

# **COMPARAÇÃO METODOLÓGICA DE AQUISIÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) DE TOPO DE MORRO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS BENGALAS (TERESÓPOLIS, RJ)**

## **INTRODUÇÃO**

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme estabelecido pelo Código Florestal (Lei 12.651/2012, Art. 3º), desempenham um papel crucial na proteção e conservação da vegetação, dos recursos hídricos e de outros elementos ambientais fundamentais. A identificação e delimitação dessas áreas são essenciais, pois elas atuam como barreiras naturais que contribuem para a prevenção e o monitoramento de desastres ambientais. Ao promover a conservação do solo e da cobertura vegetal, as APPs reduzem a ocorrência e a propagação de processos erosivos, especialmente a erosão laminar, que pode resultar na formação de ravinas, voçorocas, movimentos de massa e consequente degradação ambiental.

Embora o Código Florestal de 2012 (CF2012) estabeleça diferentes tipos de Áreas de Preservação Permanente (APPs), como as localizadas em topos de morro e faixas marginais de rios, ele apenas define os critérios necessários para sua existência, sem especificar uma metodologia para sua delimitação prática. No caso das APPs de topo de morro, o CF2012 determina que o terço superior de morros, montes e montanhas deve ser protegido quando esses relevos possuem: (I) altura mínima de 100 metros e (II) inclinação média superior a 25°. A altura mínima deve ser medida a partir da base dos morros, definida como “plano horizontal determinado por planície ou espelho d’água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação” (BRASIL, 2012). No entanto, como destaca Oliveira (2015), essa regulamentação apresenta duas lacunas importantes:

“(a) a definição do método a ser utilizado para a mensuração da declividade, assim como a quantidade de medições necessárias para calcular a média; e (b) a escala em que o mapeamento deve ser realizado, o que impacta diretamente na localização dos pontos de sela.”

Nesse contexto, o mesmo autor propôs uma metodologia que visava solucionar essas questões, permitindo a delimitação das APPs de maneira generalizada e reaplicável a diferentes áreas. No entanto, tal metodologia não considera as condições

geomorfológicas específicas das áreas em que é aplicada, uma característica essencial para identificar as APPs de forma coerente com o relevo local (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021; BORGES *et al.*, 2008). Para suprir essa lacuna, o Índice de Posição Topográfica (TPI) surge como uma alternativa promissora, pois possibilita a incorporação das características geomorfológicas ao ser analisado em conjunto com a declividade (WEISS, 2001; JENNESS *et al.*, 2013). O TPI avalia o terreno com base nos valores de elevação presentes no raster, revelando a variação altimétrica entre as células e permitindo a interpretação desses dados segundo critérios geomorfológicos (figura 1).

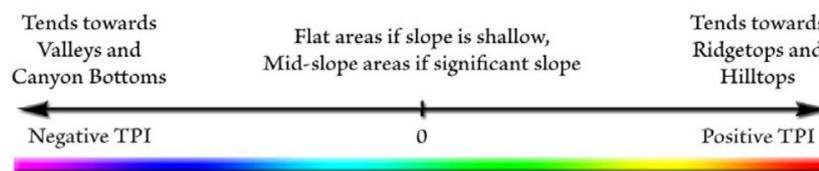


Figura 1. Representação dos Valores do TPI.

Fonte: Jenness (2013).

Superfícies mais aplainadas ou com pouca variação altimétrica apresentam valores próximos a zero no TPI, enquanto áreas localizadas em topos de morro, cumes ou colinas são associadas a valores positivos, por outro lado, os fundos de vale correspondem a valores negativos. Assim, a aplicação do TPI envolve o mapeamento dos valores mais altos, com o objetivo de identificar e classificar as áreas que correspondem aos topos de morro.

Diante disso, esta pesquisa incorporou o TPI na delimitação das APPs de topo de morro, com o objetivo de desenvolver uma metodologia própria que considerasse as características geomorfológicas da área. Ao integrar o TPI com as análises de declividade na bacia hidrográfica do rio das Bengalas, em Teresópolis (RJ), foi possível adicionar uma importante variável na identificação dessas áreas. Dessa forma, além dos critérios já estabelecidos, a inclusão das características geomorfológicas permite uma delimitação das APPs com maior precisão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Ao todo serão abordadas duas metodologias no presente trabalho, sendo uma por meio da combinação do Índice de Posição Topográfico (JENNES, 2013) com o subsídio da declividade, e outra pela aplicação adaptada da proposta elaborada na dissertação de mestrado de Oliveira (2015). Ambas foram confeccionadas nos Sistemas de Informação Geográficas (SIG), pelo *software ArcMap* 10.5 (ESRI ArcMap™, 2024) e a partir da comparação dos seus resultados, efetuou-se o diagnóstico metodológico.

A base de dados utilizada é a mesma para ambas e é decorrente do Projeto RJ 25 (IBGE/SEA) referente ao ano de 2008. O principal produto adotado foi o Modelo Digital de Elevação (MDE), que apresenta a abrangência espacial no pixel de 20 m x 20 m (400 m<sup>2</sup> de área). A proposta de mapeamento é de semi-detalhe em uma escala de 1:25.000, localizado na bacia hidrográfica do rio das Bengalas em Teresópolis (RJ).

### *Metodologia TPI e Declividade*

O TPI é calculado de acordo com a diferença entre a altimetria contida no valor do pixel central (P); e a média dos valores de outros pixels em um contexto de vizinhança desse mesmo pixel (p):

$$TPI = P - p \quad (\text{Equação 1})$$

A classificação do TPI foi feita segundo a função estatística *Natural Breaks* (JENKS, 1967) para cada um dos mapas, compondo no total 5 classes: fundo de vale, sopé de encosta, meia encosta, alta encosta e topo de morro.

O mapa de declividade, por sua vez, foi elaborado com auxílio da ferramenta *Slope3D Analysis* e gerado o resultado da declividade em graus. Foram estabelecidas cinco classes de inclinação, também segundo a ferramenta *Natural Breaks* (JENKS, 1967): de 0° a 11°; de 12° a 20°; de 21° a 24°; 25° a 39°; 40° a 72°. Apesar de serem estabelecidas 5 classes, o presente trabalho considera somente as áreas mais relevantes que configuram declividade acima de 25 graus. Diante disso, considerou-se para etapas posteriores as classes de: 25° a 39°, e de 40° a 72° como apenas uma unificada.

A delimitação das APPs denominadas de topo de morro foi confeccionada por meio da sobreposição de parte das classes dos mapeamentos anteriores: “topo de morro” e “alta encosta”, provenientes do TPI, e as classes acima de 25 graus de inclinação do mapa de declividade. A fim de que se pudesse realizar uma sobreposição dos mapas,

buscou-se individualizar as classes: topo de morro e alta encosta (presentes no mapa de TPI), bem como as classes de declividade acima de 25° de inclinação.

Assim, com as classes individualizadas foi possível efetuar a sobreposição das áreas de alta encosta com as declividades acima de 25°. Ao final, o mapa de APPs foi concluído ao aplicar a união entre o último resultado com classe individualizada de topos de morro do TPI. Segue abaixo o fluxograma do método de TPI e Declividade (Figura 2).

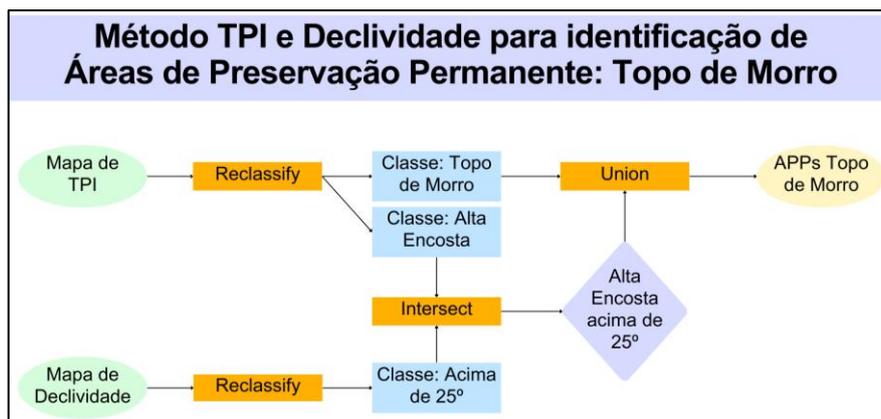


Figura 2: Fluxograma do método TPI.  
Fonte: Autores (2024).

### *Metodologia Oliveira (2015)*

A segunda metodologia foi desenvolvida por Oliveira (2015), e portanto serão exibidos apenas os nove passos estabelecidos (figura 3) pelo autor, sendo eles: delimitação da área limite de cada morro (A), localização dos pontos de topo das elevações (B), identificação dos pontos de sela (C), identificação dos pontos de sela mais próximos das elevações (D), delimitação da base do morro pela cota ponto de sela (E), cálculo da declividade média dos morros (F), mensuração da altura dos morros (G), delimitação do terço superior dos morros (H) e por fim a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (I).

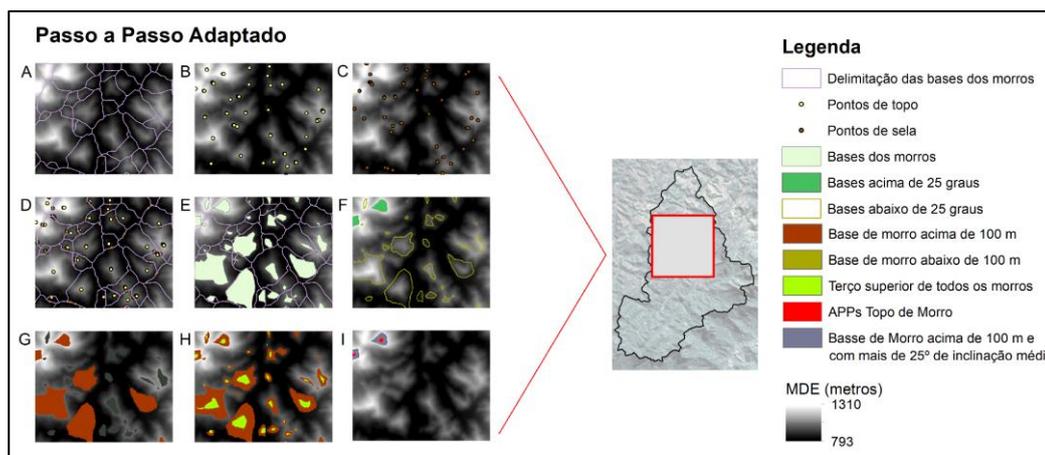


Figura 3: Nove passos para identificação de APPs, adaptados à bacia do rio das Bengalas - Teresópolis (RJ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As APPs identificadas pelo método 1 apresentam um resultado condizente com a geomorfologia da bacia (figura 4). O relevo regional é considerado montanhoso e escarpado e, segundo o mapeamento geomorfológico de Dantas (2000), é descrito como Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos. A serra é uma grande barreira orográfica com orientação WSW-ENE, e que no município de Teresópolis atinge altitudes de até 2.263m (Pedra do Sino). Por conta da geomorfologia local, a ocupação se deu inicialmente nos alvéolos intramontanos e, após o adensamento populacional, nas encostas (DANTAS *op. cit.*, 2000).

A área total encontrada foi de aproximadamente 34.109.721 m<sup>2</sup> subdividida em 818 polígonos identificados de maneira praticamente homogênea ao longo de toda a Bacia (tabela 1). Ao todo, as APPs de Topo de Morro identificadas, apresentam 25% da área total da bacia, dividindo-se entre: 18% pela classe topo de morro do TPI e 6% de Alta Encosta acima de 25°.

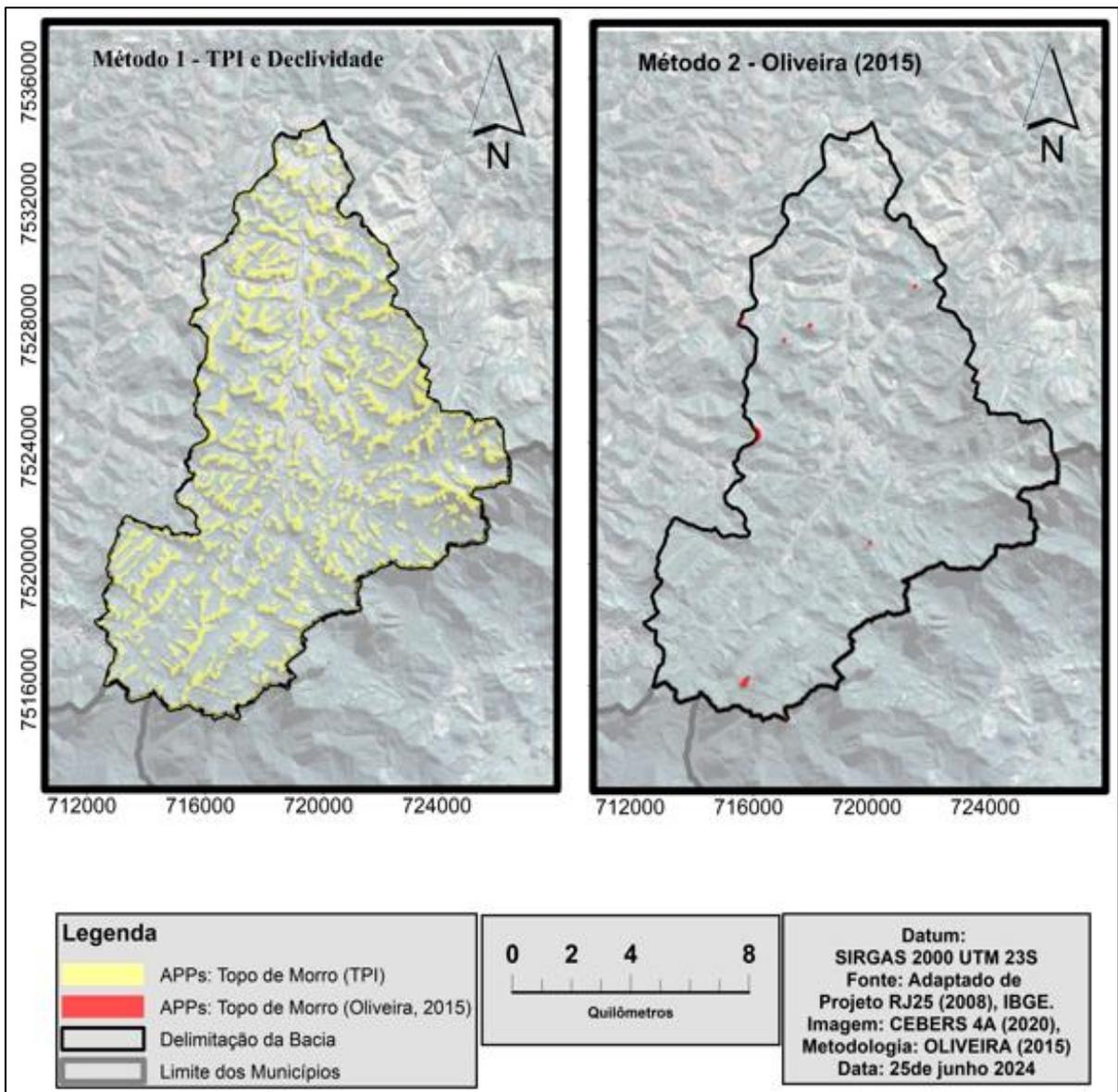


Figura 4: Mapas de APPs topo de Morro segundo as metodologias empregadas: Método 1 TPI e Declividade e Método 2 Adaptado de Oliveira (2015).  
Fonte: Autores (2024).

Classe/APPs	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)	Área (%)	Polígonos
Classe de TPI: Topo de Morro	25.376.060	2.537,7	18	338
Classe de TPI: Alta Encosta acima de 25°	8.733.661	873,0	6	480
Método 1 total de APPs	8.733.661	873,0	25	818
Método 2 total de APPs	370.886	37,0	0,3	11
Delimitação da total da Bacia	136.307.343	13.630,8	100	1

Tabela 1: Dados de APPs de topo de morro segundo as metodologias adotadas.

O método 1 demonstrou ser eficaz, uma vez que considerou ampla cobertura de topos de morros por toda a área da bacia, o que acabou por conformar  $\frac{1}{4}$  de toda a área de estudo. As áreas levantadas como APPs de topo de morro pela presente proposta configuram importância geoambiental ímpar, uma vez que uma preservação abrangente da área classificada como topo de morro corrobora para a estabilização das encostas e a diminuição da suscetibilidade a movimentos de massa (FREITAS; COELHO NETTO, 2016). Considerando que áreas de alta encosta e topo de morro mapeadas por meio da técnica de TPI já coincidiram, associadas a outras condições como geologia, geomorfologia, geotecnia, uso do solo e cobertura vegetal, como áreas de elevada suscetibilidade a deslizamentos (DIAS, 2021). Deste modo, apesar do método de aquisição dos topos de morro não seguir exatamente a legislações presente no CF2012, justifica-se sua utilização por considerar aspectos ambientais relevantes.

O método 2, por sua vez, configurou um subdimensionamento das áreas de topo de morro existentes na área de estudo (figura 4). A área de APP identificada é de aproximadamente 370.886 m<sup>2</sup>, subdivididas em 11 polígonos e representa apenas 0,3% da área total bacia (tabela 1). O levantamento remete a um resultado inadequado para a área de estudo, considerando que as características morfológicas da bacia são de um relevo montanhoso e escarpado, o que acaba por não condizerem com a proporção de APPs identificadas.

O fenômeno pode estar relacionado ao nível de detalhamento do MDE (20 m de pixel) utilizado. Contudo, o resultado corrobora com Oliveira (2015), que apresenta em sua dissertação a possibilidade de que os MDEs com esse nível de detalhamento, apresentem dificuldade em identificar as APPs, pois necessitam de correção ao calcular a declividade. Isso ocorre pois pequenas variações no relevo podem ser contabilizadas, contribuindo para suavizar a declividade média dos morros, evitando que elas atendam o critério de 25° de inclinação média.

### *Comparando as metodologias*

Ao comparar as presentes metodologias é possível compreender que apesar da robustez metodológica apresentada pela proposta de Oliveira (2015), a mesma não produziu um mapeamento que abarque os aspectos ambientais relevantes para a proteção dos topos de morro. Por outro lado, a realização de APPs de topo de morro por meio do método 1 (figura 4) produziram um mosaico de feições significativas e embasadas

geomorfologicamente, o que contribui para a mitigação de degradações ambientais, tais como erosão laminar e movimentos de massa.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo empregado foi capaz de demonstrar que os critérios estabelecidos no CF2012 para identificar APPs de topo de morro carecem de uma metodologia que considere as características geomorfológicas. Para tanto, buscou-se elaborar uma metodologia própria, e compará-la à outra consagrada pela literatura (OLIVEIRA, 2015) numa aplicação à bacia do rio das Bengalas em Teresópolis (RJ). Foi possível constatar que o método próprio, ao considerar as características geomorfológicas, foi capaz de superar as limitações relacionadas a lacuna acerca do critério de declividade média (OLIVEIRA, 2015), ao identificar APPs topo de morro de maneira mais robusta e mais consistente com área de estudo. Tal resultado é fundamental para o planejamento ambiental, visto que a conservação das APPs corrobora para a mitigação de degradações ambientais. Para tanto, os próximos passos da pesquisa visam analisar o nível de conservação das áreas identificadas, bem como avaliar a aplicação do método elaborado a dados e a escalas diferentes.

**Palavras-chave:** *Topographic Position Index*; Área de Preservação Permanente; Topo de morro; Geomorfologia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos integrantes LIEG/UFRJ pelas contribuições e discussões acadêmicas. Agradecemos também à Geografia da UFRJ e ao CNPq pelo incentivo e auxílio tecnológico à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília, DF (2012). Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 27 Maio. 2024.

BORGES, R. de O.; NEVES, C. B. das; CASTRO, S. S. de. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente determinadas pelo relevo: aplicação da Legislação Ambiental em duas microbacias hidrográficas no estado de Goiás. **Revista Geografias**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 7–14, 2022. DOI: 10.35699/2237-549X.13244. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13244>>. Acesso em: 23/06/2024.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000.

DIAS, L. R. **Análise geoambiental e Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do valão d’Anta, Cambuci (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

FREITAS, L. E.; COELHO NETTO, A. L. Reger Córrego Dantas: uma ação coletiva para enfrentamento de ameaças naturais e redução de desastres socioambientais. **CIÊNCIA & TROPICO**, v. 40, p. 165-190, 2016.

IBGE. **Modelos Digitais de Superfície - Modelo Digital de Elevação. RJ25- 2018**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10856-mde-modelo-digital-de-elevacao.html?=&t=downloads>>. Acessado em: 01/07/2024.

JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190, 1967.

JENNESS, J; BROST, B.; BEIER, P. Manual: **Land Facet Corridor Designer**. 2013. Disponível em: <[http://www.jennessent.com/downloads/Land\\_Facet\\_Tools.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/Land_Facet_Tools.pdf)>. Acessado em: 29/12/2020.

OLIVEIRA, G. C. **Precisão de modelos digitais de terreno, mapeamento automático de APPs em topos de morros e a eficácia do Novo Código Florestal. 2015**. 139f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6455>>. Acesso em: 01/06/2024.

DE OLIVEIRA, T. G. de; FRANCISCO, C. N.; BOHRER, C. B. de A. Áreas de Preservação Permanente (APP) no topo de morros no estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dispositivos legais em diferentes unidades geomorfológicas. *Ciência Florestal*, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 491–514, 2021. DOI: 10.5902/1980509832492. Disponível

em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/32492>>. Acesso em: 23/07/2024.

WEISS, Andrew. **Topographic position and landforms analysis**. In: Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA. 2001. Disponível em: <[https://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC\\_18x22.pdf](https://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf)>. Acessado em: 03/06/2024.