

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na análise dos resultados, alguns aspectos importantes devem ser comentados, principalmente quanto às representações das incertezas.

Na modelagem de atributos categóricos, as representações das incertezas estimadas apresentam os maiores valores nas zonas de transição das classes modeladas, e os menores valores no interior destas mesmas classes.

Isto é facilmente observado nas representações de aptidão climática referente à soma térmica (Figuras 3.7 a 3.15), ou então nas representações de fertilidade segundo às propriedades químicas (Figuras 3.16 a 3.20), sendo que nestas a característica espacial da incerteza é bastante evidente, porém com uma maior variabilidade para valores dentro das classes.

Esta distribuição espacial dos valores de incerteza denuncia o quanto é fraca a suposição feita na modelagem categórica de propriedades naturais de que estas propriedades são constantes e homogêneas para áreas que teriam limites bem delineados e bem definidos.

Quando compara-se a incerteza estimada na modelagem categórica e na modelagem numérica, e tomando como exemplo as incertezas das representações de aptidão climática categórica do subperíodo 9 (Figura 3.15) e numérica do mesmo subperíodo (Figura 3.57), observa-se, em certas regiões classificadas, tanto de forma categórica quanto contínua, com o mesmo grau de aptidão, um comportamento muito distinto das incertezas. Isto é, enquanto a incerteza da representação categórica é de certa forma homogênea dentro das classes de aptidão, a incerteza da representação numérica apresenta uma variabilidade muito maior.

A Figura 4.1 apresenta exatamente esta diferença. A imagem da esquerda mostra a região de Lages classificada como “cultivo não recomendado” em relação à aptidão

climática para a soja e a incerteza desta classificação. Já a imagem da direita mostra esta mesma região classificada com o valor 0 (zero), que corresponde à inaptidão pela classificação contínua e, portanto, também não é recomendada para a cultura da soja e, a incerteza propagada neste processo de classificação. É muito clara a diferença das representações de incerteza quanto à variabilidade dos valores internos às áreas, permitindo concluir que, neste aspecto, a incerteza relacionada à representação categórica apresenta um cenário mais "otimista" dentro da área classificada do que a incerteza relacionada à representação numérica.

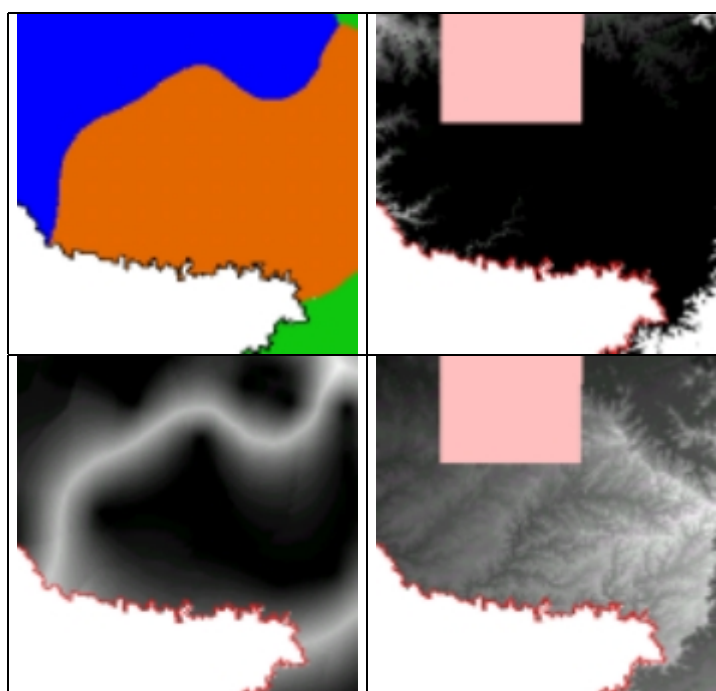


Fig. 4.1 – Comparação subjetiva entre as representações de incertezas estimadas na modelagem de atributos categóricos (esquerda) e numéricos (direita).

A variabilidade dos valores das incertezas associadas às representações categóricas é maior dentro das classes relativas às propriedades pedológicas do que as relativas às propriedades climáticas. Uma provável explicação para esta diferença decorre das características dos conjuntos amostrais obtidos para o tratamento destas das propriedades.

No caso da aptidão climática, as amostras podem ser consideradas “bem comportadas”, isto é, são amostras de soma térmica classificadas quanto à aptidão climática, cujo valor

foi estimado a partir da temperatura média decendial, que, por sua vez, foi estimada por modelos de regressão, os quais foram definidos a partir de uma conjunto de informações de estações meteorológicas monitoradas por um único órgão responsável. Tal órgão, provavelmente adota o mesmo procedimento de leitura das informações meteorológicas, em todas as estações. Além disso, estas informações meteorológicas, que foram a base da análise climática, têm aproximadamente a mesma série histórica (5 anos), referente ao mesmo período (1994 a 1998).

Já no caso da aptidão pedológica, as amostras podem ser consideradas “não tão bem comportadas”, pois, como é apresentado no Apêndice A, as análises de perfis e amostras de solos, de onde foram coletadas as informações para a análise pedológica, foram geradas por instituições distintas, com metodologias distintas, com finalidades distintas, em épocas distintas e, principalmente, quanto às análises subjetivas, por profissionais com diferentes graus de experiência.

Todos estes fatores agregam um grau de “confusão” no conjunto amostral primário, que se reflete na avaliação quantitativa das incertezas locais a partir da metodologia proposta e usada neste estudo. Desta forma, em certas posições, as probabilidades de serem classificadas pelas n classes consideradas são grandes e assim, sendo classificadas pela classe de maior probabilidade, a probabilidade de não ser classificada por esta classe também é grande, o que se reflete nas incertezas estimadas. O uso de uma métrica de incerteza baseada no uso da entropia de Shannon poderia melhorar esta relação, mas não modificá-la (Felgueiras, 1999).

A coleta de dados pedológicos sendo feita em diferentes momentos não afeta informações consideradas estáveis, como relevo e profundidade efetiva, entre outras, mas afeta informações relacionadas à fertilidade, que depende de fatores químicos do solo, que podem ter sido alterados entre os períodos de medidas. Neste caso, as informações de propriedades químicas coletadas em épocas distintas, principalmente em áreas destinadas à prática agrícola, estão condicionadas à adoção, ou não, de técnicas de correção e fertilização do solo.

Estes fatores relacionados aos dados de solo não só afetam a variabilidade das incertezas das representações categóricas, mas também afetam o grau de incerteza das representações tanto categóricas quanto numéricas. Basta observar os valores das incertezas, máxima e mínima, associadas às representações de aptidão climática referente à soma térmica, e compará-los com os valores das incertezas associadas às representações de aptidão pedológica referente às propriedades químicas. Nestas duas situações, as representações foram originadas de uma classificação contínua e, portanto, os valores do atributo variam entre 0 e 1, e as incertezas propagadas são expressas em intervalos de confiança com 95% de probabilidade.

Como exemplo, a incerteza associada à aptidão climática do subperíodo 4 varia entre [0,187, 0,642] e a incerteza associada à aptidão pedológica referente à capacidade de troca de cátions varia entre [0,910, 10,107].

Esta situação se agrava quando diferentes representações são integradas e as respectivas incertezas são propagadas. Observando a incerteza associada à representação categórica de aptidão pedológica, os valores variam entre [0,87, 1,00] e, partindo destes, pode-se dizer que na melhor situação existe uma probabilidade de 13% da informação apresentada pela representação de aptidão pedológica categórica estar correta.

No caso numérico, tomando como exemplo também a representação de aptidão pedológica, os valores de incerteza variam entre [0,555, 1,734] e, supondo uma posição cujo aptidão é representada pelo valor mínimo estimado 0,5, associado de uma incerteza mínima de 0,555, pode-se dizer que com um nível de confiança de 95%, que a aptidão desta posição pode variar de [-0,055, 1,055], ou seja, esta posição pode ser totalmente inapta ou, totalmente apta, refletindo assim, uma confiança muito baixa nesta representação.

Tanto no caso categórico quanto no caso numérico, a consequência destas representações com elevados índices de incertezas é direta quando estes dados pedológicos são integrados aos dados climáticos, para a inferência das aptidões *pedoclimáticas*. Nesta integração, estas representações de aptidão pedoclimática também apresentam um elevado índice de incerteza, uma vez que o componente

pedológico, dada a sua incerteza determinada pelos métodos deste estudo, é fundamental na caracterização da incerteza do cenário integrado final, como mostram as Figuras de 3.32 a 3.39 e, de 3.75 a 3.83.

Um outro aspecto a ser comentado, que independe das incertezas, e está presente apenas no caso categórico, é a questão do mascaramento da dinâmica das representações climáticas, quando integradas à representação da aptidão pedológica, para a inferência das aptidões pedoclimáticas.

Como pode ser observado nas Figuras de 3.32 a 3.39 e na Tabela 4.1, as representações das aptidões pedoclimáticas de cada subperíodo são aproximadamente iguais. Isto provavelmente se deve à representação da aptidão pedológica categórica, que tem uma característica mais "pessimista" para os cenários de aptidão, assim como aos critérios para a integração desta representação com as representações de aptidão climática, que são mais "otimistas". Como estes critérios privilegiam as classes de maior restrição, foram inferidas representações pedoclimáticas muito parecidas com a aptidão pedológica, inibindo a contribuição da aptidão climática.

TABELA 4.1 – PORCENTAGEM DAS CLASSES DE APTIDÃO PEDOCLIMÁTICA CATEGÓRICA ESTIMADAS PARA CADA SUBPERÍODO

	Preferencial	Tolerada	Marginal	CNR
AptidãoPedoclimática 1	12,99	49,91	2,99	34,11
AptidãoPedoclimática 2	12,96	50	2,99	34,08
AptidãoPedoclimática 3	13,06	49,87	2,99	34,08
AptidãoPedoclimática 45	13,06	49,88	2,99	34,08
AptidãoPedoclimática 6	12,96	49,95	2,99	34,1
AptidãoPedoclimática 7	11,87	51,03	2,99	34,11
AptidãoPedoclimática 8	11,91	50,99	2,99	34,12
AptidãoPedoclimática 9	10,55	50,52	2,99	35,94

Uma próxima análise pode ser feita com base nos resultados obtidos na aferição dos resultados. A Figura 4.2 apresenta três resultados de aferição. O primeiro é a reprodução de imagem mostrada na Figura 3.86, referente à aferição categórica, o segundo é a representação da Figura 3.87, referente à aferição numérica, classificada com as mesmas classes “igual”, “superestimação 1, 2 e 3” e, “subestimação 1, 2 e 3”. A classe “igual” foi atribuída aos valores iguais a 1, as classes de superestimação foram atribuídas aos

valores menores que 1, divididos em três intervalos iguais e, as classes de subestimação foram atribuídas aos valores maiores que 1, divididos também em três intervalos iguais. O último resultado trata da aferição da representação encontrada com a aplicação da metodologia original do Zoneamento Pedoclimático do Brasil, para a soja (Bönisch et al., 1999).

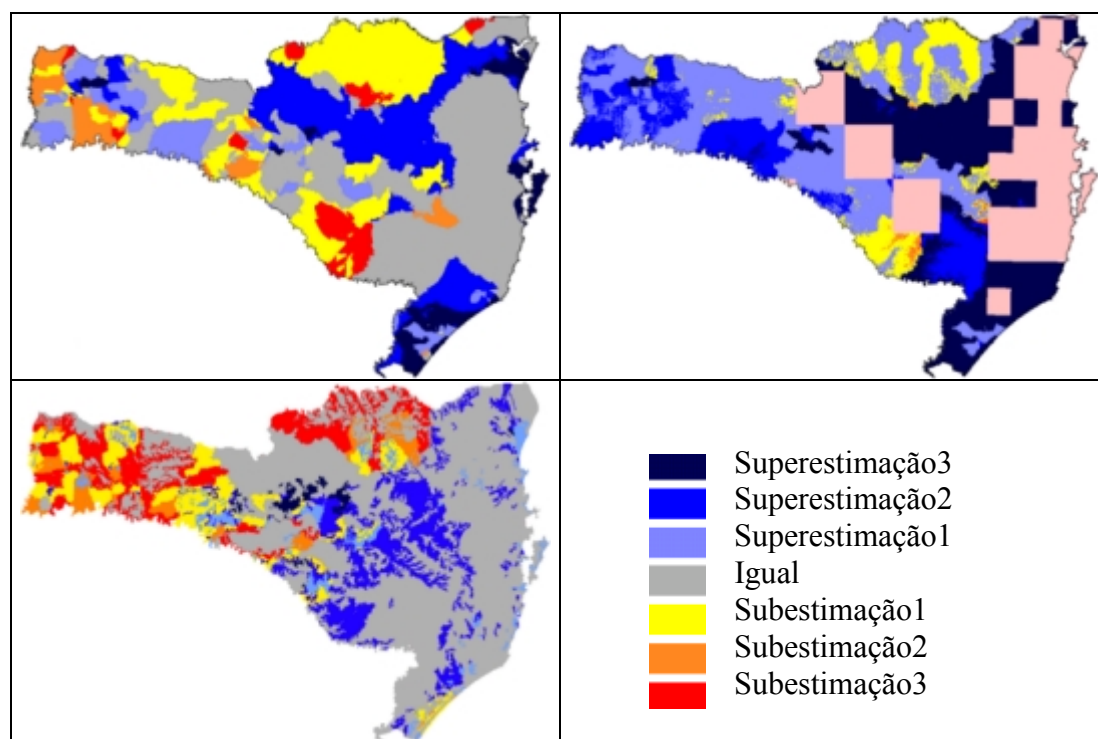


Fig. 4.2 – Cruzamento de dados de produtividade com o resultado obtido na análise categórica (superior esquerdo), com o resultado obtido na análise numérica (superior direito) e, com o resultado obtido na original metodologia do Zoneamento Pedoclimático do Brasil (inferior esquerdo).

Em todas as representações da Figura 4.2, as classes “superestimação” correspondem à situação em que a representação de aptidão pedoclimática inferida indica áreas aptas à produção de soja, porém, não há registro de produção nestas áreas, ou a produtividade é muito pequena. As classes “subestimação” correspondem ao contrário, ou seja, a representação de aptidão pedoclimática indica áreas inaptas, sendo que na realidade são produtoras de soja. São estas classes de subestimação que apontam melhor os “problemas” e deficiências das representações inferidas.

Comparando as representações de aferição obtidas neste estudo, observa-se que o resultado categórico apresenta uma situação mais "pessimista" para os cenários de aptidão que o resultado do caso numérico, onde a superestimação é predominante.

Esta situação pode ser explicada pela forma como as informações iniciais foram integradas, para gerar o resultado de aptidão pedoclimática. No caso categórico, os critérios de integração pela *Álgebra Booleana* sempre consideraram como predominantes as classes de maior restrição e, conseqüentemente, o resultado obtido tem uma característica mais "pessimista".

No caso numérico todas as operações de análise espacial foram aplicadas a todas as representações sem quaisquer variações, além da integração considerar todas igualmente importantes para a inferência da aptidão pedoclimática. Provavelmente funções de associação e modelos matemáticos mais personalizados a este estudo de caso, determinados empiricamente, proporcionassem a inferência de um cenário de aptidão pedoclimática mais próximo à realidade.

A representação obtida na aferição do resultado encontrado na aplicação da original metodologia do Zoneamento Pedoclimático do Brasil apresenta a maior quantidade de áreas subestimadas, principalmente com subestimação 3, que representa a situação de aptidão inapta, com produção alta.

Esta metodologia original é diferente das análises categóricas e numéricas deste estudo, principalmente quanto à modelagem das propriedades naturais. Basicamente, partiu-se de uma representação clássica de mapa de solos e de uma representação de regiões agrometeorológicas, ambas categóricas e geradas por procedimentos não quantitativos, que foram analisadas e associadas às classes de aptidão pedológica e climática, respectivamente e, agregadas para a inferência da aptidão pedoclimática.

Esta metodologia é a que foi chamada de tradicional, pois corresponde exatamente aos procedimentos analógicos de análise espacial realizados nas "mesas de luz", em épocas em que não se dispunha de ferramentas e estrutura para a análise em meio digital.

4.2 CONCLUSÕES

A maior contribuição deste estudo está relacionada às estimativas de incertezas, quando da integração de propriedades naturais em modelos que buscam gerar cenários possíveis para intervenções específicas, no caso do estudo, a determinação de zonas aptas ao cultivo de soja. Elas mostraram-se fundamentais para uma avaliação de todo o procedimento de análise espacial, que integra dados em meio digital.

As incertezas permitem a avaliação do conjunto amostral considerado na modelagem, estando diretamente relacionadas ao grau de “confusão” das amostras. Esta confusão pode estar relacionada às próprias deficiências das amostras ou ao comportamento do atributo considerado.

Além do conjunto amostral, permite uma avaliação das formas mais apropriadas para a representação dos atributos. Neste estudo, as incertezas claramente apontaram o quanto é fraco e perigoso o uso da representação de propriedades naturais, que apresentam uma variabilidade espacial, somente por representações categóricas, sendo estas a forma ainda mais adotada para a representação de propriedades e processos naturais.

Permite também uma avaliação da metodologia aplicada. Especificamente para o caso de estudo, a análise das incertezas apontou que a metodologia do Zoneamento Pedoclimático do Brasil, principalmente a parte pedológica, devido à situação dos dados primários, a sua aplicação em uma escala regional, na qual o Estado de Santa Catarina se enquadra, necessitaria de cuidados muito especiais no tratamento e consistência destes dados primários de perfis e amostras de solos. Como estes dados se encontram hoje, é possível afirmar que o tratamento recomendado neste estudo não deve ser aplicado a dados de solo em escala regional.

Quando são comparadas as representações obtidas no processo de aferição das análises categórica e numérica, observa-se que a distribuição das classes de subestimação e superestimação é aproximadamente a mesma, variando apenas a intensidade destas classes, de mais "pessimistas" na análise categórica, para mais "otimistas" na análise numérica (Figura 4.2). Estas características levam a conclusão de que independente das

técnicas de modelagem e integração das propriedades naturais, no Estado de Santa Catarina, diferentes regiões devem ser tratadas de formas diferentes, ou seja, observar que existe uma compartimentação do espaço regional, e que o mais apropriado seria encontrar estes compartimentos e, a partir destes, considerando o conjunto amostral disponível, conduzir o estudo, para que o resultado aferido de aptidão possa assim encontrar maiores consistências. As metodologias de zoneamento em escala regional, deveriam ser elaboradas observando que estas diferenças regionais podem ocorrer e, tratá-las de alguma forma, já no início das definições conceituais e metodológicas do projeto.

É importante ressaltar que este estudo demonstra que não se deveria mais elaborar metodologias de geoprocessamento, principalmente aplicadas a propriedades e processos naturais, desconsiderando os procedimentos que permitem a avaliação dos produtos gerados. São imprescindíveis informações que indiquem não só as limitações destes produtos, mas que também possibilitem a avaliação das metodologias.

Esta deve ser uma preocupação tanto dos modeladores de informações espaciais, quanto dos usuários destas informações, pois se a informação espacial é fator determinante na tomada de decisões, "uma informação espacial com a qualidade associada é fator essencial para a construção de decisões mais acertadas" (Burrough e McDonnell, 1998).