

## Capítulo 10

# Zoneamento edafoclimático

José Maria Filippini Alba  
Marcos Silveira Wrege  
Carlos Roberto Martins  
Samanta Zemnicahak

### Introdução

A Lei nº 5.969, de 12 de dezembro de 1973, que regulamentava a política agrícola no Brasil, foi revogada pela Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991, parcialmente alterada pela Lei nº 12.058, de 13 de outubro de 2009, a qual menciona, no Artigo 19, parágrafo III, que o poder público deverá: “Realizar zoneamentos agroecológicos que permitam estabelecer critérios para o disciplinamento e o ordenamento da ocupação espacial pelas diversas atividades produtivas, bem como para a instalação de novas hidrelétricas”. Adiciona o seguinte no Artigo 50, parágrafo V, inciso 3º: “A aprovação do crédito rural levará sempre em conta o zoneamento agroecológico”. No entanto, segundo Cunha e Assad (2001), aos efeitos do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), regulamentado também pelas leis mencionadas, foi considerado desde 1996 o zoneamento agrícola, conforme sustentação científica envolvendo as culturas de algodão, arroz, café, feijão, maçã, milho, soja e trigo. Já a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, posteriormente modificada em vários segmentos, menciona, no Artigo 9º, “o Zoneamento Ambiental”, e no Artigo 2º cita: “A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”.

Porém, nenhuma dessas leis define claramente o que são o zoneamento agrícola e o zoneamento ambiental, tampouco estabelece a metodologia que deve ser executada para seu desenvolvimento. Assim, surgiu o Decreto nº 4.297/2002, que regulamenta a Lei nº 6.938/1981 no contexto do zoneamento ambiental, estabelecendo os critérios mínimos para o desenvolvimento do zoneamento ecológico-econômico do Brasil (ZEE). Nesse sentido, o ZEE é considerado o instrumento de organização do território que regerá obrigatoriamente, a implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, assegurando a qualidade dos recursos naturais e a preservação ambiental, assim como, levando em conta a fragilidade dos ecossistemas.

O processo de elaboração e implantação do ZEE busca a sustentabilidade ecológica, econômica e social, com vistas a compatibilizar o crescimento econômico e a proteção dos recursos naturais, em favor das presentes e futuras gerações, pelo reconhecimento do valor intrínseco à biodiversidade e aos seus componentes; contando com ampla participação democrática, compartilhando suas ações e responsabilidades entre os diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil; e valorizando o conhecimento científico multidisciplinar. Inclusive, discute-se a necessidade de armazenar as informações em sistema digital por meio de sistema de informação geográfica (SIG).

O Decreto nº 6.288/2007 designou ao Poder Público Federal para execução do ZEE, em cooperação com os estados e disponibilizando publicamente as informações geradas. Nesse contexto foram claramente estabelecidas escalas de trabalho no contexto nacional, estadual (regional) e municipal. Segundo o Ministério do

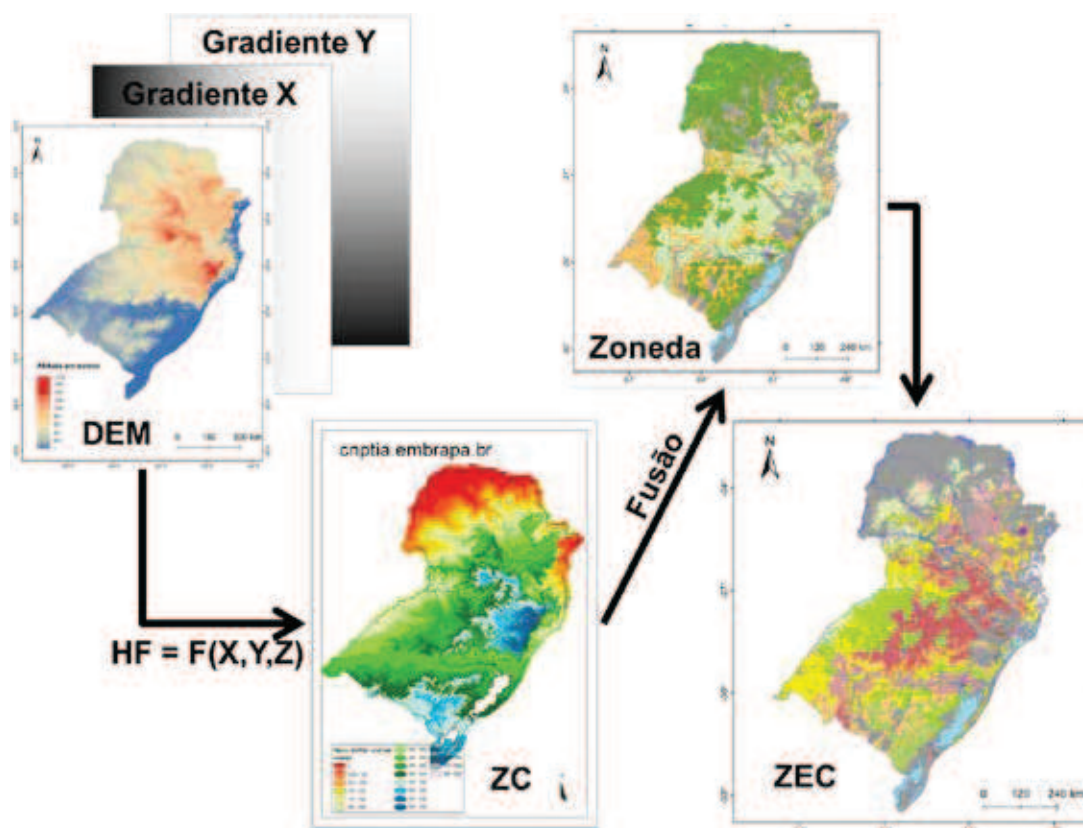
Meio Ambiente (MMA) (Brasil, 2020), ainda falta um longo caminho para que o ZEE se torne marco de referência para monitoramento, planejamento e controle dos empreendimentos no Brasil. Analisando-se isso, parece ter havido uma forte influência da metodologia “Zoneamento Agroecológico” (AEZ) (FAO, 1996), baseado em critérios edafoclimáticos, sobre o processo de definição do ZEE do Brasil.

A Embrapa Clima Temperado institucionalizou, em julho de 2017, o primeiro projeto nacional para nozeira-pecã, intitulado Bases para a Produção Sustentável da Noz-Pecã no Brasil (Martins et al., 2018). Esse projeto procura promover o desenvolvimento da produção de noz-pecã, por meio de conhecimentos científicos e, principalmente, disponibilizar informações técnicas fundamentais ao incentivo dessa cadeia produtiva no Brasil.

Nesse contexto, surgiu a demanda pelo zoneamento edafoclimático da cultura para o Sul do Brasil, a exemplo de empreendimentos recentes com outras culturas (Filippini Alba et al., 2014, 2018a 2018b). Trata-se de um instrumento de suporte para o setor produtivo, que não substitui o ZEE, mas aproxima-se ao AEZ (FAO, 1996).

## Metodologia do zoneamento via SIG

Um exemplo da relação do SIG com o zoneamento é apresentado na Figura 1. As camadas de informação Gradiente X, Gradiente Y e o modelo digital de elevação (DEM, da sigla em inglês) são integrados por meio de um algoritmo calculado via modelo de regressão com os dados pontuais das estações meteorológicas, sendo gerado o Zoneamento Climático (ZC). O mapa de solos é sistematizado em classes conforme os critérios da Tabela 2 do capítulo relacionado aos solos (Capítulo 8), dando lugar ao Zoneamento Edáfico (Zoneda). ZC e Zoneda são integrados de maneira a obter o Zoneamento Edafoclimático (ZEC).



**Figura 1.** Síntese do procedimento do desenvolvimento do zoneamento edafoclimático (ZEC, Filippini-Alba al., 2020) para a nozeira-pecã na região Sul do Brasil, no contexto dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Gradiente X/Y = simulação da mudança paulatina em longitude/latitude; DEM = Modelo digital de elevação (U.S. Geological Survey, 2020); ZC = zoneamento climático; Zoneda = zoneamento edáfico. ZC = Zoneamento climático (Embrapa Clima Temperado).

Fonte: adaptado de Filippini-Alba al. (2020).

Qualquer tipo de dado pode ser representado em um SIG, tabelas eletrônicas incluindo coordenadas geográficas podem ser representadas conforme pontos. Os arquivos vetoriais permitem representar linhas ou polígonos, os popularmente conhecidos arquivos *shape* são uma coleção de arquivos, incluindo tabela de atributos, posição geográfica, requerimentos do sistema, enfim, vários arquivos que permitem uma representação única no monitor, individualizando cada objeto mapeado. Os arquivos de imagens são matriciais, assim, organizados em linhas e colunas, em que cada elemento do mapa, células ou píxels, são associados ao território.

A evolução dos procedimentos no decorrer do tempo sugere que, inicialmente, eram considerados mapas analógicos em material transparente para elaborar zoneamentos, que eram sobrepostos vis-à-vis e redesenhados, até completar o processo. O SIG estabeleceu a origem dos procedimentos digitais, que evoluíram para métodos multicritério de tomada de decisão e para o mapeamento digital de solos, procedimento que já envolve procedimentos de inteligência artificial.

## Zoneamento edafoclimático

Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO; 1996), o AEZ é um método de sobreposição de informações por meio de SIG. O modelo aplicado dependerá das informações disponíveis, da capacidade técnica regional e das demandas estabelecidas. Nas primeiras etapas consideram-se dados relacionados ao clima, relevo e solo, ou seja, trata-se de um zoneamento edafoclimático conforme estabelecido para a região Sul do Brasil (Tabela 1; Figura 2).

Como critério de definição da aptidão para a sobreposição de polígonos, utilizou-se a “condição mais restritiva” (Filippini-Alba et al., 2020). Assim, por exemplo, se o zoneamento climático considera um polígono com baixa quantidade de horas de frio, isto é, menos de 100 horas acumuladas no período maio-setembro com temperatura inferior a 7,2 °C, que restringe seu potencial para Não Recomendada (NR), e o Zoneamento Edáfico corresponde a um polígono com aptidão Recomendada (R), o polígono resultante da sobreposição será Não Recomendado (NR). Para quantidades superiores de horas de frio (hf), 100 a 200 hf, 200 a 300 hf, 300 a 500 hf, e 500 hf, indica-se com as letras a aptidão do solo NR = Não Recomendada, PR = Pouco Recomendada, PRf = Pouco Recomendada com restrição unicamente por fertilidade; R = Recomendada. De maneira que R, 100 – 200 hf representa aptidão Recomendada do solo para cultivares com necessidades de 100 a 200 horas de frio (hf), e assim sucessivamente (Figura 2).

Como discutido acima, os zoneamentos são modelos lógico-estatístico-matemáticos que dependem dos critérios estabelecidos para seu desenvolvimento. Assim, como a avaliação de horas de frio foi realizada considerando-se 7,2 °C como limiar, o que estabelece um critério rigoroso de avaliação, o modelo parece favorecer a produção nas áreas com climas mais temperados, sul do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 2). Existem outros modelos que consideram temperaturas até 11 °C ou 13 °C, e inclusive outros intervalos de temperatura superiores (Milech, 2015), que poderiam modificar a avaliação realizada.

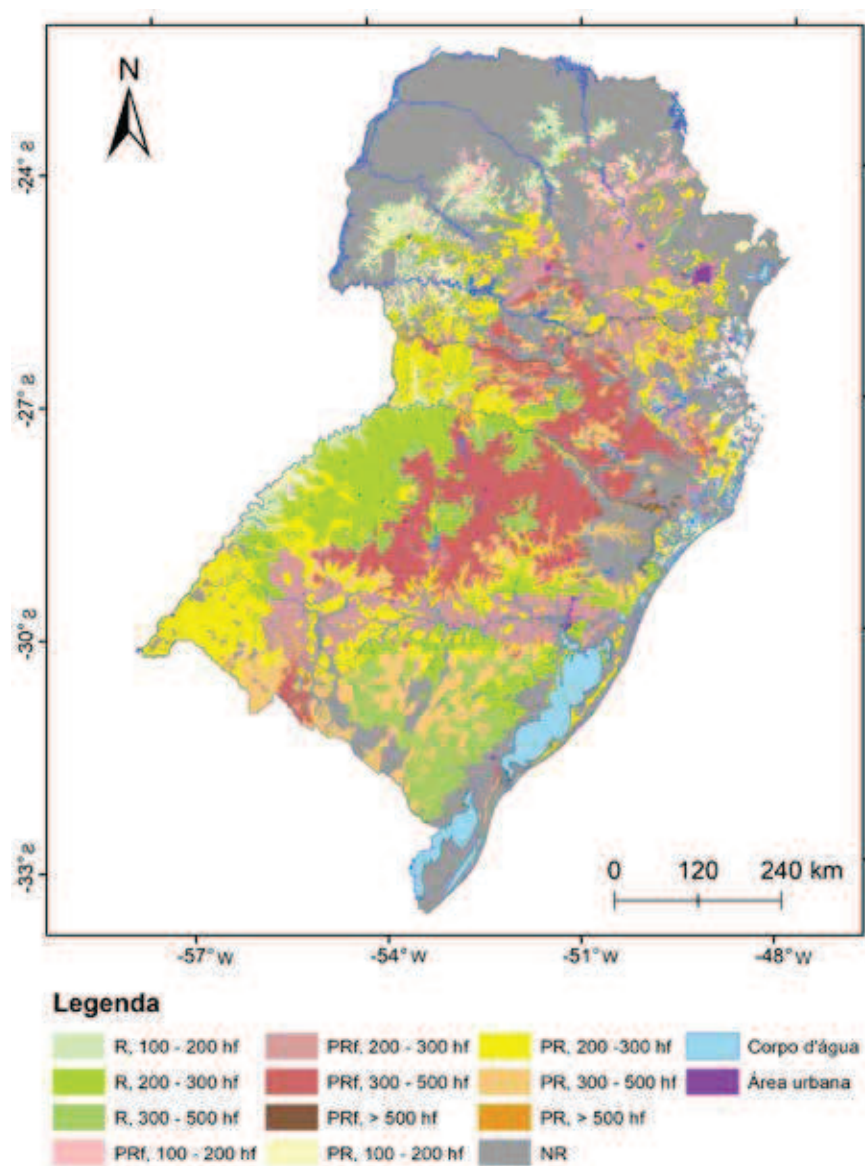
**Tabela 1.** Área das classes de ocupação ou tipo de solo, conforme aptidão edáfica ou edafoclimática na região Sul do Brasil.

| Classe         | Área por classe edáfica |      | Área por classe edafoclimática |      |
|----------------|-------------------------|------|--------------------------------|------|
|                | (ha)                    | (%)  | (ha)                           | (%)  |
| R 300-500 hf   | 6.865.810               | 11,9 | 2.763.446                      | 4,80 |
| R 200-300 hf   |                         |      | 3.142.134                      | 5,50 |
| R 100-200 hf   |                         |      | 960.230                        | 1,70 |
| PRf > 500 hf   | 10.982.049              | 19,1 | 21.887                         | 0,04 |
| PRf 300-500 hf |                         |      | 5.248.341                      | 9,10 |
| PRf 200-300hf  |                         |      | 5.041.004                      | 8,80 |

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

| Classe        | Área por classe edáfica |       | Área por classe edafoclimática |        |
|---------------|-------------------------|-------|--------------------------------|--------|
|               | (ha)                    | (%)   | (ha)                           | (%)    |
| PRf 100-200hf |                         |       | 670.817                        | 1,20   |
| PR > 500 hf   | 10.381.424              | 18,0  | 79.747                         | 0,14   |
| PR 300-500hf  |                         |       | 2.578.061                      | 4,50   |
| PR 200-300hf  |                         |       | 5.361.909                      | 9,30   |
| PR 100-200 hf |                         |       | 2.361.708                      | 4,10   |
| NR            | 26.660.300              | 46,3  | 26.660.300                     | 46,30  |
| Corpo d'água  | 2.366.166               |       | 2.366.166                      | 4,10   |
| Urbano        | 332.246                 |       | 332.246                        | 0,60   |
| Total         | 57.587.996              | 100,0 | 57.587.996                     | 100,00 |



**Figura 2.** Mapa de aptidão edafoclimática para o cultivo de noqueira-pecã na região Sul do Brasil. R = Recomendada; PRf = Pouco Recomendada com restrição por fertilidade; NR = Não Recomendada. Os intervalos numéricos “hf” referem-se às necessidades de horas de frio das respectivas cultivares.

Fonte: adaptado de Filippini-Alba et al. (2020).

## Desenvolvimento de um índice de aptidão do solo

Como alternativa de avaliação mais flexível, os parâmetros do solo apresentados na Tabela 2 do capítulo sobre os solos (Capítulo 8) foram quantificados de 1 a 4, sendo 1 a melhor condição “Preferencial”, 2 = “Recomendada”, 3 = “Pouco recomendada” e 4 = “Não recomendada”. Por exemplo, no caso do “relevo” (declividade), teríamos:

- 1) “Plano a moderadamente ondulado” (0% a 13%);
- 2) “Ondulado” (13% a 20%);
- 3) “Fortemente ondulado” (20% a 45%);
- 4) “Montanhoso ou Escarpado” (acima de 45%).

Assim, os valores correspondentes a declividade, drenagem, fertilidade, pedregosidade/rochosidade, profundidade efetiva e textura, para cada classe de solo, foram multiplicados, invertidos (elevados a potencia -1) e transformados em percentual, de maneira que na escala 0% a 100% se obtenha um percentual paulatinamente maior de aptidão edáfica para o Índice de Aptidão para Cultivo da Nogueira-Pecã (IACNP). Por convenção, os solos “mal drenados” foram zerados, como organossolos, gleissolos, planossolos e alguns neossolos flúvicos, pois são inaptos para cultivo da nogueira-pecã.

O mapa de solos em formato digital para o RS foi disponibilizado pela Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, conforme projeto anterior junto à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Já para SC, consideraram-se arquivos *shape* disponibilizados pela Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. No caso de PR, fez-se download da plataforma Geoinfo da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP, conforme o link: [geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aparana\\_solos\\_wgs84](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aparana_solos_wgs84).

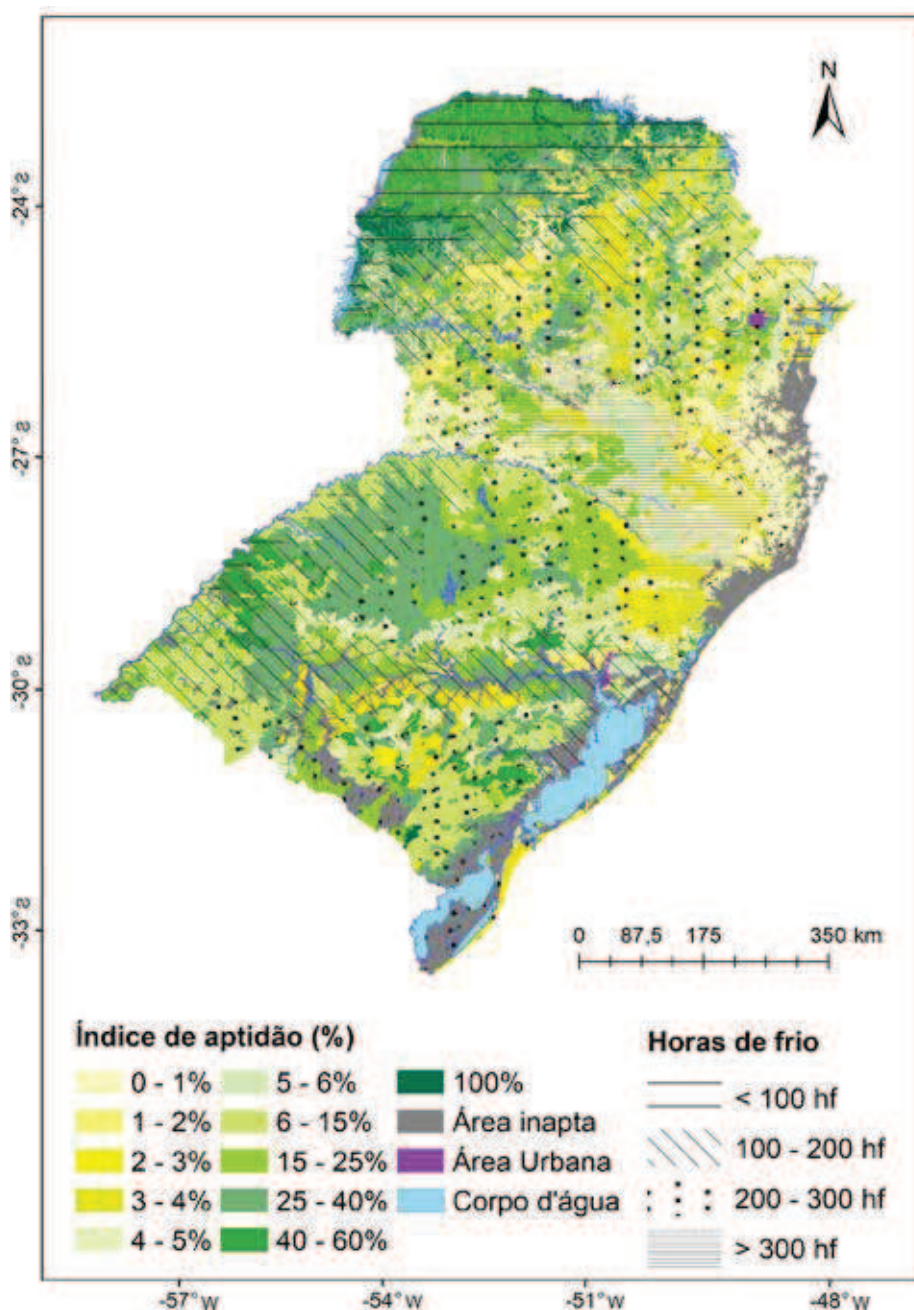
Solos com todos os parâmetros Não recomendados, ou seja, mal drenados, textura arenosa ou orgânica, profundidade efetiva inferior a 0,5 m, pedregosidade acima de 50%, com presença de sais e relevo montanhoso, apresentam um IACNP de 0,02%. Se a condição fosse plenamente Pouco Recomendado, teríamos um solo imperfeito ou excessivamente drenado, com textura argilosa 2:1 (argilas expansivas) ou siltosa, profundidade abaixo de 70 cm, pedregosidade entre 15% e 50%, alítico ou alumínico e com relevo forte ondulado, sendo seu IACNP de 0,14%. Combinações dessas condições, que é o mais comum de ocorrer no meio físico, terão valores do IACNP intermediários. Assim, sabe-se que abaixo de 0,14 os solos têm pouca condição para o plantio.

No entanto, se alguns parâmetros do solo tivessem condição Recomendada (substituindo as condições Pouco ou Não Recomendada), isto é, drenagem moderada, textura muito argilosa, profundidade de 1 m a 0,5 m, pedregosidade de 3% a 15%, sendo distróficos de atividade baixa (Tb) e com relevo ondulado, o IACNP poderia converter-se paulatinamente em valores cada vez maiores até o valor limite de 1,56, quando todos os parâmetros seriam Recomendados.

Associações de Neossolos, Cambissolos e Argissolos podem apresentar valores de IACNP inferiores a 1%, mas superiores a 0,14% (100% Pouco Recomendado). Ainda, no caso das areias quartzosas distróficas, tem-se IACNP de 4,2%, sendo que se trata de uma condição ruim de plantio. Por isso, no mapa apresentado para o IACNP (Figura 3), a cor cinza (solos mal drenados) representa solos Inaptos, já os valores entre 0% e 1% se referem a condições complexas de cultivo, que se aprimoram paulatinamente. Nessa escala, a partir de IACNP de 5% há condições melhores de cultivo, que são aprimoradas à medida o valor do índice aumenta (tons verdes para o IACNP). As horas de frio disponíveis são indicadas com tramas diferenciadas. A condição



Preferencial considera solos bem drenados, textura argilosa ou medianamente argilosa, profundidade superior a 1 metro, eutróficos ou distróficos de atividade alta (Ta), pedregosidade inferior a 3% e relevo plano ou suave ondulado. Se 100% dos parâmetros estão nessa condição, o valor do IACNP é de 100%. Mas se um único valor cai para condição Recomendada, tem-se IACNP de 50%. A situação Pouco Recomendada, com restrição unicamente por fertilidade, pode variar de 1% a 33%, dependendo da condição dos demais parâmetros (que, no mínimo, deverão ser Recomendados).



**Figura 3.** Mapa do índice de aptidão para cultivo de noqueira-pecã (IACNP) com sobreposição de disponibilidade de horas de frio.

Fonte: adaptado de Filippini-Alba et al. (2020).

## Considerações finais

Foram apresentados dois modelos de zoneamento edafoclimático para a região Sul do Brasil, um convencional, conforme estudos anteriores, e o outro (atual), considerando um índice de aptidão por meio da sistematização dos parâmetros das classes de solos. Nos dois, os aspectos climáticos também foram considerados, mas de forma distinta. Entretanto, ambos os zoneamentos podem ser utilizados.

O modelo convencional revelou-se bastante rigoroso, sendo Não Recomendadas áreas onde atualmente ocorre cultivo da nogueira-pecã (norte do Paraná). No outro modelo, essa região aparece com boa condição edáfica, apesar de haver disponibilidade de menos de 100 horas de frio. Isso sugere mudanças, principalmente para a região de transição, onde há disponibilidade 100 a 200 horas de frio anuais. Na região onde há disponibilidade superior a 300 horas de frio anuais, os solos apresentam condição intermediária do índice de aptidão (Santa Catarina). Esse modelo novo expressa melhor a aptidão edáfica, mas ainda há um intervalo de confundimento para valores do índice abaixo de 10%.

## Referências

- BRASIL. MMA. **Programa ZEE Brasil**. Acesso em: 30 jun. 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/endere%C3%A7os-importantes/item/7531-programa-zee-brasil>
- CUNHA, G. R. da; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2001.
- INTERGRAPH. ERDAS/ERMapper. Disponível em: [www.scon.com.br/pdf/ERDAS\\_ER\\_Mapper\\_Brochure.pdf](http://www.scon.com.br/pdf/ERDAS_ER_Mapper_Brochure.pdf). Acesso em: 3 jul. 2020.
- FAO. **Agroecological Zoning**: Guidelines. Rome: FAO, 1996. (FAO Soil Bulletin, 73). Disponível em: <http://www.fao.org/3/w2962e/w2962e00.htm#P-2> Acesso em: 29 jun. 2020.
- FILIPPINI ALBA, J. M.; FLORES, C. A.; WREGE, M. S. **Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 68 p.
- FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S.; ALMEIDA, I. R.; MARTINS, C. R.; ZEMNICAIAK, S.; SOUZA, T. G. de. **Zoneamento edafoclimático da Nogueira-pecã para a região Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2020. 65 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 492).
- FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S.; FLORES, C. A.; ALMEIDA, I. R.; HERTER, F. G. **Zoneamento edafoclimático da Pereira para Santa Catarina**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018a. 22 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 470).
- FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S.; FLORES, C. A.; ALMEIDA, I. R.; HERTER, F. G. **Zoneamento edafoclimático da Pereira para o Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018b. 16 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 466).
- MARTINS, C. R.; CONTE, A.; FRONZA, D.; FILIPPINI ALBA, J. M.; HAMANN, J. J.; BILHARVA, M. G.; MALGARIM, M. B.; FARIAS, R. M.; DE MARCO, R.; REIS, T. S. **Situação e perspectiva da nogueira-pecã no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 462).
- MCBRATNEY, A. B.; MENDOÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, n. 1-2, p. 3-52, 2003.
- MILECH, C. G. **Estimativa das necessidades de frio de genótipos de pessegueiro por modelos matemáticos**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non-void-filled>. Acesso em: 10 fev. 2020.