 2006). Na física moderna se assume que a luz, por exemplo, a solar, tem um caráter dual, isto é, pode ser entendida como radiação eletromagnética que apresenta características de fenômenos ondulatórios (ondas), e em outras circunstâncias se comporta como partículas (como corpúsculo), resultando daí a expressão muito utilizada em física quântica – onda-partícula. Em muitas das aplicações e teorias usadas no SR se assume que a radiação refletida ou retroespalhada pelos alvos (objetos da superfície terrestre) em direção ao sensor é uma onda eletromagnética. (LORENZZETTI, 2015).

Apesar de pouco exploradas nos níveis de ensino fundamental, médio e superior, as imagens de satélite (satélites artificiais que orbitam a Terra) têm destaque em relação aos demais recursos educacionais por favorecerem o trabalho interdisciplinar, além de permitirem que o educador gere o seu próprio material didático ao fazer uso de *softwares* especializados para trabalhar com os dados de SR e sua integração com dados de outras fontes. (FLORENZANO, 2011). Para a referida autora, os princípios físicos do SR podem ser explorados pelas ciências de um modo geral, mas a física, especificamente, pode se beneficiar através de estudos que envolvam energia eletromagnética e sua interação com a matéria (os componentes da superfície terrestre), permitindo ao aprendiz explorar os dados ao mesmo tempo em que aprende conceitos físicos.

Como exemplo dessa exploração de princípios físicos, sem ainda apresentar uma aplicação prática, mas apenas conceitual, podemos utilizar a própria definição de SR. Sendo o SR uma medida da interação da radiação eletromagnética (REM) com a superfície dos objetos, as características das imagens registradas pelo sensor podem ser explicadas a partir da relação entre a onda e o tamanho do objeto. Um bom exemplo para explicar esse comportamento são as interações da radiação com as nuvens: a REM incidente nas nuvens é “barrada” pelas moléculas de água que a compõem e é refletida de volta ao espaço formando, através do sensor, uma imagem da nuvem e não dos objetos que estão sobre a superfície terrestre; isso ocorre porque as radiações/ondas eletromagnéticas da região do espectro eletromagnético que corresponde ao visível e também do infravermelho da luz solar têm comprimentos de onda de 0,4 a 2,5 μm , ou seja, em média têm tamanhos menores do que o tamanho médio das gotículas de água que compõem uma nuvem (que é da ordem de 30 μm), não conseguindo atravessar a nuvem. (MENESES, 2012).

Com o objetivo de se trabalhar uma física contextualizada, que possa colaborar com a educação ambiental, é de grande importância apresentar aos estudantes exemplos como esse, que podem ser retomados durante várias etapas do cronograma de aulas e acrescentados a outros exemplos e



situações. Alguns serão explorados mais adiante neste texto e poderão contribuir para um entendimento crítico de conceitos físicos no âmbito da física clássica e moderna e também de como ações humanas podem provocar desequilíbrios ambientais.

No entanto, o uso das imagens de satélite em sala de aula não se limita a aplicações da física. Moraes (2008), autora mencionada no início desta seção, em entrevista⁷ concedida à Univesp TV, apresenta várias possibilidades ao citar resultados do curso “Uso Escolar do Sensoriamento Remoto para Estudo do Meio Ambiente”⁸, voltado à capacitação de professores para o uso de imagens de satélite na educação básica, oferecido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A pesquisadora apresenta várias possibilidades que vão desde a geografia, área na qual se imagina ser mais fácil essa articulação, às ciências da natureza, matemática, história e até na música. O referido curso, iniciado em 1998, oferece anualmente vagas para cinquenta professores, caracterizando-se como um curso de férias, capacitando os docentes a adquirir imagens de sua área de interesse, a interpretá-las e a processá-las para o uso nas mais diversas áreas. Os projetos mais criativos, resultantes do curso de formação, ficam armazenados no *site* à disposição do público.

Um dos exemplos citados é referente a um projeto com alunos de sétima série, no qual foi estudada a questão do lixo em uma cidade, levando a descobertas, como, por exemplo, o fato de urubus estarem presentes por causa do aterro sanitário e oferecerem risco à aviação em função da proximidade do aeroporto. Em pesquisa de campo para saber quem teria sido construído primeiro (o aterro ou o aeroporto), tanto representantes do aterro quanto do aeroporto informaram que “chegaram primeiro”. Os estudantes, então, utilizando imagens de satélite, descobriram que o aterro chegou bem depois do aeroporto, o que os levou a confeccionar um documento e encaminharam à prefeitura.

Possibilidades como as mencionadas permitem aos professores terem autonomia para desenvolvimento de seus projetos e engajarem estudantes, motivando-os, a partir do uso da tecnologia, a participarem ativamente da sociedade.

4. RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE E SENSORIAMENTO REMOTO

O Sol emite radiação (ondas eletromagnéticas) em praticamente todos os comprimentos de onda. Porém, 99,9% da energia vinda do Sol se situa na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 μm de comprimento de onda, conhecida como domínio da radiação solar. (VAREJÃO-SILVA, 2006, p.194). A Terra, por ter uma temperatura muito menor que a do Sol, emite a maior parte de sua radiação em comprimentos de onda relativamente longos, isto é, na faixa do infravermelho (entre 5 μm e 25 μm), sendo que o Sol, que tem grandes temperaturas, emite radiação principalmente em comprimentos de onda menores do que 2 μm . Assim, a radiação terrestre é chamada de radiação de onda longa (ROL), e a radiação solar de radiação de onda curta (ROC). (YNOUE *et al.*, 2017).

Os sensores que medem a energia solar refletida por um alvo (objeto) na superfície terrestre são construídos na faixa de 0,4 a 3 μm , ao passo que os que medem a energia emitida pela superfície da Terra são construídos na faixa de 10 a 12 μm . (LIU, 2006).

⁷ Entrevista disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YYAWykIbhXU&t=2s>. Acesso em: 20 set. 2021.

⁸ Projeto: Uso escolar do sensoriamento remoto para estudo do meio ambiente. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/DSR/educacao/uso-escolar-sensoriamento-remoto>. Acesso em: 20 set. 2021.



É preciso lembrar que a atmosfera interfere na transmissão da radiação solar para a superfície terrestre. Ela absorve ou espalha a radiação vinda do Sol de forma diferenciada em função dos comprimentos de onda e de características físicas das partículas que estão suspensas (na atmosfera) e que são atingidas pela radiação eletromagnética. É importante também ter em mente que a radiação solar (no visível) interage pouco com a atmosfera. Porém, quando consideramos a radiação emitida pela superfície da Terra, vemos que ocorre na faixa do infravermelho, onde gases de efeito estufa como o CO₂ e o H₂O absorvem fortemente. (YNOUE *et al.*, 2017). Contudo, mesmo em se tratando da radiação infravermelha, a atmosfera não absorve em todas as faixas de comprimentos de onda do infravermelho. Existem determinadas faixas de comprimento de onda, chamadas de janelas atmosféricas, em que a atmosfera transmite quase totalmente a radiação. As principais janelas atmosféricas são: ultravioleta e visível (0,3 a 0,75 μm), infravermelha próxima (0,77 a 0,91 μm), infravermelha termal (8,0 a 9,2 e 10,2 a 12,4 μm) e micro-ondas (7,5 a 11,5 mm e > 20 mm). Fora dessas bandas (faixas), a energia eletromagnética é atenuada severamente, de maneira que os sensores de satélites são desenhados para captar essas faixas de janelas atmosféricas para evitar, ao máximo, o efeito das atenuações. (LIU, 2006). Assim, a maioria dos sensores de satélite é desenvolvida para registrar os sinais de energia eletromagnética refletida ou emitida no comprimento da onda localizado nas faixas de visível, do infravermelho e das micro-ondas. (LIU, 2006).

Do ponto de vista da física, existe uma relação direta entre o fluxo radiante emitido por um corpo e a sua temperatura. Essa relação é expressa pela lei de Stefan-Boltzmann, segundo a qual o fluxo radiante é proporcional à temperatura absoluta na quarta potência ($R = \epsilon_{\lambda} \cdot \sigma \cdot T^4$). Assim, ao estudar o fluxo radiante de uma superfície, podemos também conhecer a temperatura daquela superfície e vice-versa. Dessa forma, a estimativa do fluxo radiante emitido por corpos na superfície é um importante indicador de como esses corpos, ou mesmo a cobertura (vegetal ou urbana) da superfície se comportam mediante o recebimento da energia solar e também pode dar indícios, a longo prazo, de mudanças bruscas na superfície.

Daí a importância de dar atenção às alterações da cobertura da superfície terrestre, uma vez que áreas degradadas “aquecem” mais que áreas vegetadas, já que aquelas não utilizam a radiação recebida do Sol para a realização de processos biofísicos como, por exemplo, evaporação da água e fotossíntese, mas sim para aquecimento do solo que, conseqüentemente, aquece o ar. Percebe-se, então, que a degradação contribui para o aquecimento local. Além disso, superfícies degradadas mais aquecidas enviam mais calor, radiação infravermelha, de volta para a atmosfera, para, então, ser retida pelos gases de efeito estufa (GEF).

Vemos assim que as emissões GEF, que intensificam o efeito estufa, associadas à degradação ambiental (desmatamento) podem ter um perigoso efeito no aquecimento do sistema Terra-atmosfera e, conseqüentemente, sobre o clima do nosso planeta.

Outra variável importante no estudo do meio ambiente é o índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI (NDVI vem da sigla em inglês *Normalized Difference Vegetation Index*). “O NDVI é o índice de vegetação mais amplamente usado no processamento de dados de satélite, pois explora as propriedades espectrais da absorção da vegetação nos comprimentos de onda do visível”. (LIRA *et al.*, 2010, p.158). O mesmo é calculado com base na refletância, isto é, uma propriedade dos objetos de refletir a radiação eletromagnética sobre eles incidente e é expressa por meio dos fatores de refletância (ρ). (PONZONI; SHIMABUKURU; KUPLICH, 2012, p.22).



A refletância espectral da vegetação verde sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível e a região do infravermelho próximo, e quanto maior for o contraste, maior vigor terá a cobertura vegetal. (PONZONI; SHIMABUKURU; KUPLICH, 2012, p.89). É possível avaliar a vegetação por SR estimando índices de vegetação – a exemplo do NDVI, a partir das informações registradas para essas duas regiões do espectro eletromagnético. As plantas absorvem radiação solar visível (na região do vermelho, pela ação da clorofila) e refletem pelas estruturas celulares das folhas na região do infravermelho próximo.

Até aqui nos ocupamos com a introdução de um conjunto de conceitos, físicos e de SR, pois eles serão necessários para que se compreenda e se consiga fazer uso do SR.

5. ESTIMATIVA DAS VARIÁVEIS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Nesta seção são abordadas as equações utilizadas para as estimativas da ROL e do NDVI, usando dados provenientes do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que está a bordo do satélite Terra⁹.

Ao receber a radiação solar, como já mencionado, a superfície terrestre aquece e emite radiação de ondas longas (ROL) para a atmosfera de acordo com a Lei de Stefan-Boltzman. A ROL da superfície, emitida por cada pixel da imagem - $RL\uparrow$ (Wm^{-2}) é calculada segundo a equação de Stefan-Boltzmann (Equação 1):

$$R_{OL} = \varepsilon_{\lambda} \sigma T_s^4 \quad (1)$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$); ε_{λ} é a emissividade de cada pixel e T_s é a temperatura da superfície (K), contidas no produto obtido do sensor MODIS. Lembramos que os procedimentos para baixá-las e inseri-las na Equação 1 estão descritos em detalhe em Santos *et al.* (2018), para o caso de o leitor pretender efetuar o seu próprio processamento para um local de estudo específico. Do contrário, nada impede que os dados aqui já trabalhados sejam utilizados como exemplo em situações didáticas.

Por essa equação (Equação 1) notamos que há uma relação direta entre a emitância radiante (ε_{λ}) e a temperatura (T_s), e que essa relação não é linear, ou seja, um pequeno aumento da temperatura representa um grande aumento na emissão de radiação. (BAPTISTA, 2012, p.47). A emissividade de um objeto é função de uma série de fatores, tais como cor, composição química, rugosidade da superfície, umidade, entre outros. (BAPTISTA, 2012, p.52). Assim, essa é uma variável que pode ser utilizada para estudos de meio ambiente, pois diferentes superfícies (por exemplo, superfícies muito vegetadas, pouco vegetadas, asfalto, entre outras) apresentarão diferenças em seus valores de emissividade.

Assume-se que, por definição, a emissividade de um corpo negro, que é um emissor (e absorvedor) perfeito, é igual a um. Então, para corpos reais essa emissividade representa a medida da eficiência de emissão termal tomada em relação à eficiência (que é máxima) de um corpo negro. Assim, por exemplo, $(\varepsilon_{\lambda}) = 0,9$ significa que o alvo/material, a temperatura dada e

⁹ Santos *et al.* (2018) apresentam detalhes técnicos como as características do sensor utilizado, metodologia de busca e processamento das imagens. Para o processamento pode ser utilizado o software livre QGIS, cujo passo-a-passo está devidamente detalhado para quem desejar reproduzir a metodologia no seguinte endereço eletrônico: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v29n3.pdf. Acesso em: 20 set. 2021.



no comprimento de onda λ emite 90% do fluxo que seria emitido por um corpo negro na mesma temperatura. (LORENZZETTI, 2015).

O NDVI é um índice que permite fazer análises sobre a cobertura vegetal de uma região. Seu valor varia de "-1" a "1" e quanto maior o valor, maior é a presença de vegetação. Valores de NDVI > 0 indicam solo ou vegetação, já NDVI ≤ 0 indicam água ou neve. (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007). Seu cálculo é dado pela razão entre as diferenças na refletividade das bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma delas (Equação 2):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (2)$$

onde as refletâncias são obtidas de dados do satélite.

6. RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Nesta seção são apresentados alguns resultados que exemplificam como a utilização das imagens de satélite para trabalhar conteúdos da física pode ser aplicada para distintas regiões, com o intuito de se levar a uma reflexão sobre a educação ambiental em sala de aula. Foram analisadas duas áreas de estudo, a primeira se localiza no estado do Ceará e compreende a mesorregião do Sul Cearense a segunda é a mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. Embora tenham características completamente diferentes, o uso das imagens associado ao conhecimento da localidade pode se constituir em um importante material para reflexão a respeito de ações antropogênicas no meio ambiente.

As possibilidades para trabalhar com as imagens são muitas, tudo vai depender dos objetivos pretendidos. Trazemos aqui esses dois exemplos, de duas regiões bem distintas, porém, o apelo para a preservação ambiental pode ser visto nos dois casos. No primeiro, após o processamento das imagens para a obtenção das variáveis ambientais, observou-se um destaque para a Floresta Nacional do Araripe, o que nos levou a focar as análises em torno da mesma. Já para o segundo caso, optou-se por focar em unidades de conservação ambiental, dentro da mesorregião metropolitana de Porto Alegre.

É interessante ressaltar que imagens dessas variáveis podem ser encontradas em *sites* de algumas instituições como o próprio INPE¹⁰ e a NASA¹¹ (*National Aeronautics and Space Administration*), no entanto em grandes escalas. Poder gerar essas imagens para dias específicos e regiões escolhidas representa autonomia para professores e estudantes em busca por trabalhar de forma mais próxima à realidade.

6.1. MESORREGIÃO DO SUL CEARENSE

Para a mesorregião do Sul Cearense¹² (Figura 1A) foram trabalhadas imagens referentes aos dias 29 de agosto dos anos de 2006 e 2016 com o intuito de obter informações e poder fazer

¹⁰ Radiação solar e terrestre. Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/>. Acesso em: 20 set. 2021.

¹¹ Radiação refletida e calor emitido (ROL) pela superfície terrestre. Disponível em: https://science.nasa.gov/ems/13_radiationbudget. Acesso em: 20 set. 2021.

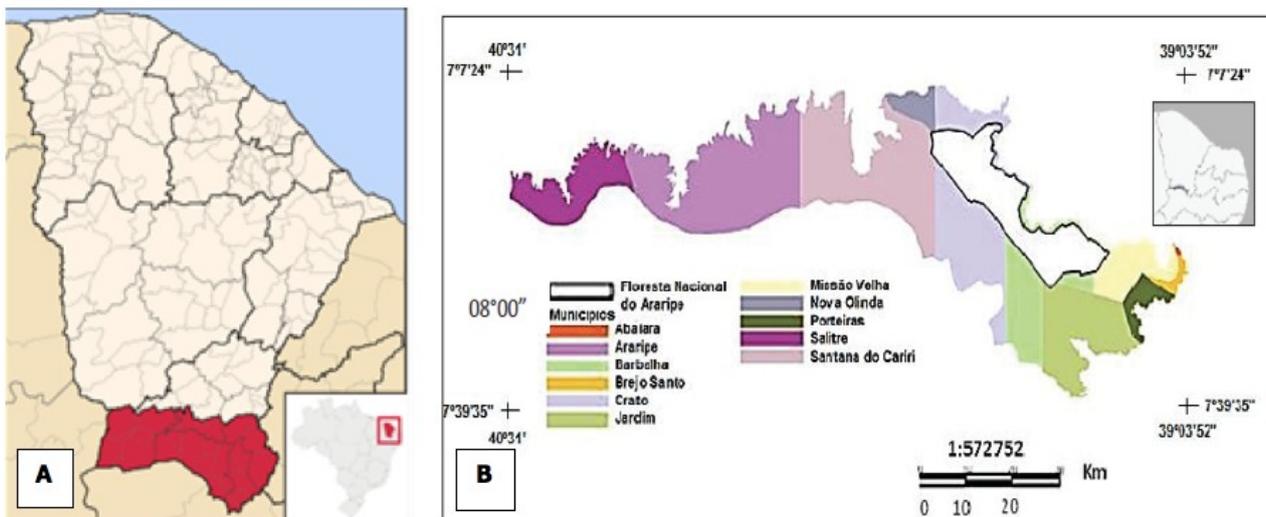
¹² Relembramos que os resultados aqui apresentados estão detalhadamente descritos em Santos *et al.* (2018), como também um tutorial para realizar o processamento das imagens para qualquer região de interesse.



comparações (nessas datas com intervalo de dez anos) acerca da temperatura, radiação emitida pela superfície (ROL) e do índice de vegetação (NDVI).

A Figura 1B, obtida do trabalho de Silva Neto (2013), apresenta a delimitação da Floresta Nacional do Araripe, que é uma unidade de conservação brasileira situada na Chapada do Araripe, ocupando uma extensa área que atravessa a fronteira dos estados do Ceará e Pernambuco. Podemos observar que a Floresta Nacional abrange partes dos municípios de Santana do Cariri, Jardim, Crato e Barbalha.

Figura 1 – Localização da área de estudo 1.



- A) Área compreendida pela Mesorregião do Sul Cearense, em destaque na cor vermelha;
 B) Limites estaduais com destaque para a Floresta Nacional do Araripe.

Fonte: A) Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mesorregi%C3%A3o_do_Sul_Cearense.
 Acesso em: 20 set. 2021; B) Silva Neto (2013).

A partir do processamento dos dados de satélites obtivemos as imagens de T_s , ROL e NDVI. Apresentaremos agora os resultados do processamento das imagens da mesorregião onde se localiza a Floresta Nacional. O primeiro passo foi obter a imagem da superfície (T_s) apresentada na Figura 2A, na qual a legenda em cores indica a temperatura em Kelvin variando em um espectro de até 20 graus de um extremo ao outro com cores azuladas indicando regiões mais frias e cores vermelhas regiões mais quentes. Nota-se que é possível identificar que existem diferenças consideráveis entre as temperaturas da região mapeada. De fato, analisando a região azul e os municípios em seu entorno e comparando com a Figura 1B, verifica-se que se trata da presença da Floresta Nacional do Araripe. Ou seja, a partir dos dados da temperatura da superfície podemos identificar a floresta e distingui-la de áreas possivelmente degradadas ou habitadas em seu entorno. Além disso, as duas imagens obtidas apresentam diferença de 10 anos (2006 e 2016). Analisando as imagens também vemos que existem mais regiões quentes em 2016 do que em 2006. Mesmo no entorno da floresta a temperatura se apresenta mais elevada e esse comportamento é mais acentuado para os municípios em destaque. De antemão, não podemos tirar muitas conclusões, pois as imagens representam a temperatura no momento da passagem do satélite e não uma média dos valores de um período. No entanto, algumas inferências podem ser tomadas ao se analisar as imagens do NDVI, adiante, relacionando-as aos valores de T_s e ROL.



Podemos estender essa análise para obter resultados para o fluxo de energia emitido pela superfície local por unidade de área – ROL (Figura 2B), novamente com imagens de 2006 e 2016. Lembrando que a ROL é obtida a partir dos processamentos das imagens de temperatura da superfície (T_s) e emissividade da superfície (ϵ_λ), utilizando a Equação 1. Analisando a Figura 2B podemos perceber com considerável nitidez a região delimitada pela Floresta Nacional do Araripe. As cores da legenda da figura identificam a intensidade de ROL por unidade de área. Assim, a cor branca indica regiões com menor intensidade de radiação emitida, enquanto que cores como a vermelha indicam regiões mais quentes. Claramente, a região branca da Figura 2A indica a Floresta Nacional. Além disso, vemos também que há consideráveis diferenças entre a ROL de 2006 e a de 2016, porém, essa análise será retomada adiante ao relacionar esses resultados aos valores do NDVI.

Fica evidente, a partir das imagens, que os valores mais baixos de temperatura ocorrem onde existe vegetação mais densa. Como a transmissão de calor entre a superfície e a atmosfera ocorre de baixo para cima, condução e convecção¹³, o tipo de superfície afeta a temperatura do ar e o conforto térmico será maior em regiões mais vegetadas, que recebem uma menor quantidade de calor da superfície, isso porque a energia recebida do Sol é “bem” distribuída para a realização de diversos processos físicos e biofísicos (como evaporação da água, fotossíntese), sendo, então, uma quantidade menor destinada ao aquecimento do solo.

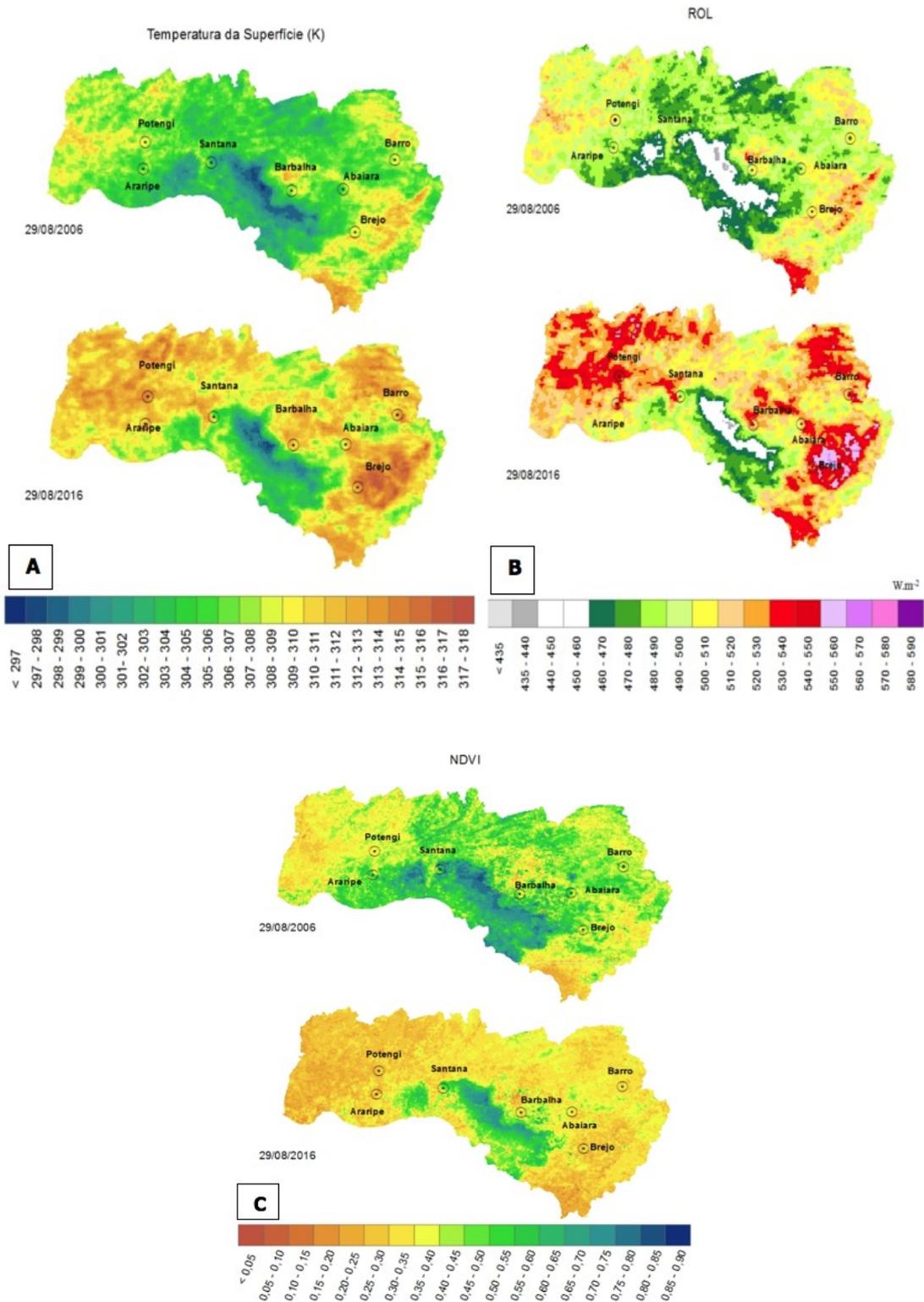
Finalmente, com base nas imagens de refletância da superfície, foi estimado o NDVI da região, apresentado na Figura 2C. A partir das imagens, pode-se notar uma diminuição dos valores do NDVI nesse intervalo de dez anos, tanto para a Floresta Nacional do Araripe (redutos de mata atlântica) como para a mesorregião como um todo. Esse fato não pode ser considerado um efeito, apressadamente, de degradação ambiental. A maior parte da vegetação que compõe a região é a Caatinga, extremamente dependente do regime de chuvas e que apresenta, rapidamente, grande exuberância já no início do período chuvoso e aspecto seco e sem folhas no término das chuvas, que ocorre nos meses de dezembro a abril. Para uma análise mais detalhada seria necessário estudar um maior número de imagens, abrangendo diferentes períodos do ano nesse intervalo de tempo. O intuito, no entanto, é o de correlacionar essas variáveis analisadas entre si, observando a relação inversa entre (T_s) e NDVI, já que em onde ocorrem menores valores de temperatura temos maiores valores de NDVI, como na localização da Floresta Nacional do Araripe.

Como não trabalhamos um número maior de imagens, não correlacionamos com outros dados (como chuva, por exemplo) nem fizemos tratamento estatístico, por não ser esse o foco do presente trabalho. Ao se fazer uma comparação com o trabalho de Silva Neto (2013), podemos levantar algumas questões. O autor, ao fazer uma análise das mudanças da cobertura vegetal da Chapada do Araripe Cearense, no período de 1975 a 2007, cita os municípios de Araripe, Abaiara e Brejo Santo entre os que tiveram as maiores perdas de cobertura vegetal nativa nos 32 anos analisados.

¹³ Na condução a energia é transferida de partícula para partícula, mas, como no ar as partículas estão mais distantes entre si do que ocorre nos sólidos e líquidos, a condução na atmosfera acontece somente muito próximo à superfície. Já a convecção é um processo de transferência de energia térmica muito importante na atmosfera, semelhante ao que ocorre em uma panela com água sendo aquecida: água no fundo da panela é aquecida por condução, expandindo-se e ficando com menor densidade do que a água ao seu redor, e então é forçada a subir, transferindo calor para a água mais fria acima. Na atmosfera as parcelas de ar próximo à superfície, quando aquecidas, tornam-se menos densas do que as parcelas ao seu redor e ascendem ou sobem, sendo substituídas por ar mais frio.



Figura 2 – Imagens obtidas com o processamento dos dados de satélite para a mesorregião Sul Cearense.



A) Temperatura da superfície (K); B) Radiação emitida pela superfície em $W.m^{-2}$. C) NDVI (adimensional).

Fonte: Elaborada pelos/as autores/as.



O autor ainda cita que o desmatamento se deu em virtude do aproveitamento da lenha, do carvão, do plantio de culturas e atividades extrativistas, desencadeadas pelo adensamento populacional que começou no séc. XIX sob a forte influência do Padre Cícero. Os resultados do presente trabalho corroboram o estudo de Silva Neto (2013) ao observarmos que na maior parte dos municípios destacados se teve uma diminuição do NDVI e, paralelamente, um aumento da temperatura da superfície. Esse tipo de análise pode ser também associado a entrevistas realizadas com a população da região e fotos antigas, entre tantas outras possibilidades para engajar os alunos no conhecimento de sua localidade interligado ao conhecimento científico que ele mesmo pode protagonizar.

Os resultados apresentados demonstram o potencial de uma das mais brilhantes contribuições do SR, razão pela qual sugerimos fortemente que ele possa ser inserido nos estudos da educação escolar como uma forma viável de dar sentido aos conceitos da física. O uso do SR pode servir de material instrucional auxiliar para trabalhar alguns conteúdos da física, entre os quais podemos destacar os mecanismos de transmissão de calor (condução, convecção e irradiação), o efeito estufa e ondas eletromagnéticas. Pode-se relacionar como esses processos ocorrem dentro da atmosfera e entre a atmosfera e a superfície, já que os tipos de superfície influenciam os valores de temperatura.

As imagens podem ser utilizadas também como material didático auxiliar no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos relacionados à educação ambiental. Explorando as relações entre a temperatura da superfície de uma região e a cobertura dessa superfície, pode-se inferir a respeito da importância da vegetação para manter baixos os valores de temperatura, contribuindo para amenizar o aquecimento do ar. Grupos de estudantes podem, utilizando o programa¹⁴, localizar qualquer coordenada geográfica dentro da área abrangida pela imagem para fazer as suas próprias análises de diferentes tipos de cobertura do solo, tornando-os agentes ativos de suas aprendizagens.

É possível utilizar o *software* em sala de aula para explorar com maior detalhe a área de estudo e tirar outras conclusões. Pode-se extrair os dados numéricos dos *pixels* das imagens e fazer gráficos de correlação entre as duas variáveis (Temperatura e NDVI), deixando evidente a correlação negativa entre as mesmas (atividades essas já mais indicadas para estudos mais avançados).

O êxito da utilização de dados de SR está em associar o conhecimento da área de estudo aos dados obtidos através do processamento. Como dito, o interessante dessa proposta está em incentivar os educandos a escolherem uma área de seus interesses, onde, por exemplo, tenham observado mudanças ao longo do tempo, e marcar as coordenadas desse local utilizando um GPS (*Global Positioning System*) e, a partir daí, fazer estudos variados. Pode-se baixar imagens dessa localidade e processá-las para gerar variáveis de interesse para análise. A própria temperatura da superfície e o NDVI, analisados em diferentes épocas, podem trazer importantes informações de mudanças locais; podem ser feitas relações entre diferentes variáveis, entre variáveis estimadas e dados já conhecidos da observação do próprio local, dentre tantas outras possibilidades.

Para uma aula de física cujo assunto seja energia eletromagnética discutir esses resultados obtidos no contexto do aprendiz, além de apresentar o espectro eletromagnético tal como em geral aparece nos livros didáticos, pode fazer muita diferença no engajamento dos estudantes para a

¹⁴ Reiteramos que todo o passo-a-passo para a utilização do *software* e o processamento das imagens está descrito em Santos *et al.* (2018).



aprendizagem. Sendo a Figura 2A uma imagem de radiação na região do infravermelho, além desta permitir enxergar um resultado proveniente da Equação 1, também oportuniza perceber que a energia (calor) emitida pela superfície depende do tipo de superfície. Como a cobertura dessa superfície vem sendo bruscamente alterada pelo ser humano, podemos chamar atenção e suscitar um debate crítico sobre a importância de nossas ações no meio ambiente.

6.2. MESORREGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

Foram estimadas as mesmas variáveis apresentadas para a mesorregião do Sul Cearense, agora para o estado do Rio Grande do Sul¹⁵. O estado gaúcho se apresenta dividido em sete mesorregiões (Figura 3A). Neste trabalho é dado destaque para a mesorregião Metropolitana de Porto Alegre (mesorregião 3, na Figura 3). As imagens trabalhadas são correspondentes a agosto de 2006 e agosto de 2016. A intenção inicial era trabalhar as imagens referentes ao dia 29 de agosto, como foi feito para a região cearense, mas a incidência de nuvens na Região Sul não permitiu a escolha dos mesmos dias para todas as imagens a serem processadas. Como na Região Sul as amplitudes térmicas anuais são elevadas, ao contrário da Região Nordeste, optamos por processar imagens também referentes ao mês de janeiro dos mesmos anos, isto é, de 2006 e 2016.

Como nosso interesse é comparar diferentes áreas dentro da região 3, apresentamos na Figura 3B um mapa das unidades de conservação do Rio Grande do Sul, tendo em vista observar os contrastes dessas áreas com seus entornos nas imagens de satélite que serão processadas.

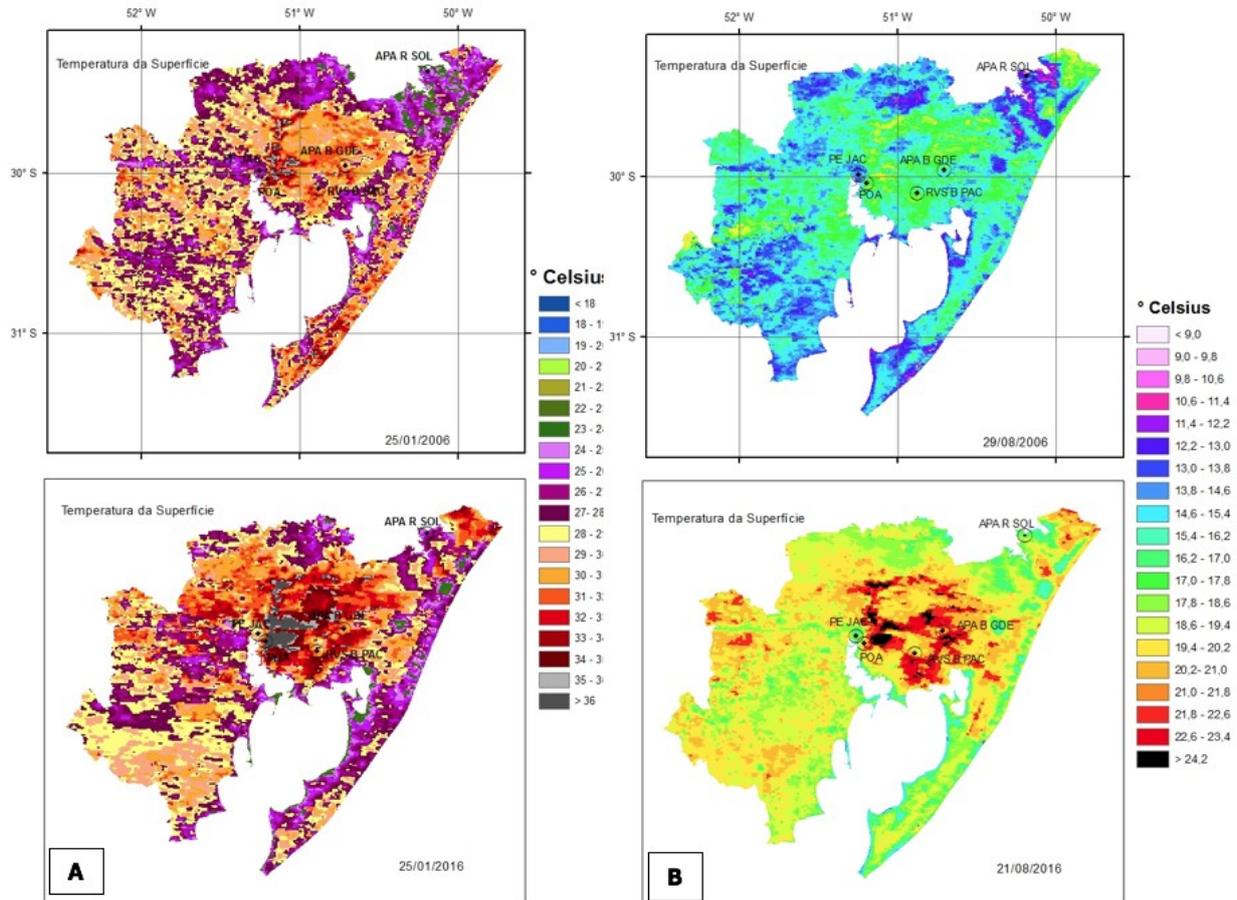
Enfatizamos, novamente, que o objetivo aqui não é o de realizar um estudo ambiental, como, por exemplo, investigar e quantificar causas e consequências da degradação ou desmatamento, senão o de apresentar os mapas das variáveis estimadas a partir dos dados do sensor MODIS, que são geradas a partir de equações e, assim, avaliar o comportamento dos alvos no que diz respeito às variáveis físicas e biofísicas, podendo-se observar que mudanças nessas variáveis podem dar indícios de alterações nas características desse ambiente, não necessariamente de degradação. Podemos dizer que seria uma maneira de enxergar “as coisas” usando física e tecnologia. A partir desse olhar, as suposições ou hipóteses devem surgir em conjunto (estudantes e professores), dependendo do recorte escolhido para ser estudado.

Uma análise preliminar, mas não conclusiva, das imagens geradas para a mesorregião Metropolitana de Porto Alegre permitem inferir que os valores de T_s , ROL NDVI sofreram alterações no período de dez anos. Com relação aos resultados para a temperatura da superfície (Figuras 4A e 4B), podemos observar que, para a região como um todo, as temperaturas se apresentam mais elevadas nas imagens de 2016 do que, relativamente, as de 2006. Interessante também observar que esse comportamento (elevação da temperatura) é o mesmo para as duas datas analisadas (janeiro e agosto, que representam, respectivamente, um dia de uma estação “quente” e outro de estação mais fria).

¹⁵ De forma idêntica, lembramos que os resultados aqui apresentados se encontram detalhados em Santos *et al.* (2018) e foram obtidos durante estudos de pós-doutorado da primeira autora, desenvolvido no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



Figura 4 – Temperatura da superfície (°C) para a mesorregião Metropolitana de Porto Alegre.



A) Para janeiro de 2006 e 2016; B) Para agosto de 2006 e 2016.
 Destaque para as unidades de conservação: Parque Estadual do Jacuí (PE JAC),
 Área de Proteção Ambiental Rota do Sol (APA R SOL),
 Área de Proteção Ambiental Banhado Grande (APA B GDE), Refúgio de Vida Silvestre
 Banhado dos Pachecos (RVS B PAC) e para a cidade de Porto Alegre (POA).

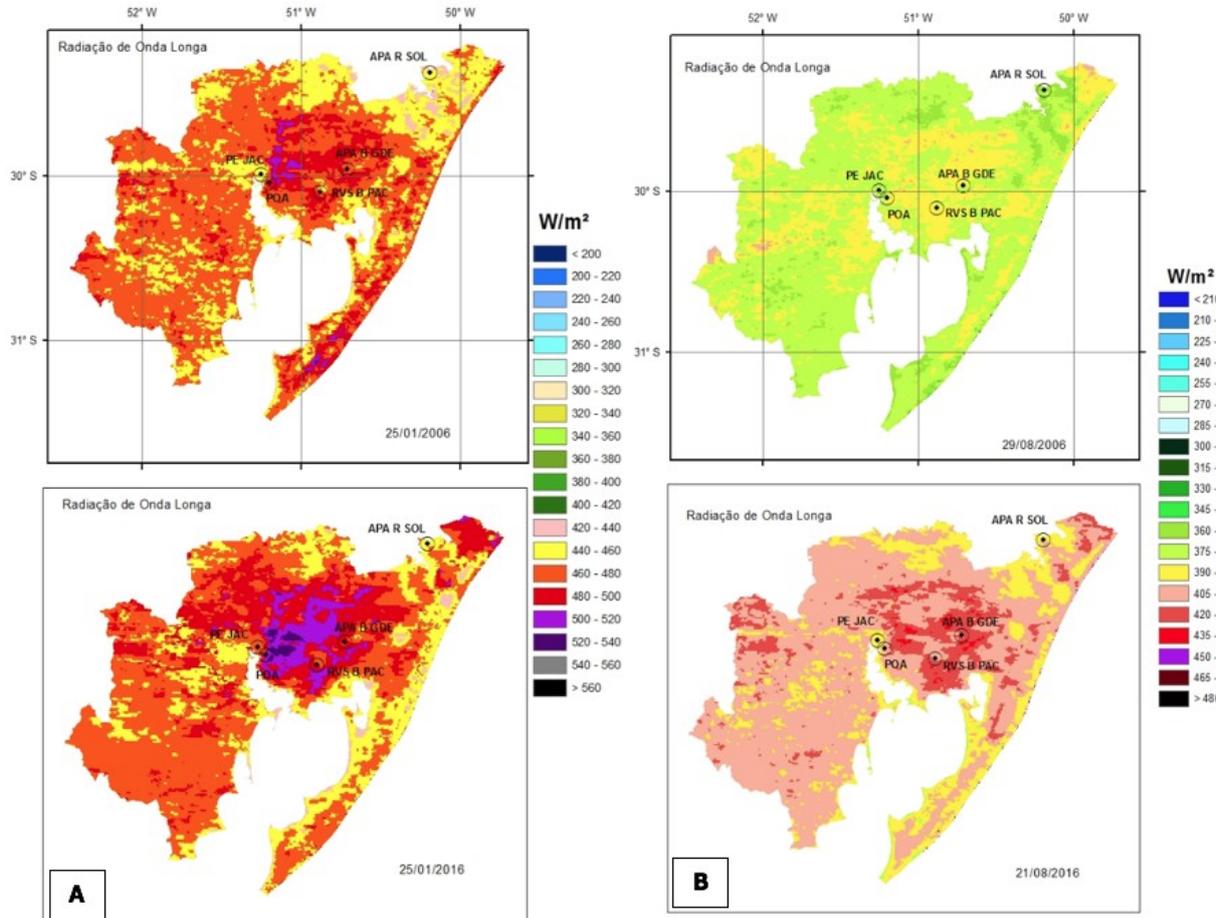
Fonte: Elaborada pelos/as autores/as.

Essa situação, apresentada anteriormente, relativa ao aumento da temperatura acarreta que mais calor é enviado para a atmosfera pela superfície mais quente, como pode ser confirmado pelos valores de ROL nas Figuras 5A e 5B. Esse resultado nos leva a refletir sobre a importância da vegetação nas trocas energéticas entre a superfície e a atmosfera e como essa energia é "aproveitada" de maneira diferente, a depender do tipo de cobertura da superfície. Mesmo analisando em diferentes estações do ano, com suas características específicas, esse comportamento pode ser observado. A menor quantidade de energia emitida por unidade de área (ROL) para as unidades de conservação sugere, então, a importância de se manter essas unidades de preservação ambiental.

Também é importante enfatizar que essas características podem ser distinguidas por causa das diferenças físicas nessas duas áreas, lembrando que estão sendo observadas não na região do visível, mas sim do infravermelho.



Figura 5 – Radiação de Onda Longa - ROL ($W.m^{-2}$) para a mesorregião Metropolitana de Porto Alegre.



A) Para janeiro de 2006 e 2016; B) Para agosto de 2006 e 2016.
Destaque para as unidades de conservação: PE JAC, APA R SOL, APA B GDE, RVS B PAC e para a cidade de Porto Alegre (POA)

Fonte: Elaborada pelos/as autores/as.

Para a mesorregião como um todo, o NDVI diminuiu dentro dessa mesma análise (Figuras 6A e 6B). Tais comportamentos são esperados, tendo em vista a crescente expansão das áreas urbanas, o que diminui a vegetação e aumenta a temperatura da superfície. Novamente, o comportamento tem o mesmo “padrão” tanto para estação “quente” quanto para a “fria”.

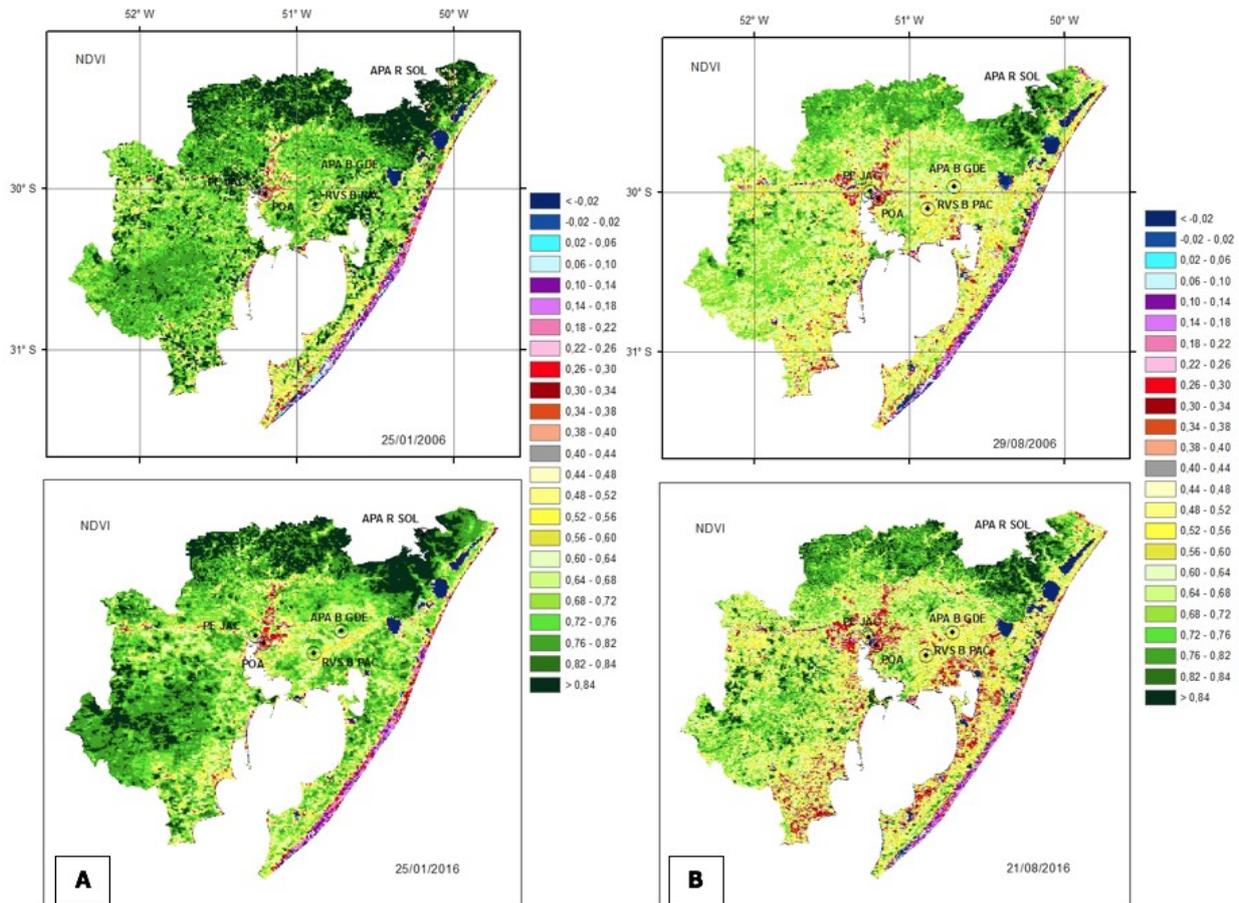
As imagens de NDVI sugerem que o motivo da área PE JAC se apresentar com maiores valores de temperatura em 2016 possa ser redução na vegetação. O NDVI nessa unidade de conservação se apresenta inferior a 2006 tanto na imagem de janeiro (Figura 6A) como na imagem de agosto (Figura 6B).

Talvez possamos inferir quanto ao comportamento diferenciado da APA R SOL a partir da imagem do NDVI. Como o entorno desse ponto se apresenta com elevado NDVI, seu comportamento não se destaca com relação aos valores de T_s e ROL, existindo uma grande extensão com valores mais amenos de temperatura. Se voltarmos à Figura 3B, podemos perceber que a APA R SOL está quase que completamente envolta pela Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA). Novamente os resultados sugerem a importância do papel da vegetação no balanço energético da superfície,



reforçando a necessidade de preservação do meio ambiente, o que inclui a manutenção de áreas de preservação ambiental, como já apresentado.

Figura 6 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (adimensional) para a mesorregião Metropolitana de Porto Alegre.



A) Para janeiro de 2006 e 2016; B) Para agosto de 2006 e 2016.
Destaque para as unidades de conservação: PE JAC, APA R SOL, APA B GDE, RVS B PAC e para a cidade de Porto Alegre (POA).

Fonte: Elaborada pelos/as autores/as.

O olhar para essas unidades de conservação poderia ser ampliado e poderíamos apresentar maiores detalhes. Contudo, como este é apenas um trabalho para instigar possibilidades, limitamos às análises aqui oferecidas, haja vista cada situação ou projeto direcionado pelo professor em seu contexto, com uso de imagens dessa natureza, poder tomar diferentes rumos e proporções. Porém, no geral, destacar a importância da manutenção dessas áreas de conservação dentro do conteúdo ministrado nas aulas amplia a perspectiva de conscientizar os alunos para preservação do meio ambiente. Paralelamente, dá subsídio a estudantes e professores para trabalharem projetos cujos resultados possam ser utilizados para o apelo perante os gestores públicos, o que pode proporcionar curiosidade, senso crítico e autonomia no processo de aprender.



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reiteramos a importância da discussão da temática ambiental em sala de aula, já normatizada pela Lei n.º 9.795, de 1999, que a determina em todos os níveis de ensino e em todas as disciplinas segundo as DCNEA destacam

Educação Ambiental envolve o entendimento de uma educação cidadã, responsável, crítica, participativa, em que cada sujeito aprende com conhecimentos científicos e com o reconhecimento dos saberes tradicionais, possibilitando a tomada de decisões transformadoras, a partir do meio ambiente natural ou construído no qual as pessoas se integram. (BRASIL, 2012, p.363).

Entendemos que análises de resultados como os aqui abordados ajudam a desenvolver a autonomia de professores e estudantes, permitindo experiências que os levem a um maior entendimento do seu ambiente natural e das relações do homem com a natureza.

Se levarmos em conta que imagens semelhantes aos resultados aqui apresentados podem ser encontradas em *sites* de instituições como a NASA ou o INPE, porém em grandes escalas que não os permitem analisar determinadas particularidades, incentivar a produção de material semelhante em escala local do estudante, além de permitir análises com uma maior riqueza de detalhes, gera autoconfiança e senso crítico. Também permite a autonomia de, a partir de seus resultados, professores e estudantes serem protagonistas de ações que apelem para a tomada de decisões dos gestores públicos e para a tomada de consciência da população de sua região.

A abordagem apresentada nesse texto constitui uma maneira possível de associar educação ambiental e ensino de física, haja vista que os resultados apontam para a importância da manutenção da vegetação para o equilíbrio nas trocas energéticas entre a superfície e a atmosfera, com regiões mais vegetadas apresentando menores valores de temperatura e, conseqüentemente, menores valores de radiação terrestre sendo emitidos para a atmosfera.

Essa proposta, como dito, pode se apresentar como uma alternativa para estender aspectos do conteúdo científico a fenômenos socioambientais que precisam estar em nossa agenda de preocupações enquanto educadores, problematizando o currículo de física para além da sala de aula. Tem também potencial para relacionar os conteúdos escolares com o contexto local em que vivem os estudantes agregando significado aos conceitos. Essa abordagem poderá discutir conteúdos de forma que a própria disciplina seja um instrumento para percepção dos fenômenos naturais no entorno dos estudantes, permitindo o desenvolvimento de "construtos" que incentivem ações de transformação do seu meio.

8. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, 2007.

BAPTISTA, G. M. M. Sensores Imageadores na Faixa do Termal (8 - 14 μm). In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB/CNPQ, 2012. p.47-56.



BRASIL. **Lei n.º 9795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. **Resolução n.º 2, de 15 de junho de 2012**. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental. Brasília: Ministério da Educação, 2012.

BRASIL. **Base Nacional Comum curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018.

CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J. VILCHES, A. **A necessária renovação do ensino das Ciências**. São Paulo: Cortez, 2011.

CAMPOS, A. T. C.; SAHEB, D.; CARVALHO, A. M. A Educação Ambiental nas propostas formativas dos cursos de Pedagogia: desafios e experiências desenvolvidas no estado do Paraná. **Ambiente & Educação**, v.22, n.2, p.47-64, 2017.

DELIZOICOV, D. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. p.125-150.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

FOEPEL, A. G. S.; MOURA, F. M. T. de. Educação ambiental como disciplina curricular: possibilidades formativas. **Revista da SBEnBio**, n.7, p.432-444, 2014.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N.T.; SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.5, p.125-151, 2018.

LIRA, D. R.; ARAÚJO, M. S. B.; SÁ, E. V.; SAMPAIO, B.; SILVA, H. A. Mapeamento e quantificação da cobertura vegetal do agreste central de Pernambuco utilizando o NDVI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, n.3, p.157-162, 2010.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2006.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios Físicos do Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MENESES, P. R. Princípios do Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB/CNPQ, 2012. p.1-31.

MILER, T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

MORAES, C. E. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. In: DI MAIO *et al.* **Sensoriamento remoto**: formação continuada de professores. Curso Astronáutica e Ciências do Espaço. Brasília: Agência Espacial Brasileira, 2008. p.3-12.

MORAES, L. E.; COSTA, M. P. G.; GEBARA, M. J. F. A educação ambiental e o ensino de física: uma análise de documentos legais. **Revista Tecnê, Episteme y Didaxis**: TED. n.extraordinario, 2016.

OLIVEIRA, G. S. de; SILVA, N. F.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas**: ensino fundamental e médio. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009. Coleção Explorando o Ensino. v.13.



PEREIRA, P. S.; FORTUNATO, I.; LOURENÇO, C. A Educação Ambiental em Periódicos Brasileiros de Ensino de Física. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v.11, n.2, p.127-138, 2016.

PONZONI, F J; SHIMABUKURU, Y E; KUPLICH, T M. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

REIGOTA, M. **O que é educação ambiental?** São Paulo: Brasiliense, 2009.

SOCZEK, D; HAIDUKE, I. Formação de professores e Educação Ambiental: reflexões e apontamentos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 11., 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PUC, 2013. p.30.154-30.167.

SANTOS, W. L. P.; CARVALHO, L. M. A dimensão política da educação ambiental em investigações de revistas brasileiras de ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.14, n.2, p.199-2013, 2014.

SANTOS, F.; MASSONI, N. T.; DANTAS, C. R. ; JUNGES, A. L. **Sensoriamento Remoto (SR) como formação ambiental na disciplina de física**. Porto Alegre: UFRGS, 2018.

SILVA, L. F.; CAVALARI, M. F.; MUENCHEN, C. Compreensões de pesquisadores da área de ensino de física sobre a temática ambiental e as suas articulações com o processo educativo. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.17, n.2, p.283-307, 2015.

SILVA NETO, B. **Perda da Vegetação Natural na Chapada do Araripe (1975/2007) no Estado do Ceará**. 2013. 186 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Ministério da Agricultura e Abastecimento, Instituto Nacional de Meteorologia. 2. ed. (versão digital), 2006. Disponível em: https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 20 set. 2021.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; DA SILVA, G. A. M. **Meteorologia noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

Submetido em: **01/07/2021**

Aceito em: **25/10/2021**