

QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NAS DINÂMICAS DE DIREÇÕES E ACÚMULOS DE FLUXOS: O USO DE MATERIAL CIENTÍFICO PARA O ENSINO DE GEOGRAFIA

QUALITY OF DIGITAL ELEVATION MODELS IN THE DYNAMICS OF DIRECTIONS AND ACCUMULATIONS OF FLOWS: THE USE OF SCIENTIFIC MATERIAL FOR TEACHING GEOGRAPHY

Camila Gardenea de Almeida Bandim
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Josiclêda Domiciano Galvínio
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

RESUMO

Modelos digitais de elevação são essenciais para a modelagem de direções e acúmulos de fluxos devido à extração de informação do terreno, podendo fornecer resultados relevantes. Os objetivos do presente trabalho se dão em calcular a acurácia e analisar o comportamento dos modelos para o processamento de direções e acúmulos de fluxo na cidade de Recife, e por fim, promover um projeto educacional através da ABP no ensino de geografia. A metodologia compreende o cálculo com os percentuais RMSE, Pbias e Person da acurácia dos MDEs SRTM-30, TOPODATA, SRTM - 90 e ALOS PALSAR em comparação ao PE3D. Nos resultados observou-se a excelência dos dados oriundos do SRTM-30, mesmo com resolução espacial muito maior, seguido com maior acurácia do TOPODATA e o SRTM-90 gerou fluxos grosseiros e inexatidão. Já o ALOS PALSAR exibe ressalvas devido à falta de dados no MDE, podendo os resultados estar superestimados. O projeto mostra a possibilidade de integrar assuntos acadêmicos à educação básica.

Palavras-chave: MDE; PE3D; Modelagem Hidrológica; Pesquisa e Educação.

ABSTRACT

Digital elevation models are essential for modeling flow directions and accumulations, due to the extraction of terrain information, which can provide relevant results. The objectives of the present work are to calculate the accuracy of the models, analyze the behavior of the models for the processing of directions and accumulations of flow in the city of Recife, and finally, to promote a didactic sequence with scientific material for basic education in teaching of Geography. The methodology comprises the calculation with the RMSE, Pbias and Person percentages of the accuracy of the MDEs SRTM-30, TOPODATA, SRTM - 90 and ALOS PALSAR compared to the PE3D. In the results, the excellence of the data from the SRTM-30 was observed, even with much higher spatial resolution, followed with greater accuracy by the TOPODATA and SRTM-90 generated coarse flows and inaccuracy. On the other hand, ALOS PALSAR exhibits caveats due to the lack of data in the MDE, which may result in overestimation. The project shows the possibility of integrating academic subjects into basic education.

Key-Words: MDE; PE3D; Hydrological Modeling; Research; Education.

1 Introdução

Os produtos obtidos através do sensoriamento remoto - SR e do geoprocessamento possuem uma grande gama de utilidades para a ciência. Os modelos digitais de elevação - MDE captados por sensores orbitais são a alternativa advinda do SR recorrentemente utilizada para suprir a necessidade de qualquer pesquisa. Áreas extensas e de difíceis acessos são possivelmente acessadas por razão desse produto (Valeriano, 2005).

O emprego desse produto é fundamental devido à extração de informação do terreno, podendo ser atribuído a uma diversidade de estudos, como por exemplo: modelagem climática (Moore et al., 1991; Thomas et al., 2004), mapeamento de vegetação (Oloughlin et al., 2016), Modelagem hidrológica (Walczak et al., 2016; Grohman, 2017; Soares; Galvêncio, 2020; Lima et al., 2021; Barros; Galvêncio, 2022), entre diversos outros.

A utilização de sensores mais precisos e com uma resolução espacial mais aproximada ao real possibilita que os produtos do sensoriamento remoto apresentem uma maior acurácia. Na vanguarda dos sensores mais precisos disponibilizados pelo mercado está o LiDAR (*Light Detection and Ranging*). No Brasil, o Projeto Pernambuco Tridimensional - PE3D utiliza a tecnologia LIDAR, com a missão de realizar varredura a laser e obter ortoimagens de alta resolução de toda a superfície territorial pernambucana (CIRILO et al., 2014). Entretanto, há uma grande gama de opções que podem ser utilizadas, principalmente de modelos gratuitos que são amplamente disponibilizados.

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), nome dado à missão de imageamento global da superfície terrestre por RADAR, resultou em MDEs de 90m e 30m, o primeiro inicialmente distribuído gratuitamente e o segundo, comercializado em 2014, passou a fornecer de forma gratuita os MDEs com maior resolução, obtidos pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS)¹.

No cenário nacional o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é responsável pelos modelos TOPODATA, tratando-se do resultado de uma reamostragem, por krigagem, dos dados SRTM que recobrem o território brasileiro (Valeriano, 2005). O portal da Embrapa, “Brasil em Relevo” se destaca nesta linha por também disponibilizar dados corrigidos do SRTM-90, de 90 metros de resolução, ampliando o leque de opções.

Ademais, tem-se o produto ALOS PALSAR, que se trata do projeto da Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), cujos dados são pré-processados e disponibilizados pela Alaska Satellite Facility (ASF), fornecendo imagens com resolução espacial de 12,5m. O projeto corrige a geometria e a radiometria dos dados obtidos por meio do sistema Radar de Abertura Sintética (SAR) oriundos da missão SRTM e National Elevation Dataset (NED), tornando -se mais uma opção para pesquisas.

Modelos digitais de elevação são alvos constantes para modelagem hidrológica. Mapas de direções e acumulação do escoamento superficial são gerados através dos chamados MDE's, identificando áreas com menor altimetria em relação aos pontos adjacentes, ou seja, possibilitam a visualização e identificação de

¹ Sigla em língua inglesa para *United States Geological Survey*.

áreas potencialmente suscetíveis a acúmulo de fluxos, é uma ferramenta extremamente útil para a gestão urbana (Bandim; Galvncio, 2020; Lima et al., 2021).

Grandes metrópoles como a exemplo a cidade de Recife, necessitam de atenção sobre os processos hidrográficos, em virtude da densidade urbana, esta interfere significativamente nas dinâmicas hídricas do terreno. A cidade mencionada é conhecida por seus belos mananciais, densa urbanização e também pelas recorrentes notícias sobre as altas pluviais e alagamentos (Bandim; Galvncio, 2020). Dessa forma, há a necessidade do uso de MDEs na modelagem hidrológica, proporcionando compreensão melhorada do funcionamento das direções das águas superficiais.

Materiais científicos produzidos com SR e Geoprocessamento, além de diversas outras técnicas, são bastante utilizados no meio acadêmico, como também pelas instituições públicas e privadas, com finalidade de promover um planejamento promissor para melhorias de seus interesses. Contudo, esse saber se expande além dos âmbito citados, alguns pesquisadores argumentam que as instituições vivem um processo de transformação no que diz respeito às suas funções sociais ligadas à produção e transferência de conhecimento para a sociedade (Oliveira; Velho, 2009).

Dessa forma, os resultados obtidos em pesquisas que envolvem diferentes tecnologias podem ser utilizados em ambientes além do meio acadêmico da Universidade (Ludker; Cruz, 2005). O ensino de Geografia deve incluir tais artefatos na metodologia, disseminar os conhecimentos acerca dos diversos produtos do SR e geoprocessamento é uma opção de ferramenta que pode ser aplicada para estudantes da educação básica, realizando-se as devidas adequações e nivelamento do conteúdo.

Diante do exposto, o presente trabalho possui o objetivo de calcular a acurácia dos MDEs (SRTM-30m, TOPODATA, SRTM-90m e ALOS PALSAR) através do percentual RMSE, Pbias e Person, em comparação ao dado referência LIDAR-PE3D. Analisar o comportamento dos modelos para o processamento de direções e acúmulos de fluxo na cidade de Recife, e por fim, promover um projeto educacional através da Aprendizagem baseada em projetos - ABP com material científico para o ensino de geografia na educação básica.

2 Material e Métodos

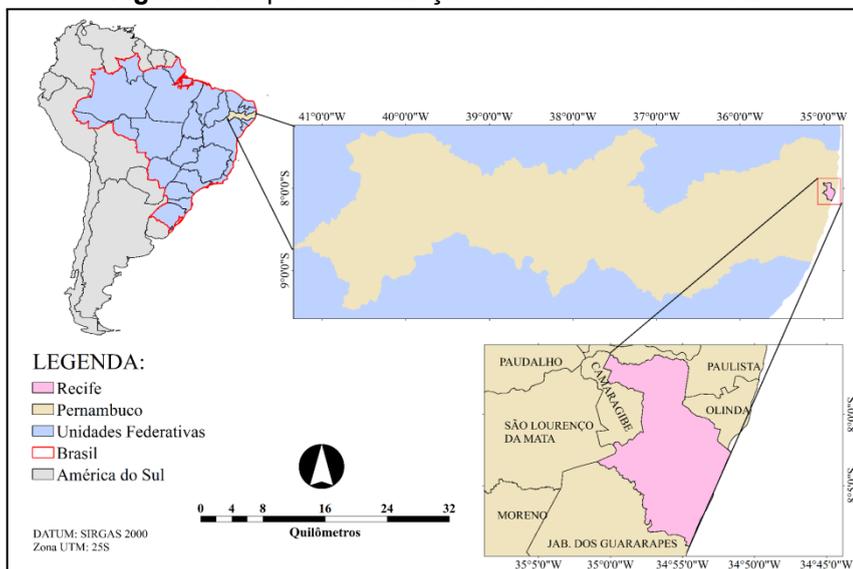
2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a cidade de Recife, capital do estado de Pernambuco. O município está situado nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 8° 3'28.22"S e longitude 34°52'58.43"W. Recife está localizada na zona litorânea do estado de Pernambuco. A metrópole faz fronteira com Olinda e Paulista, ao norte; ao sul, Jaboatão dos Guararapes; a leste com o oceano Atlântico e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe. A área total é de 218,843 km² (IBGE, 2010).

As condições geomorfológicas compreendem uma grande planície flúviomarinha que recebe influências marítimas e fluviais em sua drenagem natural, além disso, é circundada por morros adjacentes (Rocha, 2013), sendo um ambiente suscetível a confluência de águas.

O clima se caracteriza como As', segundo a classificação de Köppen, por predominar um clima quente e úmido, com fortes índices pluviométricos no período de outono - inverno (Ayoade, 1996).

Figura 1: Mapa de localização da cidade de Recife-PE



Fonte: Autora (2022)

Os principais sistemas atmosféricos que ocasionam ou inibem eventos pluviométricos na área de estudo são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Frentes Frias, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Linhas de Instabilidade, Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM's), Distúrbios Ondulatórios de Leste e Brisas Marinhas/Continentais (Ferreira; Mello, 2005).

2.2 Dados utilizados

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) e o MDE de referência apresentados no presente trabalho foram obtidos através das seguintes fontes: Light Detection and Ranging (LiDAR), elaborado pelo programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) e disponibilizado através Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS/PE); Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), adquiridos através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS); da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) mediante o projeto 'Brasil em Relevo; e do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do projeto TOPODATA; dados do sensor ALOS PALSAR obtidos por intermédio da Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) através do portal de dados de Facilidade de Satélite do Alasca (ASF). Informações referentes à resolução espacial, número de cenas e sítios eletrônicos para o acesso aos dados estão evidenciados na Tabela 1.

Tabela 1: Características dos dados brutos utilizados no estudo.

Fonte de	Resolução	Satélite/ Sensor	Quant. folhas/cenas	Acesso
PE3D	1 metro	LIDAR	49	(SEMAS/PE)
SRTM	30 metros	Shuttle Radar	1	EarthExplorer
SRTM	90 metros	Shuttle Radar	2	www.embrapa.br
SRTM	30 metros	Shuttle Radar	2	www.dsr.inpe.br
ALOS PALSAR	12,5 metros	ALOS	1	asf.alaska.edu

Fonte: Autora (2022)

2.3 Processamento dos dados

O pós-processamento foi realizado através do software de geoprocessamento ArcGis 10.2 - licenciado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO).

Nessa etapa os dados passaram pelo processo de mosaico das folhas e cenas, respectivamente, constituindo um mosaico MDE e em seguida foi retirada uma máscara referenciada da cidade de Recife, tanto para o LIDAR como para os demais produtos.

O processo seguinte se refere à avaliação da acurácia dos MDEs. Para isso foi necessário a geração de pontos automáticos aleatoriamente para a área de estudo com a aplicação Random Points, que pertence à ferramenta Data Management Tools, também do ArcGis. Esse método possui como base especificações de informações X e Y acoplados a triangulações executadas através da criação de triângulo de tamanhos diversos, que geram paralelogramos. Assim, podem ser gerados em uma janela de extensão, dentro de recursos de polígono, em características de ponto ou ao longo de características de linha (ArcGis, 2016). Desse modo, o presente trabalho limitou-se a 2.000 mil pontos (Random Points) com espaçamento de 2 metros referente a uma área de 218,50 km². O quadro 1 demonstra a sequência metodológica utilizada.

Quadro 1: Metodologia para extração de pontos.

ArcToolBox → *Data Management Tools* → *Feature class* → *Create Random points* → *output point feature class* (nomear saída) → *Constraining feature class* (adicionar o dado) → *Number of points* (número de pontos desejado) → *Linear unit* (valor do espaçamento em metros).

Fonte: Autora (2022)

Autores como Forkuor e Maathuis (2012), Walczak et al. (2016), Cunha et al. (2018), Silva et al. (2022) são exemplos de uso da metodologia citada. Este tipo de análise e mapeamento em áreas de grande escala tendem a ser custosos e de difícil realização, devido ao extenso território. Dessa forma, surgem métodos e práticas alternativas, como o Random Points, que podem reduzir os gastos e evitar a locomoção excessiva para estudos na área de pesquisa, comenta Achard et al. (2014), também usuário desse processo metodológico.

2.3.1 Comparação estatística dos Modelos Digitais de Elevação

O processo seguinte partiu da coleta como Random Points, posteriormente exportados para o editor Excel da Microsoft, dando início ao processamento estatístico, descrito a seguir.

A análise comparativa de estatísticas trabalha neste estudo os coeficientes de Pearson (r), Percent Bias (P Bias), Raiz do erro médio quadrático (Root Mean Square Error – RMSE). Além disso, também serão exibidas as estatísticas descritivas como os valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e gráficos de dispersão.

O coeficiente de correlação de Pearson é frequentemente empregado quando as variáveis em pesquisas são normalmente distribuídas. O intuito desse coeficiente é apontar o grau de relação entre duas variáveis, podendo ser uma correlação negativa (quando os valores estão próximos a -1), sem correlação (próximo a 0) e correlação positiva (quando os valores estão próximos a 1), retirado de Mukaka (2012). Representado por “ r ”, a formulação do coeficiente é definida pela Equação 1:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Onde: x e y correspondem às informações estudadas; \bar{x} e \bar{y} correspondem às médias das amostras.

Pbias ou Percent Bias corresponde ao percentual que permite a medida da tendência sobre os valores simulados serem maiores ou menores em relação aos valores observados. Sorooshian et al. (1993), definem que o limiar do Pbias é 0, sendo os valores acima de 0 indicando a superestimação e abaixo, a subestimação. A fórmula é determinada pela Equação 2:

$$\text{Pbias} = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (2)$$

Onde: S_i corresponde aos valores simulados e O_i , observados.

O Erro médio quadrático da raiz - Root Mean Square Error (RMSE) informa, de acordo com Barnston (1992), se os dados pesquisados estão em concordância com as informações de referência, sendo muito utilizado em diferentes trabalhos que

envolvem as ciências exatas e da terra. A Equação 3 representa a formulação do RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Onde: Pi corresponde aos valores pesquisados, Oi aos valores observados e n o tamanho da amostra.

2.3.2 Direções e acúmulos de fluxos (Flow direction and Accumulation D8)

Através do software de geoprocessamento no Arcgis 10.2, utilizou-se as máscaras raster para Recife de cada MDE (LIDAR, SRTM -30, SRTM - 90, TOPODATA e ALOS PALSAR), elaboradas anteriormente, sendo executados, um por vez, com a ferramenta Hydrology, sendo algoritmos do Spatial Analyst para análise Hidrológica. Tal aplicação permite a delimitação e criação de redes de drenagem diante de um algoritmo padrão sobre as células do MDE. Neste caso, utilizou-se, de forma automática, o Algoritmo de direção simples de fluxo D8.

O método supracitado é responsável pela geração de direção e acumulação de fluxo, que realiza uma varredura do fluxo associando e quantificando cada célula do raster em oito direções sobre o MDE preenchido. Dessa forma, determina o peso do conjunto das células e que fluem para cada célula de direção ou de inclinação inferior (ARCGIS, 2016). Na figura 3 é possível evidenciar uma representação de como ocorre a organização das células de direções e acúmulos de fluxo sobre um MDE.

Figura 3: Ilustração direção e acúmulo de fluxo



Fonte: Adaptado de Morais et al., 2013. **Legenda:** Imagem à esquerda = Representação das células de elevação; Imagem ao centro = Representação das células Flow Direction (direção de fluxo); Imagem a direita = Representação das células Flow accumulation (acúmulo de fluxo).

Quadro 2: Metodologia direções e acúmulos de fluxo superficial.

ArcToolBox → *Spatial Analyst* → *Hydrology* → *Fill* (Preenche pequenas imperfeições nos dados e remove todos os *sinks* do raster de superfície) → *Flow direction* (Gera um raster contendo a direção do fluxo de cada célula) → *Sink* (Cria um raster identificando todas as depressões, áreas de drenagem interna e vazios ou erro) → *Flow Accumulation* (O raster criado determina a acumulação de fluxo a partir do Flow Direction criado anteriormente)

Fonte: Autora (2022)

A metodologia se tornou indispensável para simular e analisar o comportamento do escoamento superficial em relação a cada modelo digital de

elevação deste estudo e com isso compreender as dinâmicas do escoamento superficial diante a topografia.

2.3.3 Proposta de Projeto:Desafios Interdisciplinares nos Espaços Geográficos.

Este tópico refere-se ao método utilizado para a abordagem educacional do trabalho, que visa integrar os resultados técnicos obtidos à prática docente de ensino de geografia. Dessa forma, se elaborou uma proposta de projeto através da metodologia ativa ABP - Aprendizagem baseada em Problemas, intitulado: Desafios Interdisciplinares nos Espaços Geográficos.

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é um método ativo que envolve os alunos na resolução de problemas do mundo real. Os estudantes exploram cenários complexos, colaboram em busca de soluções e aplicam o conhecimento de forma prática, promovendo habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas (Mamede (2001; Carvalho 2009).

Diante disso, busca-se associar os resultados relacionados aos mapas de relevo e direções e acúmulos de água com dados LIDAR para a compreensão da dinâmica hídrica, e assim apontar as problemáticas. Isso permitirá aos alunos adquirir habilidades práticas e sensoriais relevantes sobre situações do cotidiano, enquanto contribuem para a resolução pessoal de problemas reais relacionados à acumulação de água/ alagamentos.

O intuito do projeto é integrar conteúdos acadêmicos ao ensino básico e capacitar os alunos a compreenderem questões geográficas complexas, especificamente voltadas a águas superficiais urbanas na cidade de Recife. Para alcançar esse objetivo, a metodologia adotará uma abordagem interdisciplinar, incorporando produtos científicos providas do geoprocessamento, ferramenta essencial na análise espacial e seguirá o modelo segundo Leite e Afonso (2001) e Leite e Esteves (2005):

- Contexto problemático:
- As questões-problema:
- A resolução dos problemas:
- Apresentação do resultado e autoavaliação:
- Avaliação:
- Autoavaliação docente

A metodologia utilizada torna- se essencial tanto para a organização como também para a construção de uma prática reflexiva que possibilita a reformulação de conceitos, a contestação de conhecimentos e que favoreça a participação crítica do educador, bem como uma posição ativa do educando, permitindo que o mesmo relacione a realidade vivida com os assuntos lecionados com uma metodologia tecnológica provida do ensino superior.

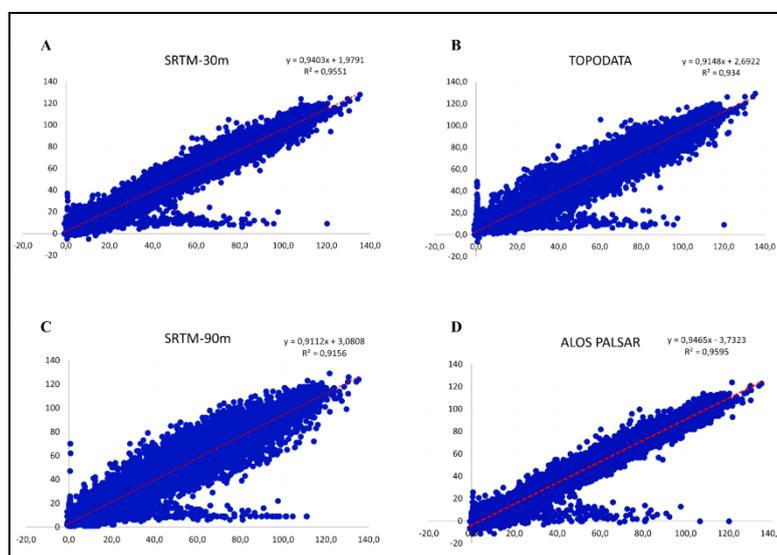
3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos através das metodologias utilizadas estão reunidos na figura 4 e tabela 3 e apresentam as informações de comparação altimétrica para

cada modelo digital de elevação - MDE diante ao dado referência do LIDAR - Pernambuco Tridimensional – PE3D.

A figura 4 apresenta os gráficos de correlação (A, B, C, D) obtidos para o local de estudo. Como dito anteriormente, essas parcelas são baseadas em uma seleção aleatória de pontos representando diferentes coberturas do solo. Os resultados indicam que todos os produtos experimentados possuem semelhantes coeficientes de correlação com o MDE de referência, exibindo, assim, resultados positivos. O coeficiente de Pearson é responsável por determinar o grau de correlação, ou seja, correlações positivas, negativas ou nulas, e ainda por positivas fortes e fracas (MARTINS, 2014; SOUSA, 2019).

Figura 4: Comparação da correlação entre os modelos específicos (SRTM-30, TOPODATA, SRTM - 90 e ALOS PALSAR) em relação ao modelo de referência LIDAR -PE3D para a cidade do Recife.



Fonte: Autora Legenda: Linha tracejada vermelha (um para um).

A correlação de cada produto foram as seguintes: SRTM - 90 ($R^2 = 0,9156$); TOPODATA ($R^2 = 0,934$), SRTM - 30 ($R^2 = 0,9551$) e ALOS PALSAR ($R^2 = 0,9595$). Levando em consideração apenas o R^2 , observa-se uma melhor correlação advinda pelo modelo referente ao ALOS PALSAR, seguido por uma mínima diferença do SRTM-30m, contudo os demais MDEs mostram correlações semelhantemente altas. A Tabela 3 apresenta outras informações comparativas sobre os modelos em pesquisa.

Tabela 3: Informações comparativas dos MDEs para a cidade de Recife -PE

MDE	Min	Max	Média	DesP	RMSE	Pbias	Pearson	Escala
PE3D	- 0,8	135,4	32,4	31,4	-	-	-	1:5000
EMBRAPA (SRTM-90)	1	129	33	29,9	9,126	0,645	0,956	1: 50.000
TOPODATA (SRTM-30)	- 6,4	129,2	32,3	29,7	8,092	-0,198	0,966	1: 50.000
USGS (SRTM-30)	- 5,0	128	32,4	30,2	6,673	0,145	0,977	1: 50.000
ALOS-PALSAR	-11	124	27	30,3	8,364	16,889	0,979	1: 50.000

Fonte: Autora (2022). Legenda: Min = Valor mínimo, Max = Valor Máximo. Média = média dos valores amostrais, DesP = Desvio Padrão da amostra, Escala = Escala indicada na pesquisa, Pbias = Percent Bias, RMSE = Erro médio quadrático da raiz, R = coeficiente de Pearson

Diante dos cálculos realizados, o PE3D apresenta mínima de -0,8; máxima de 135,4; média de 32,4; e desvio padrão 31,4, em uma escala de 1:5000. Diante disso e dos resultados citados, o produto obtido com o MDE utilizando-se o SRTM com 30 metros de resolução espacial, fornecido pelo órgão USGS, apresentou valores superiores aos demais MDEs. Os resultados foram: Pbias com valor 0,145; RMSE de 6,673 metros; com a média de 32,4, quando comparados aos de referência PE3D. Os melhores resultados são aqueles em que há um menor valor de RMSE, Pbias mais próximo de zero e Pearson (R) mais próximo de 1, tendo uma correlação positiva.

Ademais, a Tabela 3 contempla ainda os resultados dos demais MDEs. O SRTM TOPODATA de 30 metros de resolução obteve resultado Pbias de -0,198 e RMSE de 8,092 metros. O sensor ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial obteve um valor de Pbias de 16,889 e RMSE de 8,364 metros. O SRTM de 90 metros de resolução disponibilizado pela EMBRAPA obteve os seguintes resultados: Pbias de 0,126 e obteve o maior valor de RMSE dentre os itens apresentados (9,126 metros). Dentre os produtos supracitados, a medida referente ao coeficiente de Pbias do sensor ALOS PALSAR apresentou uma superestimação. Por outro lado, o SRTM disponibilizado pelo programa TOPODATA demonstrou uma subestimação do seu valor de Pbias. A escala indicada para os MDE's utilizados para comparação é de 1:50.000, enquanto que o LiDAR apresenta uma escala de 1:5.000, consequentemente apresentando um alto nível de detalhe aliada à elevada resolução espacial.

Diante dos resultados observa-se uma preferência pela utilização dos modelos provindos do SRTM. O modelo corrobora com diversas pesquisas ao redor do mundo que avaliam e aplicam este modelo. De acordo com Silva et al. (2022), nos últimos 10 anos os mais variados processamentos para diferentes campos da ciência optam pelo modelo digital de elevação provido do SRTM. Dessa forma, resultados satisfatórios são amplamente alcançados, como os apresentados a seguir:

Forkuor e Maathuis (2012) comparam os MDEs criados através dos produtos do SRTM e do ASTER para implicações na modelagem hidrológica e ambiental em duas regiões de Gana, na África. Os autores obtiveram uma melhor acurácia do SRTM (RMSE 4,95 metros) em relação ao ASTER (RMSE 5,46 metros). Na China, os autores Dong et al. (2015) compararam a acurácia dos modelos obtidos através do ASTER GDEM, do SRTM, e do DLR - SRTM e constataram maior qualidade do SRTM.

No Brasil, Grohmann (2017) avalia o modelo alemão TanDEM-X, em relação ao SRTM, ao ASTER GDEM e ao ALOS AW3D30, obtendo resultados consideravelmente relevantes. O estudo de Cunha et al. (2018) comparou os MDEs elaborados através do ALOS PALSAR e do SRTM, apresentando dados favoráveis ao SRTM. No agreste pernambucano, Silva et al. (2022) analisaram os modelos SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TanDEM-X, ALOS PALSAR e

ALOS AW3D30, utilizando como referência o PE3D, e corroborando com os resultados desta pesquisa.

Com a discussão apresentada anteriormente, percebe-se a acessão de análises comparativas também no Brasil com MDEs de alta resolução e a correlação positiva dos resultados com aqueles obtidos pelo SRTM. Igualmente para este trabalho é vantajoso seguir esta linha comparativa com dados PE3D, devido aos grandes avanços que esse projeto realiza dentre os campos científicos.

A correlação dos SRTM com o produto LIDAR-PE3D é indispensável, visto que a proximidade se torna essencial para constituição de planos de manejo e gestão de recursos naturais. Nesse sentido, quanto mais for a fidedignidade entre o modelo digital de elevação utilizado e o terreno a ser analisado, melhor será o planejamento ambiental (NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2020).

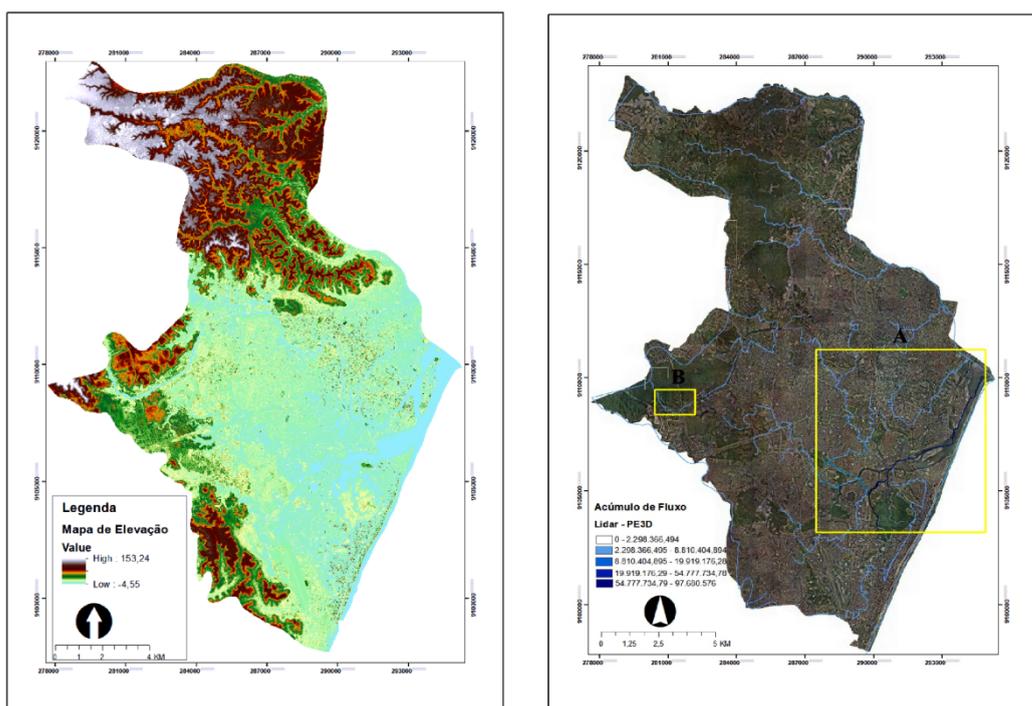
Contudo, para que essa relação se torne positiva de fato, é indispensável estar atento às escalas das localidades de aplicação. Walczak et al. (2016) descrevem que obtiveram respostas insuficientes para os dados SRTM paralelo ao LIDAR na análise hidrodinâmica, porém, reiteram que o dado é mais promissor para escalas menores em detalhes e maiores em território.

Mondal et al.(2017) concordam, concluindo que os DEMs com maior precisão do tipo LIDAR proporcionarão resultados mais precisos e reduzirão a incerteza para áreas menores futuramente.

Dessa forma, é fundamental aplicar os resultados estatísticos de acurácia dos modelos em um cenário real, para observar o comportamento dos mesmos. Assim, como anteriormente descrito, o processamento de direções e acúmulos de fluxos são parâmetros necessários para entender a dinâmica do escoamento superficial sobre uma área urbanizada, com isso, a análise comparativa de qualidade sobre o recorte espacial determina qual dado de elevação é mais indicado para o processamento de direções e acúmulo de fluxo e os dados estatísticos estão apurados.

Diante disso, os seguintes resultados são referidos à análise comparativa em relação às direções e acúmulos do escoamento superficial entre os MDEs do LIDAR - PE3D utilizados para referência em relação aos seguintes produtos: SRTM-30m; ALOS PALSAR; TOPODATA e SRTM-90m; demonstrados na figura 5.

Figura 5: À esquerda mapa de elevação; À direita mapa de acúmulos de fluxos LIDAR - PE3D para a cidade do Recife - PE.



Fonte: Autora (2022)

Os resultados evidenciam a alta resolução do modelo LIDAR através da maior consistência e pela riqueza em detalhes em alta definição na representação dos fluxos. O resultado do mapa de fluxo elaborado através dos dados LIDAR exibe uma malha refinada com uma cobertura do escoamento visualmente detalhada, sendo o resultado esperado sobre um dado com resolução de 1 metro (Figura 5) em uma área de aproximadamente 278 km². Hsu et al. (2000); Tsubaki e Fujita (2010); Ozdemir et al. (2013); Bandim e Galvêncio (2020), Soares e Galvêncio (2019) ressaltam, em seus estudos, que dados de alta qualidade promovem a obtenção de respostas satisfatórias e coesas. Os autores supracitados concluem ainda a excelência do detalhamento e precisão do sistema LIDAR, que possibilita a observação sensível para se obter resultados que possam mitigar os problemas relacionados à dinâmica hídrica.

Observa-se, ainda, na figura 5, que as direções e acúmulos de fluxo são notados em toda extensão da área, mostrando a boa cobertura do sistema PE3D. A maioria dos fluxos gerados é classificada como fraco. Os fluxos moderados não são visíveis no mapa e o fluxo classificado como forte destina-se à parte mais rebaixada da área. Percebe-se, ainda, o baixo reconhecimento sobre os acúmulos fortes, apresentando apenas um fluxo contínuo de acúmulo intenso por toda a área depressiva do modelo.

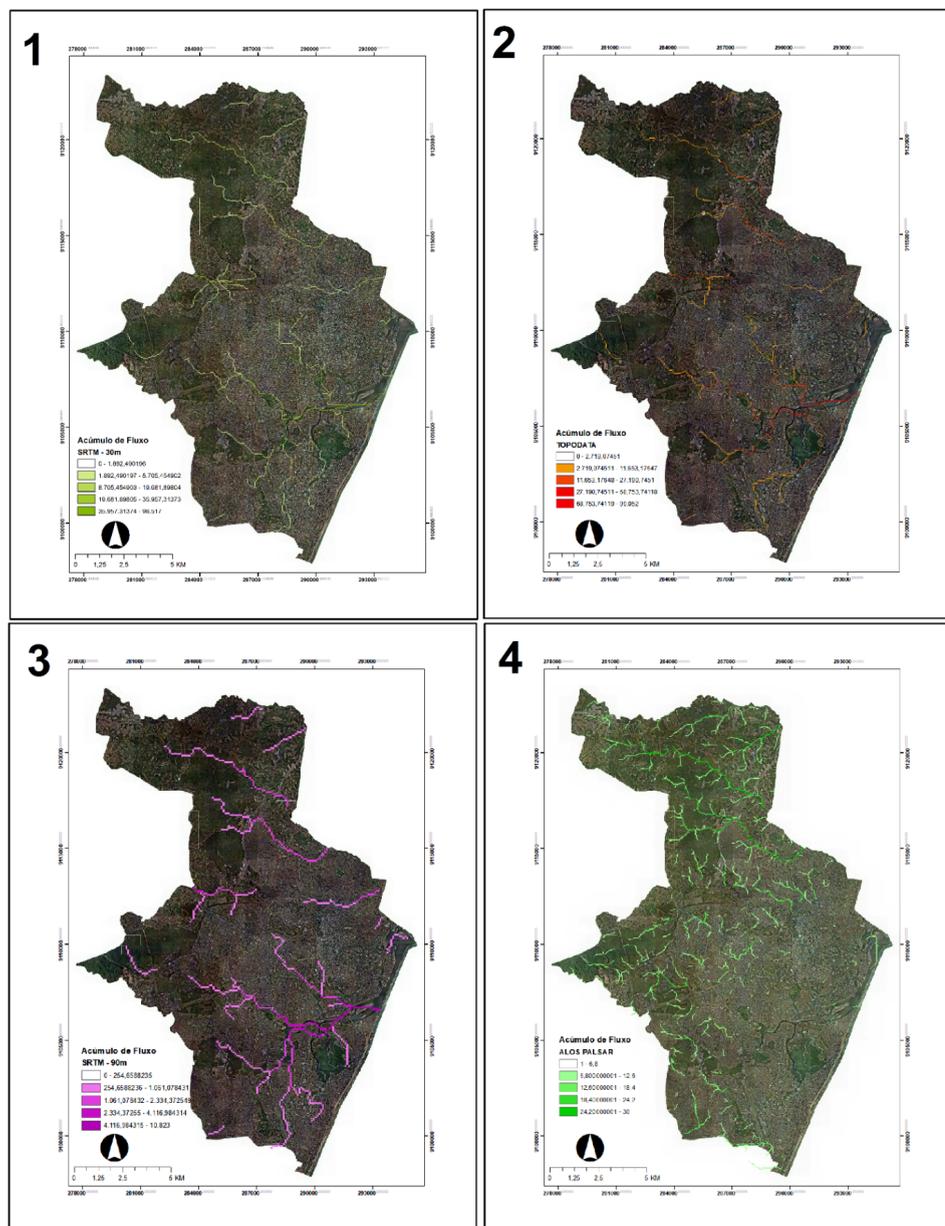
Tendo em vista que a topografia natural, artificial e a microtopografia conta como influenciadora sobre as características do escoamento e distribuição espacial, justamente pela sensibilidade dos dados utilizados, isso determina e modifica os padrões dos processos atuantes (Brow et al., 2007; Gallegos et al., 2009; Fewtreel et al., 2011; Sampson et al., 2012).

Dessa forma, deve-se ressaltar que dados mais sensíveis como o dado referência, captam todos os elementos presentes no perímetro e isso é um fator essencial para encaminhar o percurso do escoamento, contudo, estes podem ser

também responsáveis por possíveis cursos inversos, interrupções ou até erros na precisão, como destaca Barros e Galvínio (2022). Acrescenta-se, ainda, que o fator de escala interfere consideravelmente nesses possíveis problemas.

Os resultados correspondentes aos MDEs SRTM-30m, TOPODATA e o SRTM-90m apresentam-se de forma bastante semelhante em relação à distribuição dos fluxos e acúmulos, apresentando praticamente a mesma variação de intensidade dos fluxos. Os acúmulos suaves e moderados estão presentes por toda a área, tendo concentração maior das células direcionadas à parte noroeste do modelo, contudo, acúmulos intensos também estão presentes nas seções norte e oeste (Figura 6 - 1, 2, 3, 4).

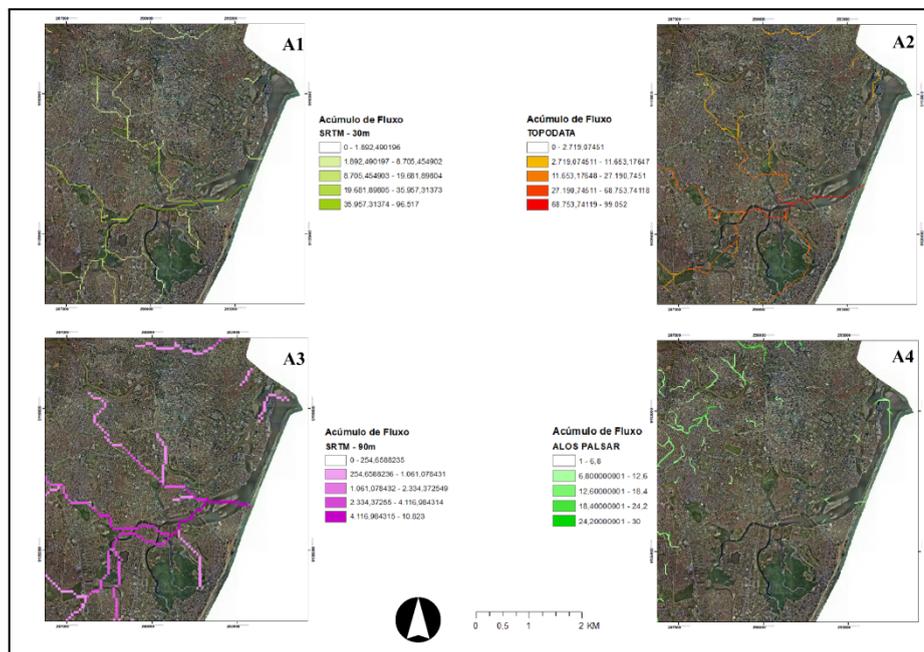
Figura 6: Direções e acúmulos de fluxo MDEs 1: SRTM-30m, 2: TOPODATA, 3: SRTM-90m e 4: ALOS PALSAR. para Recife - PE



Fonte: Autora (2022)

Salienta-se que dentre as malhas de representação da linha de fluxo, o SRTM-30m se sobressai exibindo uma maior precisão, principalmente na delimitação dos fluxos pertencentes ao rio Capibaribe (Figura 7-A1). O TOPODATA igualmente demonstra malhas relativamente refinadas, porém com pouco menos de precisão em relação ao dado anterior, visto que o percurso do rio Capibaribe não se apresenta coeso (Figura 7-A2). Todavia, os dados citados são os mais próximos àquela representação resultante do LIDAR. Quanto ao SRTM-90m observa-se que devido à resolução, a representação dos fluxos se mostra genérica e grosseira, com pouca exatidão e ausência de detalhes. Dessa forma, o produto proveniente do SRTM-90m torna-se confuso nos principais acúmulos intensos (Figura 7-A3).

Figura 7: Recorte A : A1-SRTM 30m; A2-TOPODATA; A3-SRTM 90m e A4-ALOS PALSAR para porção Noroeste da cidade de Recife-PE



Fonte: Autora (2022)

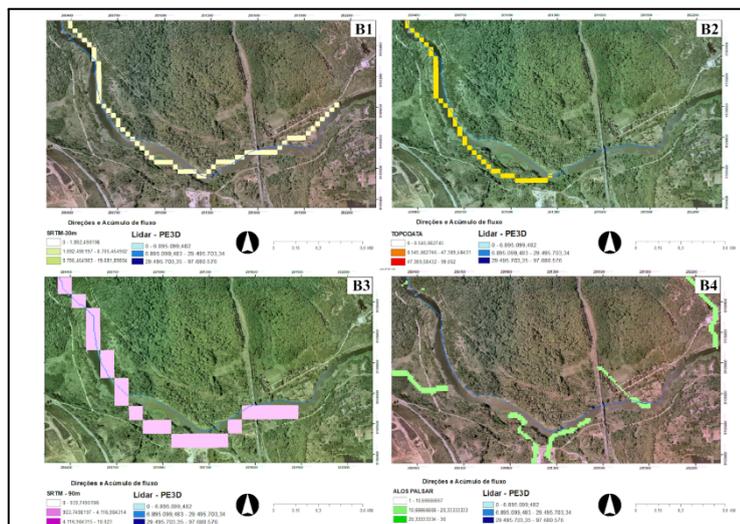
Considerando que dados SRTM fornecem uma boa representação da topografia, embora sua resolução espacial efetiva seja mais grosseira, sempre estão presentes entre as comparações, principalmente os com resolução de 30 metros, ressaltando a importância de dados gratuitos (Thomas et al., 2014). Schumann et al. (2008) afirmam que os SRTM's são fontes incontestáveis de informações sobre a altimetria do espaço, desde que estejam com o fator de escala adequado, e irão proporcionar resultados plausíveis, assim como verificado por Forkuor e Maathuis (2012) em suas pesquisas para análises ambientais e hidrológicas.

Entretanto, deve-se compreender que falhas ou erros posicionais são interesse essencial para aplicações, e tais fatores podem prejudicar diversas características do processamento, assim entende-se que quanto melhor o dado, melhor a resposta (Foote; Huebner, 1995). Soares e Galvêncio (2019) destacam que as interações comparativas com o Hydrology entre o LIDAR e SRTM-90m resultaram em respostas extremamente divergentes, havendo uma distância considerável entre a qualidade dos modelos.

Os resultados obtidos com o ALOS PALSAR apresentaram ausência de dados nas porções centro/nordeste/noroeste/leste do mapa, não sendo possível evidenciar direções e acúmulos de fluxo para essa área, como é possível observar na figura 7-A4. Segundo Morais (2017), esses vazios ou erros podem ser ocasionados devido à alta cobertura de nuvens e/ou falha na captação aérea do sensor, impossibilitando a coleta dos dados, entretanto imageamento por radar operam em comprimentos de onda maiores que os tamanhos das moléculas, “atravessado-as”, do modo que as mesmas não causam interferências na resposta captada pelo sensor. Reconhecendo isso, a análise volta-se para as direções leste e norte, compreendidas na Figura 6.

As direções e acúmulos de fluxos encontrados na porção leste são desconsiderados por estarem distribuídas de forma totalmente aleatórias, evidenciando a falta de um padrão de escoamento superficial. Em contrapartida, os resultados localizados ao norte, se mostram com uma boa distribuição, exibindo fluxos suaves a intensos. A delimitação dos fluxos em forma de ramificações, as malhas de resolução neste processamento se apresentam mais grosseiras que as SRTM-30m e TOPODATA, apresentando uma possível baixa precisão, se destoando significativamente do dado de referência LIDAR (Figura 8-B4).

Figura 8: Recorte B : B1 -SRTM 30m; B2-TOPODATA; B3-SRTM 90m e B4 ALOS PALSAR



Fonte: Autora

Visto as incertezas diante desses resultados, recorre-se ao trabalho de Capoane et al. (2022), que realizam o processo de geração de drenagem com diferentes MDEs, onde apontam uma subestimação do ALOS PALSAR para áreas com declividade suave e uma superestimação para declividades moderadas e/ou muito inclinadas. Com essa premissa, pode-se apontar que os resultados para a área norte estejam superestimados, pois o terreno da área apresenta uma alta declividade devido à presença de morros que marcam a paisagem.

Modelos que possuem uma resolução razoável não conseguem perceber por completo todos os elementos presentes no espaço, e é com essa falta que podem surgir as discrepâncias entre o posicionamento preciso dos canais (Garbrecht et al., 2001), ou como dito neste estudo, dos fluxos. Isso acaba se tornando um agravante

principalmente para áreas fortemente urbanizadas como Recife, visto que a sensibilidade do modelo é que permite melhor captar as interferências do terreno.

3.1 Proposta de Projeto: Desafios Interdisciplinares nos Espaços Geográficos

Integrar projetos baseados em pesquisas acadêmicas na escola assume um papel fundamental, pois oferece aos alunos a oportunidade de abordar questões reais e complexas, estimulando sua curiosidade e desenvolvendo habilidades de pensamento crítico.

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) oferece vantagens essenciais no processo de ensino aprendizagem. Esta mantém os alunos motivados e engajados, estimulando a curiosidade e a satisfação na aprendizagem (Souza; Dourado, 2015). Além disso, facilita a integração do conhecimento, fortalece o pensamento crítico e promove habilidades interpessoais, tornando-a valiosa para o ensino de Geografia e a exploração de questões geográficas complexas.

A crítica ao distanciamento entre a instituição formadora de professores e o contexto de atuação dos educadores é um desafio significativo na educação contemporânea. Muitas vezes, a formação acadêmica não reflete adequadamente as necessidades e realidades das salas de aula, deixando os professores despreparados para lidar com as complexidades do ensino (Lima Neto, 2023).

Nesse cenário, os projetos educacionais atuam como pontes que conectam as esferas teóricas da formação com a prática no ambiente escolar. Permitem que os professores apliquem conceitos e estratégias de forma concreta, adaptando-os às necessidades de seus alunos e do contexto específico em que atuam. Assim, os projetos se tornam uma ferramenta valiosa para aprimorar a formação e a eficácia dos educadores, promovendo uma educação mais contextualizada e eficaz.

Compreendendo essa discussão segue abaixo a proposta de projeto: Desafios Interdisciplinares nos Espaços Geográficos.

Proposta do projeto

A disciplina de Geografia, especialmente em um contexto como Recife, que enfrenta desafios cotidianos relacionados à geografia urbana e ambiental, demanda abordagens educacionais inovadoras para cultivar a autonomia e o pensamento crítico dos alunos. Nesse sentido, este projeto escolhe a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) como metodologia, destacando o protagonismo do aluno e o papel do professor como orientador, não detentor exclusivo do conhecimento. A ABP incentiva os estudantes a se envolverem ativamente na solução de problemas reais da cidade, permitindo uma aprendizagem significativa e a aplicação prática do conhecimento geográfico em situações concretas do cotidiano de Recife. O quadro 1 exhibe as normas educacionais proposta:

Quadro 1: Normas educacionais

Eixo temático	A Geografia e a Compreensão do Espaço
Público-alvo	1º ano do Ensino Médio

Competências específicas 1	Analisar processos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais nos âmbitos local, regional, nacional e mundial em diferentes tempos, a partir de procedimentos epistemológicos e científicos, de modo a compreender e posicionar-se criticamente com relação a esses processos e às possíveis relações entre eles.
Competências específicas 3	Contextualizar, analisar e avaliar criticamente as relações das sociedades com a natureza e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de soluções que respeitem e promovam a consciência e a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global
Habilidades(BNCC)	(EM13CHS106) Utilizar as linguagens cartográfica, gráfica e iconográfica e de diferentes gêneros textuais e as tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva
Habilidades(BNCC)	(EM13CHS301) Problematizar hábitos e práticas individuais e coletivas de produção e descarte (reuso e reciclagem) de resíduos na contemporaneidade e elaborar e/ou selecionar propostas de ação que promovam a sustentabilidade socioambiental e o consumo responsável.
Duração	1 bimestre letivo

Fonte: Bandim; Galvncio (2023)

Contexto problemático

A apresentação da temática o professor deve fornecer uma visão abrangente sobre o assunto, contextualizando-o de forma clara e envolvente. Isso pode ser feito através de dados estatísticos, imagens e exemplos concretos principalmente advindo do ambiente acadêmico (Figura 5), que ilustram a recorrência e os impactos desses eventos na cidade .

A confluência de águas superficiais na cidade do Recife são uma preocupação recorrente devido às complexas questões de relevo da região. A região possui uma topografia plana e baixa altitude, com grande parte de seu território localizado abaixo do nível do mar, tornando-a suscetível a inundações, especialmente durante períodos de chuvas intensas e marés altas. Além disso, o adensamento urbano e o déficit de infraestrutura de drenagem agravam essas problemáticas, impactando a qualidade de vida dos habitantes e requerendo

soluções de gestão hídrica e urbanística para minimizar os impactos dos alagamentos.

Para aproximar os alunos da realidade, é recomendado ainda utilizar materiais de jornais, páginas online e recursos similares, associando ao material científico, pois isso contribui para despertar o interesse.

Questões-problema

Nesta fase, após receber o cenário contendo os elementos informativos do contexto problemático, o professor orienta os alunos a formarem os grupos, com cinco ou seis componentes (de acordo com o número de alunos da turma), ressaltando que o docente exerce o papel apenas de orientar os procedimentos.

Para os alunos a chegarem à questão problema durante essa fase, o mentor de Geografia pode adotar algumas estratégias eficazes. Incentivando os estudantes a realizar uma sessão de brainstorming em grupo para gerar ideias e discutir possíveis questões relacionadas ao cenário apresentado, estimulando a criatividade e a colaboração entre os membros do grupo (Mônica, 2017). A orientação deve encaminhar os discentes a analisem cuidadosamente os elementos informativos fornecidos no contexto problemático. Eles devem destacar informações relevantes, como dados geográficos, causas dos alagamentos, impactos na comunidade, entre outros.

A promoção de discussões é essencial para que os alunos compartilhem interpretações dos elementos informativos e discutam questões emergentes. A orientação dos grupos na definição de objetivos e metas de pesquisa, incluindo a identificação do problema principal a ser abordado e a formulação de uma questão específica e clara sobre os alagamentos em Recife.

Resolução dos problemas

Durante esta fase, o professor de Geografia deve orientar os alunos de várias maneiras. Primeiro, se acompanha de perto as pesquisas dos alunos, oferecendo orientação e direcionamento a materiais científicos confiáveis, sites de órgãos credenciados e produtos de artigos científicos, para promover a aproximação ao meio acadêmico. Em seguida, incentiva a análise crítica das informações coletadas e promove discussões em grupo para compartilhar resultados e ideias. Além disso, o professor orienta os alunos na elaboração de soluções práticas para os problemas identificados, abordando tanto medidas de curto prazo quanto estratégias de médio e longo prazo. Por fim, ele ajuda os alunos a prepararem apresentações claras e eficazes para compartilhar suas descobertas com o grupo. Essas abordagens garantem que os alunos obtenham resultados significativos e desenvolvam soluções bem fundamentadas para as questões relacionadas aos alagamentos em Recife.

Apresentação do resultado e autoavaliação

Durante essa fase, o professor de Geografia desempenha um papel de auxiliar os grupos na elaboração de uma síntese organizada das reflexões e debates do grupo, destacando de forma sistemática as soluções para os problemas investigados. Além disso, o mentor oferece suporte na preparação da apresentação em slides, incentivando os alunos a criar uma exposição visualmente atraente e

informativa. Uma sugestão adicional é a inclusão de um mapa temático sensorial, que pode tornar a apresentação mais envolvente e esclarecedora, especialmente em um contexto geográfico.

No entanto, antes da apresentação final, é essencial realizar a autoavaliação, tanto grupal quanto individual. O professor deve estar presente durante esse processo, que permite que os alunos avaliem de maneira crítica seu próprio trabalho. Isso envolve a análise do que foi bem-sucedido e a identificação de áreas que podem ser aprimoradas. A autoavaliação é uma etapa importante para o desenvolvimento da autocritica e da habilidade de autorreflexão dos alunos, contribuindo para o aprimoramento contínuo de suas habilidades e conhecimentos.

Avaliação

O professor tutor avaliará o processo de aprendizagem, verificando se os conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais alcançados correspondem aos resultados concretos de aprendizagem significativa. O foco deve estar não apenas na correção dos resultados, mas também na compreensão da problemática e no entendimento das pesquisas científicas abordadas ao longo do processo, como também na capacidade dos alunos de aplicar o conhecimento em situações reais.

Autoavaliação docente

A autoavaliação do professor mentor na ABP é necessária, especialmente considerando o distanciamento muitas vezes existente entre as instituições formadoras e a realidade na prática docente nas escolas. Enquanto orienta os alunos ao longo do projeto ABP, o professor tem a oportunidade de refletir não apenas sobre sua própria prática pedagógica, mas também sobre como essa prática pode ser adaptada para atender às necessidades e desafios reais enfrentados pela geração vigente.

Esse processo de autoavaliação permite ao professor identificar lacunas entre a teoria acadêmica e a aplicação prática, bem como as dificuldades que os alunos enfrentam ao enfrentar problemas do mundo real. O professor pode, então, ajustar sua abordagem de ensino para preencher essas brechas e promover uma aprendizagem mais significativa. Ao fazer isso, o projeto ABP se torna uma tentativa valiosa de aproximar as instituições formadoras da realidade nas escolas, proporcionando uma oportunidade para que os professores revejam a importância de uma formação continuada e adaptada às demandas da prática docente atual.

4 Considerações finais

Dos resultados podemos considerar que a alta precisão dos dados fornecidos pelo programa Pernambuco Tridimensional serve como um arcabouço rico de informações a serem utilizados nos mais diversos campos da ciência. A análise pelos coeficientes de Pearson, de Percent Bias e pelo RMSE se mostrou bastante eficiente por proporcionar uma validação numérica que condiz com a variação dos sensores em comparação com o MDE de referência, corroborando em excelência com o processamento das direções e acúmulos de fluxos. O método possui a capacidade de ser aplicado para uma maior quantidade de sensores, ampliando o leque de estudos e discussões.

Os MDE's utilizados para a comparação deste trabalho apresentaram variações de acurácia em comparação com os resultados provenientes do LIDAR. O SRTM-30m e os dados do projeto TOPODATA apresentaram correlação positiva sobre as direções e acúmulos de fluxo em relação ao LIDAR, contudo o primeiro se sobressai sobre o segundo. O SRTM de 90 metros de resolução apresentou uma grande discrepância com o modelo de referência, devido ao fato de uma alta resolução espacial, que acaba generalizando as informações dos pixels e formulando uma malha grosseira para o ambiente estudado.

Por fim, os MDEs elaborados através do ALOS PALSAR exibiram uma grande variação de resultados na comparação com o MDE de referência, apesar de sua resolução espacial de 12,5 metros. Uma das explicações para a discrepância dos resultados do ALOS PALSAR se dá na possibilidade de uma alta taxa de cobertura por nuvens durante o dia de captura das imagens, o que resultaria em alterações nos valores obtidos pelos sensores.

Em relação ao projeto educacional Desafios Interdisciplinares nos Espaços Geográficos, podemos considerar que a ABP se revela como uma metodologia essencial na prática docente de Geografia, oferecendo uma abordagem dinâmica e eficaz para envolver os alunos na resolução de questões geográficas complexas. Além de promover a aprendizagem significativa e o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes, a ABP também desempenha um papel crucial na formação continuada dos professores. Ao acompanharem de perto o processo de investigação dos alunos e observarem como eles abordam a solução dos problemas propostos, os professores são incentivados a aprimorar sua própria prática pedagógica, adaptando-se aos novos desafios da aprendizagem. Assim, a combinação da ABP com materiais científicos fortalece o ensino de Geografia, tornando-o mais envolvente, relevante e eficaz, preparando tanto alunos quanto professores para enfrentar as complexidades do mundo geográfico em constante evolução.

5 REFERÊNCIAS

ACHARD, F., et al. Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. **Global Change Biology**, 20, ,2540–2554. 2014.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**, 4^a. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 1996.

BANDIM, C. G. A.; GALVÍNCIO, J. D. Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 058-067, 2021.

BARROS, J. P. F. B; GALVÍNCIO, J. D. Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do rio Una e Mundaú utilizando dados do LiDAR, Pernambuco 3D. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2671-2688, 2022.

BARNSTON, A. Correspondence among the Correlation [root mean square error] and Heidke Verification Measures. **Refinement of the Heidke Score**, 1992.

BROWN, J. D.; SPENCER, T; MOELLER, I. Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom. **Water Resources Research**, v. 43, n. 6, 2007.

CAPOANE, V. Sensibilidade geomorfométrica da drenagem e da superfície do terreno à fonte e à resolução espacial de modelos digitais de superfície e elevação. **GeoTextos**, [S. l.], v. 18, n. 1, 2022. DOI: 10.9771/geo.v18i1.48267. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/48267>. Acesso em: 20 out. 2022.

CIRILO, J. A. et al. Suporte de informações georreferenciadas de alta resolução para implantação de infraestrutura e planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 755-763, 2014.

CUNHA, C. et al. COMPARAÇÃO DOS MDES ALOS PALSAR E SRTM PARA APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS. **Anais do X Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão - SIEPE**, v. 10, n. 2, 2018.

SILVA, J. F.; MIRANDA, R.; CANDEIAS, A. L. B. Análise dos Modelos Digitais de Elevação (PE3D, SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TANDEM-X, ALOS PALSAR e ALOS AW3D30) e a necessidade da produção de dados altimétricos em excelência no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1543-1555, 2022.

NASCIMENTO, F. J. B.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação SRTM e LIDAR e suas aplicações em análises morfométricas. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 37, n. 1, 2020.

DONG, Y. et al. Accuracy assessment of GDEM, SRTM, and DLR-SRTM in Northeastern China. **Geocarto International**, v. 30, n. 7, p. 779-792, 2015.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: Reunião Técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro, BRA: EMBRAPA-SNLCS; 1979.

FEWTRELL, T. J. et al. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 36, n. 7-8, p. 281-291, 2011

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FORKUOR, G.; MAATHUIS, B. Comparison of SRTM and ASTER derived digital elevation models over two regions in Ghana-Implications for hydrological and environmental modeling. London: **INTECH Open Access Publisher**, 2012.

GALLEGOS, H. A.; SCHUBERT, J. E.; SANDERS, B. F. Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. **Advances in Water Resources**, v. 32, n. 8, p. 1323-1335, 2009

GARBRECHT, J. et al. and distributed watershed models: I, Data coverages and sources, **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 6, p. 506-514, 2001

GROHMANN, C. H. Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: Comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30. **Remote Sensing of Environment**, v. 212, p. 121-133, 2018.

HSU, M.; CHEN, S.; CHANG, T. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. **Journal of Hydrology**, v. 234, n. 1-2, p. 21-37, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**.

LIMA, A. S. et al. O uso dos dados lidar para a compreensão da dinâmica de escoamento e acúmulo de águas em Recife–PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 06, p. 3255-3278, 2021.

LIMA NETO, J. C. Desafios e possibilidades da prática como componente curricular na formação de professores de Geografia. *Revista Brasileira de Educação em Geografia*, v. 13, n. 23, p. 05-29, 2023

LÜDKE, M; CRUZ, G. B. Aproximando universidade e escola de educação básica pela pesquisa. **Cadernos de pesquisa**, v. 35, p. 81-109, 2005.

MARTINS, M. E. G. Diagrama ou gráfico de dispersão. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, 2014.

MONDAL, A. et al. Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs. **Geoscience Frontiers**, v. 8, n. 3, p. 425-436, 2017.

MONICA, A. Brainstorming: Thinking - Problem Solving Strategy. In: KUMAR, Manoj (Ed.). *International Journal of Engineering Research and Application*, v. 7, n. 3, p. 33-37, 2017.

MORAES, I. C. et al. Comparação de metodologias na definição de fluxos acumulados a partir de modelos digitais de elevação do terreno aplicado a suscetibilidade de inundações. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 223-235, 2014.

MORAIS, J. D. **AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PROVENIENTES DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE DISTRIBUIÇÃO GRATUITA**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.

MOORE, I. D; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 3-30, 1991.

MUKAKA, M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation in medical research. **Malawi Med J**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

O'LOUGHLIN, F. E. et al. A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. **Remote Sensing of Environment**, v. 182, p. 49-59, 2016.

OZDEMIR, H. et al. Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 10, p. 5903-5942, 2013.

ROCHA, A. C. P. **ANÁLISE MORFODINÂMICA E MORFOGENÉTICA DO INTERFLÚVIO DO MÉDIO CURSO DA MARGEM DIREITA DO RIO BEBERIBE** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco. 2013.

SANTOS, J. **ArcGIS 10.1: Super Análise Hidrológica com Spatial Analyst**. 2013.

SAMPSON, C. C. et al. Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. **Advances in water resources**, v. 41, p. 1-17, 2012.

SCHUMANN, G. et al. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 63, n. 3, p. 283-296, 2008.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3659-3674, 2020

SOROOSHIAN, S; DUAN, Q; GUPTA, V. K. Calibration of rainfall-runoff models: Application of global optimization to the Sacramento Soil Moisture Accounting Model. **Water resources research**, v. 29, n. 4, p. 1185-1194, 1993.

SOUSA, Á. Diagrama de dispersão, correlação e regressão linear. **Correio dos Açores**, p. 16-16, 2019.

SOUSA, I. B; NOVAES, A. R. **Futuros Caminhos Da Cartografia Escolar: O Uso De Novas Tecnologias Digitais No Ensino De Geografia**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), in. VIII COLÓQUIO DE CARTOGRAFIA PARA CRIANÇAS E ESCOLARES. Rio Claro, 2013.

SOUZA, S. C; DOURADO, L. G. P. Aprendizagem baseada em problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. 2015

THOMAS, J. et al. Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the Western Ghats, India. **Geoscience Frontiers**, v. 5, n. 6, p. 893-909, 2014.

TSUBAKI, R; FUJITA, I. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 24, n. 11, p. 1404-1420, 2010.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos, SP: **INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais**, 2004. 72 p. (Boletim, INPE-10550-RPQ/756).

WALCZAK, Z. et al. Estimation of polder retention capacity based on ASTER, SRTM and LIDAR DEMs: The case of Majdany Polder (West Poland). **Water**, v. 8, n. 6, p. 230, 2016.

6 AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que tornaram possível a conclusão deste trabalho:

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, apoiando e incentivando em cada etapa desta jornada acadêmica. Vocês são especiais. Aos amigos de Surubim, pelas conversas e descontração a cada volta ao Agreste.

Ao meu amigo e companheiro, Victor Gustavo. Seu apoio e companheirismo foram luz para enfrentar os desafios deste caminho, às vezes tão escuro, obrigada!

À minha orientadora, Josiclêda Domiciano Galvêncio, que com sua orientação, sabedoria e dedicação, guiou-me na construção deste trabalho e acompanhou-me desde do início da graduação. Suas contribuições foram inestimáveis. Ao coorientador, Jadson Freire da Silva, que também desempenhou um papel fundamental nesta jornada. Sua expertise e apoio foram cruciais para o desenvolvimento da pesquisa, obrigada!

Aos Ícones Geográficos, minha turma da faculdade, que compartilhou comigo inúmeras experiências e aprendizados ao longo desses anos. Ao grupo de amigas Geogirls e Geolindas, pelo apoio, amizade e momentos incríveis compartilhados ao longo da graduação, nunca irei esquecê-las.

Ao SERGEO - Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, à UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, ao Programa de Assistência/Moradia Estudantil da UFPE.

À FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco e à CAPES, pelos financiamentos e recursos que viabilizaram as pesquisas realizadas neste trabalho e nas pesquisas durante a graduação.

À todos meu profundo agradecimento. Este trabalho é fruto do esforço coletivo e do apoio recebido ao longo dessa jornada. Muito obrigado por fazerem parte desta conquista.

Orientadora: Prof. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio