



Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão

**Antônio Luis Santi¹, Jackson Ernani Fiorin², Kassia Luiza Teixeira Cocco³,
Maurício Roberto Cherubin³, Mateus Tonini Eitelwein³,**

Telmo Jorge Carneiro Amado⁴, Fabio Evandro Grub Hauschild⁵

¹Doutor, Professor do Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil (autor para correspondência: santi_pratica@yahoo.com.br).

²Doutor, Pesquisador da CCGL/FUNDACEP, Professor da Universidade de Cruz Alta e Professor do Mestrado Profissionalizante em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

³Engenheiro Agrônomo, Mestrando (a) do Programa de Pós Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁴Doutor, Professor do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁵Engenheiro Agrônomo, Cooperativa Tríticola Regional Sãoluizense Ltda. (COOPATRIGO).

Introdução

Em estudos agrônômicos envolvendo o sistema solo-água-planta deve-se considerar a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, pois os fatores e processos de formação do solo (clima, relevo, tempo, ação de organismos e material de origem), que atuaram ao longo do tempo imprimiram-lhe heterogeneidade, que somadas ao manejo realizado pelo homem, acentuam a variabilidade dos atributos do solo (ALBUQUERQUE et al., 1996). De acordo com CAMBARDELLA et al. (1994) tais fatores influenciam a variabilidade em diferentes escalas. Assim, em escala regional, fatores climáticos, sistemas de uso do solo, cobertura vegetativa e características da superfície do solo são os principais fatores responsáveis pelas variações. Em escala de lavoura, os principais fatores que influenciam a variabilidade são o tipo de solo, a topografia, a cultura anterior e as práticas de manejo do solo. Em menor escala, a orientação da linha da cultura, o método de aplicação de nutrientes, o cultivo e a compactação podem predominar como as causas de variabilidade.

Portanto, no planejamento da produção agrícola, um dos principais fatores a se considerar é a condição inicial do solo. Então, tanto a variabilidade espacial quanto a variabilidade temporal dos atributos do solo devem ser incorporadas aos procedimentos e tecnologias aplicados à agricultura (LI et al., 2002). Diante desse cenário, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo sob diferentes usos e manejos constitui-se numa importante meta para que se possa empregar manejo específico, considerando a necessidade de aplicação de fertilizantes e estratégias de amostragem (BHATTI et al., 1991).

A utilização de ferramentas de agricultura de precisão (AP) permite uma valorização da variabilidade espacial dos atributos do solo e a possibilidade de manejá-la, visando aumentar a eficiência técnica e econômica do uso de insumos (SANTI et al., 2009). Nesse contexto, a utilização do conjunto de tecnologias de AP deve ser vista como uma moderna técnica de gerenciamento dos atributos do solo em uma determinada área, fornecendo subsídios para o adequado aprimoramento do manejo e maximização da eficiência dos recursos produtivos, alicerçado no manejo localizado e no respeito à variabilidade existente no campo.

Um dos princípios da AP é a aplicação de insumos em taxa variada, de acordo com a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e das culturas (CORÁ et al., 2004). Portanto, a AP é um instrumento de gerenciamento agrícola que parte do registro georreferenciado de informações de solo e de culturas, completando-se com intervenções de manejo localizado (AMADO & SANTI, 2007).

Segundo SCHLINDWEIN & ANGHINONI (2000) no sistema plantio direto (SPD), onde a aplicação de insumos é realizada em linhas, na subsuperfície do solo, ou a lanço, na superfície, aliado a deposição superficial de resíduos culturais que alteram a taxa de decomposição da matéria orgânica e a liberação dos nutrientes, pode haver favorecimento da ocorrência de gradientes em atributos químicos, a partir da superfície em direção as camadas mais profundas do solo. Este

processo se intensifica com o tempo de cultivo. A formação de gradiente de atributos químicos no perfil do solo acarreta dificuldades para definir as profundidades de amostragem em SPD, que expressem verdadeiramente o estado de fertilidade dos solos. Além disto, podem induzir a concentração de raízes nas primeiras camadas de solo agravando o efeito de possíveis déficits hídricos.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial horizontal, vertical e temporal dos elementos fósforo (P) e potássio (K), em área manejada com ferramentas de AP.

Material e métodos

O estudo foi conduzido em uma área experimental no município de São Luiz Gonzaga, pertencente à Mesorregião Noroeste, também conhecida como Missões, no estado do Rio Grande do Sul. A área de 46,7 ha, esta situada entre as coordenadas geográficas de latitude 28°47'29''S a 28°48'31''S, e longitude 48°77'11''O a 48°75'98''O, com altitude aproximada de 275 metros.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa – temperado chuvoso, com precipitação média anual elevada e bem distribuída ao longo do ano, e subtropical do ponto de vista térmico. A temperatura média anual é próxima a 18°C, com máximas no verão podendo atingir 41°C e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0°C (MORENO, 1961).

Nessa região, o relevo é suave ondulado, com predominância de solos de textura argilosa, bem drenados, profundos a muito profundos. De acordo com EMBRAPA (2006) o solo da área estudada classifica-se como Latossolo Vermelho distroférico típico, apresentando saturação por bases baixa ($V < 50\%$) e teores de óxidos de ferro (Fe_2O_3) na faixa entre 18 a 36%, nos primeiros 100 cm do horizonte B.

A área estudada está sob a atuação do Programa de AP da Cooperativa Tritícola Regional Sãoluizense Ltda – COOPATRIGO. Nesta área também está alocada a pesquisa pertencente ao Projeto "Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul – APcoop", servindo como área piloto de pesquisa do convênio com a Cooperativa Central Gaúcha Ltda (CCGL TEC/FUNDACEP), em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria.

No manejo e condução do sistema de AP na área, iniciado em 2008, utilizou-se as ferramentas de: amostragem georreferenciada do solo; interpretação dos atributos químicos; elaboração de mapas de condições químicas; recomendações e aplicações de corretivos e fertilizantes a taxa variada. Além disso, é manejada com SPD desde o ano de 1995 e, portanto, já consolidado. No período estudado, de 2008 a 2010, a sequência de culturas utilizada foi: milho/milho safrinha/aveia cobertura/soja/trigo.

A amostragem de solo foi realizada em 2008 e a reamostragem em 2010, utilizando uma malha amostral quadrangular regular de 100 x 100 m, totalizando 41 pontos amostrais. Cada amostra foi composta por nove subamostras, coletadas em raio aproximado de 10 m ao redor do ponto central georreferenciado. As profundidades de coleta foram de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, utilizando como instrumento amostrador a pá de corte (COMISSÃO..., 2004). Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Cooperativa Central Gaúcha Ltda, sendo analisadas conforme metodologia recomendada pela COMISSÃO... (2004). Foi realizada análise completa (análise básica + micronutrientes) das amostras, para ambas as profundidades. Na reamostragem, realizada em novembro de 2010, foram determinados os mesmos parâmetros químicos propostos para a análise dos teores iniciais. Para fins de estudo desse trabalho foram utilizados somente as determinações de P e K no solo, associado aos teores de argila e valores de CTC pH 7, para a definição dos parâmetros interpretativos de P e K, respectivamente.

O manejo da fertilidade, envolvendo a correção da acidez e a adubação das culturas, foi realizado com base na interpretação dos teores iniciais. Para os nutrientes P e K, foram realizadas duas estratégias para correção da fertilidade do solo da área, envolvendo a adubação de correção e a adubação de manutenção, com base em teores mínimos alvo e nos valores exportados pelas culturas comerciais. As adubações de correção (calcário, superfosfato triplo e cloreto de potássio) foram realizadas à taxa variada em superfície, em julho de 2008.

Os dados de P e K obtidos nas duas profundidades foram submetidos à análise estatística

descritiva, objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, procedida com o auxílio do programa computacional Statistical Analysis System (SAS). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, mediana, máximo, desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), assimetria (Cs) e curtose (Ck). A dispersão dos dados foi classificada com base nos valores de CV%, sendo distribuída em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 \leq CV \leq 62\%$) e alta ($CV > 62\%$) (WARRICK & NIELSEN, 1980). Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO & WILK, 1965).

A interpretação e distribuição dos teores de P e K, em classes de interpretação, foram realizadas de acordo com a proposta do Comitê Técnico do APcoop. Posteriormente, utilizando técnicas geoestatísticas, procedeu-se a interpolação por krigagem e a espacialização dos valores na área através de mapas temáticos, com auxílio do programa computacional CR – Campeiro.

Resultados e Discussão

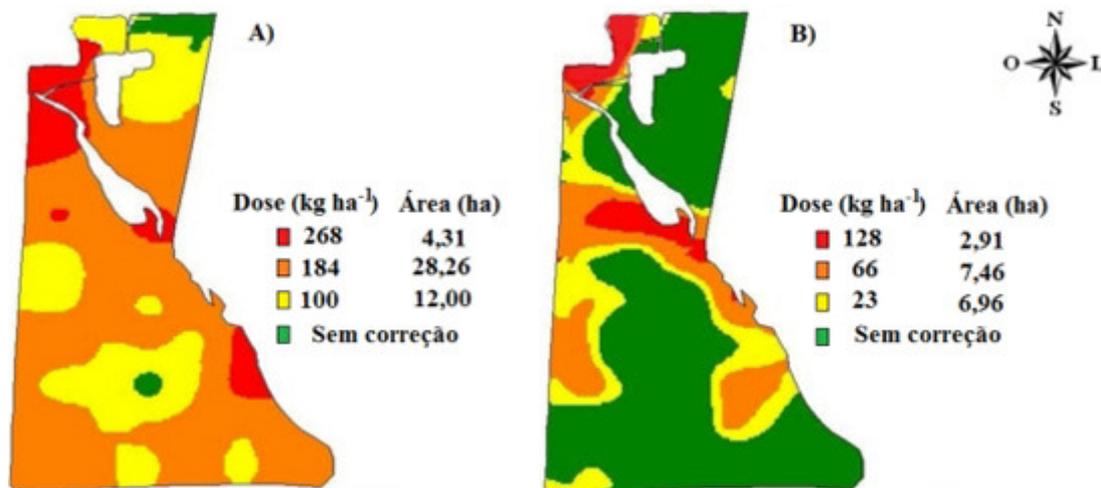


Figura 1. Mapa de recomendação de adubação de correção dos teores de fósforo, com superfosfato triplo (A) e mapa de recomendação de adubação de correção dos teores de potássio, com aplicação de cloreto de potássio (B). São Luiz Gonzaga – RS, 2012.

A recomendação da adubação de correção de P teve como meta a elevação dos teores para 13 mg dm^{-3} , com aplicação de fertilizante superfosfato triplo (Figura 1A). Como estratégia, utilizou-se o critério de aplicação de 15 kg ha^{-1} de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo. A recomendação da adubação de correção de K teve como meta a elevação dos teores para 200 mg dm^{-3} , com aplicação de fertilizante cloreto de potássio (Figura 1B). Como estratégia, utilizou-se o critério de aplicação de 2 kg ha^{-1} de K_2O para elevar 1 mg dm^{-3} K no solo.

Associada à correção à taxa variável, utilizou-se a adubação de manutenção de P e K, a taxa fixa e uniforme em toda a área, aplicados na linha e em profundidade (sulcador), nas quatro culturas adubadas, com doses de 20 a 30% e 50%, acima da exportação prevista, para P e K, respectivamente. A adubação de manutenção, nas culturas do milho, soja e trigo, foram realizadas considerando as expectativas de produtividades de $6,0$, $3,0$ e $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos, respectivamente.

Analisando os resultados obtidos na análise estatística descritiva dos teores de P e K (Tabela 1) verificou-se que as medidas de posição média e mediana foram próximas para o P e K em ambas as amostragens e profundidades estudadas. No entanto, os resultados demonstram que a distribuição de frequência não foi normal para os teores de P e K obtidos na amostragem e na camada 10 a 20 cm da reamostragem. Estes resultados são confirmados pelos valores do Cs (simétricos à direita) e Ck (distribuição leptocúrtica), maiores e distantes de zero. A não normalidade dos dados é bastante frequente em estudos que levam em consideração a posição geográfica e a dependência espacial dos dados. CRESSIE (1991 apud CORA & BERALDO, 2006), afirma que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que pode comprometer os resultados.

Tabela 1. Análise estatística descritiva dos teores de fósforo e potássio no solo coletados nos anos de 2008 e 2010, nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. São Luiz Gonzaga - RS, 2012.

Parâmetros Estatísticos	Amostragem (2008)		Reamostragem (2010)	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
..... Fósforo (mg dm ⁻³)				
Número de Observações	41	41	41	41
Mínimo	3,9	1,2	9,3	3,5
Média	8,2	2,6	17,2	7,6
Mediana	7,8	2,4	16,5	7,4
Máximo	16,7	8,6	27,4	15,4
Desvio Padrão	2,51	1,24	4,43	2,67
Coefficiente de Variação (CV%)	30,69	47,66	25,75	35,09
Assimetria	1,05	3,12	0,36	1,00
Curtose	2,45	13,36	0,01	1,05
Teste W ¹	0,94*	0,71*	0,97 ^{ns}	0,93*
..... Potássio (mg dm ⁻³).....				
Número de Observações	41	41	41	41
Mínimo	149,0	59,0	138,0	88,0
Média	207,7	108,0	239,1	145,5
Mediana	205,0	99,0	231,0	133,0
Máximo	330,0	202,0	341,0	309,0
Desvio Padrão	33,07	33,82	49,34	49,87
Coefficiente de Variação (CV%)	15,92	31,31	20,64	34,27
Assimetria	1,29	1,31	0,29	1,49
Curtose	3,48	1,29	0,47	2,57
Teste W ¹	0,92*	0,87*	0,97 ^{ns}	0,87*

(1) Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p \leq 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Quanto a dispersão dos dados, analisada pelos valores do CV%, observou-se que os valores de P e K, nas duas épocas amostradas em ambas as profundidades, encontraram-se no intervalo entre 12 e 60% e, portanto, foram classificados como de média variação. Avaliando comparativamente os processos de amostragem e reamostragem, a dispersão relativa dos teores de P no solo, nas duas profundidades, foi diminuída. Portanto, a área experimental que apresentava amplitude considerável para os teores de P, com a intervenção realizada através do manejo à taxa variada para adubação de correção, possibilitou decréscimo nos valores de CV%, tornando a área mais homogênea. A variação observada para o elemento P concorda com os resultados reportados anteriormente por outros autores (SILVA et al., 2003; CORA et al., 2004; SANTI, 2007; CHERUBIN et al., 2011).

Na condição inicial, expressa através da amostragem em 2008, os maiores teores de P no solo foram observados na camada superficial (0 a 10 cm), com teores variando de 3,9 a 16,7 mg dm⁻³. Já na camada subsuperficial (10 a 20 cm), os teores foram menores, variando de 1,2 a 8,6 mg dm⁻³. No processo de reamostragem, observou-se que os teores de P da camada superficial os teores variaram de 9,3 a 27,4 mg dm⁻³. Desta forma, nota-se que a média dos teores de P, foi elevada de 8,2 mg dm⁻³ (condição inicial) para 17,2 mg dm⁻³ (reamostragem) elevando o teor médio de P em 32% acima da meta prevista (13 mg dm⁻³), estando coerente com as doses utilizadas na adubação

de manutenção, as quais foram 20 a 30% acima da exportação das culturas. Para a camada subsuperficial (10 a 20 cm), observou-se incremento nos níveis de fertilidade para o P, variando de 3,5 a 15,4 mg dm⁻³. Neste caso, os teores médios de P foram elevados de 2,61 mg dm⁻³ (condição inicial) para 7,62 mg dm⁻³ (reamostragem). Observa-se, desta maneira, que a intervenção realizada à taxa variada, com o objetivo de corrigir os teores de P, mostrou-se prática eficiente para alcançar níveis adequados de fertilidade tanto em superfície como em subsuperfície.

Com relação ao K, o CV% apresentou valores relativamente mais baixos, quando comparado aos observados para o P. A menor dispersão dos teores de K, observados na camada superficial do solo, comprova que o manejo dos cultivos que vem sendo empregado na área é eficiente na diminuição da variabilidade. Porém, na camada subsuperficial, os valores de CV% foram mais altos, constatando que havia alta heterogeneidade natural na área, apresentando variabilidade vertical no perfil do solo.

Na condição inicial os teores variaram de 149 a 330 mg dm⁻³ na camada superficial (0 a 10 cm) e de 59 a 202 mg dm⁻³ na camada subsuperficial (10 a 20 cm). Com a reamostragem, observou-se que houve incremento nos teores de K, em ambas as profundidades, variando de 138 a 341 mg dm⁻³ na camada superficial e de 88 a 309 mg dm⁻³ na camada subsuperficial. Desta forma, percebe-se que a realização das intervenções de correção à taxa variada mostraram-se eficientes, elevando os teores médios de K, em 15% na camada superficial e 35% na camada subsuperficial.

Visando verificar a distribuição dos teores de P e K em faixas de interpretação, realizadas conforme proposta do Comitê Técnico do Projeto APcoop, inicialmente procedeu-se a avaliação dos teores de argila e CTC pH 7,0 da área, utilizados na definição dos parâmetros interpretativos de P e K, respectivamente. Nesse sentido, os teores de argila apresentaram ampla variabilidade espacial (dados não apresentados), com predominância (63,41%) da área na Classe 2 (41 – 60% de argila) e os restantes (36,59%) da área na Classe 1 (> 60% de argila). Estes dados estão de acordo com FIORIN et al. (2007) que observaram a predominância de solos argilosos, pertencentes às classes 1 e 2, nas áreas de abrangência da COOPATRIGO. Quanto aos valores da CTC pH 7,0, observou-se predominância na Classe de Solo com CTC entre 10,1 e 15,0 cmol_c dm⁻³ (dados não apresentados), tanto na profundidade 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, como no processo de amostragem e reamostragem.

Diante disso, na condição inicial (amostragem em 2008), os teores de P na camada superficial (0 a 10 cm) apresentaram ampla distribuição nas faixas interpretativas (Tabela 2), com predominância das faixas de interpretação baixo (48,78%) e médio (41,46%). Adicional a isso, o somatório das faixas muito baixo e baixo equivalem a mais da metade da área (53,66%). Na camada subsuperficial (10 a 20 cm), aproximadamente 97% da área encontra-se com teores baixos e muito baixos. Dessa forma, em ambas as profundidades, as faixas muito baixo e baixo constituem um percentual significativo da área que necessitam atenção especial e a utilização de doses maiores para elevar os teores de P no solo. Tais resultados concordam com os observados por FIORIN et al. (2007) que em um diagnóstico da situação de fertilidade dos solos, verificaram que 46,6% das amostras coletadas na área de abrangência da COOPATRIGO apresentaram teores de P compreendidos entre as faixas de interpretação muito baixo e baixo, na camada subsuperficial do solo (10 a 20 cm).

Tabela 2. Faixas de interpretação e distribuição percentual dos teores fósforo, na amostragem e reamostragem, de acordo com a proposta do Comitê Técnico do Projeto APcoop, para a Classe de Solo 2 (41 a 60% de argila). São Luiz Gonzaga - RS, 2012.

Faixa de interpretação	Teor de Fósforo mg dm^{-3}	Amostragem (2008)		Reamostragem (2010)	
		0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
	 (%)			
Muito Baixo	$\leq 4,0$	4,88	95,12	0,00	4,88
Baixo	4,1 - 8,0	48,78	2,44	0,00	56,10
Médio	8,1 - 12,0	41,46	2,44	9,76	29,29
Alto	12,1 - 24,0	4,88	0,00	80,48	9,76
Muito Alto	$> 24,0$	0,00	0,00	9,76	0,00

Essa elevada variabilidade espacial dos teores de P observada na área estudada, demonstra a ineficiência das recomendações de fertilizantes, quando manejada tradicionalmente, pela chamada "agricultura pela média". No uso de valores médios, percebe-se que em alguns locais, a dose recomendada seria subdimensionada e em outros, haveria aplicação em excesso do fertilizante.

No processo de reamostragem, pode-se observar incremento nos teores de P, principalmente na camada superficial (0 a 10 cm), onde 80,48% da área teve enquadramento na faixa de interpretação alto, considerada de fertilidade adequada para o desenvolvimento das plantas. No entanto, verificou-se incremento, inclusive, para a camada subsuperficial (10 a 20 cm), onde grande parte da área passou da faixa muito baixo para as faixas baixo (56,10%), médio (29,29%) e alto (9,76%). Diante disso, a aplicação de adubação de correção à lanço em superfície, com base na variabilidade espacial dos teores de P (taxa variada), associada à adubação de manutenção, na linha com sulcador, utilizando doses de 20 a 30% maior que a exportação das culturas, foi uma estratégia eficiente em promover a melhoria dos teores de P no solo sob SPD, com correção horizontal e vertical, amenizando o gradiente deste nutriente em profundidade. Na figura 2 é possível visualizar mais facilmente esta evolução horizontal, vertical e temporal dos teores de P na área estudada.

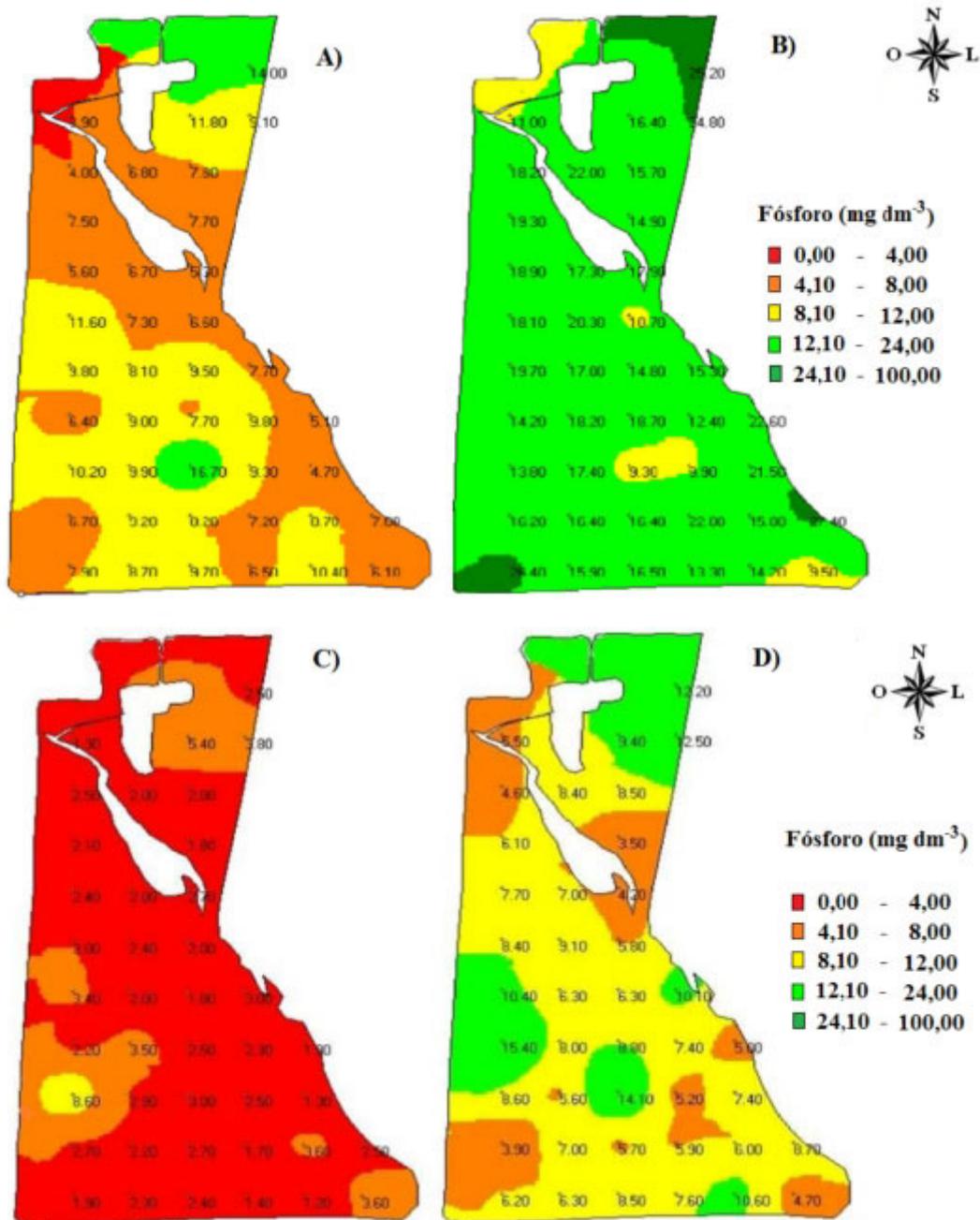


Figura 2. Espacialização dos valores de fósforo, nas profundidades de 0 a 10 cm (A e B) e 10 a 20 cm (C e D) no momento da amostragem (2008) e reamostragem (2010), respectivamente. São Luiz Gonzaga - RS, 2012.

Quanto à evolução dos teores de P na camada subsuperficial (10 a 20 cm), observada no processo de reamostragem, acredita-se que por ser um elemento pouco móvel no solo, além da água que percola no perfil do solo, o sistema radicular das plantas pode ter contribuído na movimentação vertical do P e conseqüente melhoria dos teores em profundidade, visto que o P é altamente móvel na planta. Além disso, as melhorias no ambiente edáfico, associados à adição constante de fitomassa ao solo, promovida pelo SPD, pode ter contribuído para a elevação dos teores de P orgânico no solo, sendo que nesta forma o mineral apresenta maior movimentação no perfil do solo em relação o P inorgânico (EGHBALL et al., 1996; EGHBALL et al., 2002; GEBRIM et al., 2010).

De acordo com BERWANGER (2006) a movimentação vertical do P no perfil do solo é condicionada pelo tipo de solo, sendo que dependendo da textura e mineralogia, pode haver maior interação entre o solo e o nutriente, resultando em elevada adsorção do P. A percolação de P em solos com textura argilosa e com altas concentrações de alumínio é reduzida (SIMS et al., 1998), fato que também pode ser observado em solos com altos teores de óxidos de ferro e alumínio, que favorecem o processo de adsorção deste elemento. Por outro lado, EGHBALL et al. (1996) em experimento de longa duração nos EUA, mostraram não haver correlação entre o poder de

adsorção e a mobilidade do P no solo. Este fato contribui na compreensão dos resultados encontrados no presente estudo, onde se observou certa mobilidade vertical de fósforo no perfil, mesmo em condição de solo argiloso. No entanto, a dinâmica do P no perfil do solo, a partir de aplicações superficiais de fertilizantes em taxa variada, ainda carece de esclarecimentos, devendo ser melhor estudada em futuros trabalhos.

Em relação aos teores de K (Tabela 3), observou-se que na condição inicial, expressa através da amostragem em 2008, os teores na camada superficial (0 a 10 cm) apresentaram valores elevados, sendo que 100,0% da área enquadrou-se na faixa de interpretação alto e muito alto, para as quais se sugere somente a adubação de manutenção e/ou reposição. Estes resultados concordam com os obtidos por FIORIN et al. (2007), onde verificaram que 99,5% das amostras de solo coletas na área de atuação da COOPATRIGO apresentavam teores classificados como muito alto, na camada de 0 a 10 cm. Outros autores como RHEINHEIMER et al. (2001), SANTI (2007), AMADO et al. (2009) e CHERUBIN et al. (2011) também verificaram altos teores de K em estudos envolvendo os Latossolos presentes no RS.

Tabela 3. Faixas de interpretação e distribuição percentual dos teores potássio, na amostragem e reamostragem, de acordo com a proposta do Comitê Técnico do Projeto APcoop, para a Classe de Solo com CTC pH 7,0 entre 10,1 e 15,0 cmolc dm⁻³. São Luiz Gonzaga - RS, 2012.

Faixa de interpretação	Teor de potássio mg dm ⁻³	Amostragem (2008)		Reamostragem (2010)	
		0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
	 (%)			
Muito Baixo	≤ 40	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixo	41 - 80	0,00	14,63	0,00	0,00
Médio	81 - 120	0,00	60,98	0,00	36,58
Alto	121 - 240	87,80	24,39	58,54	58,54
Muito Alto	> 240	12,20	0,00	41,46	4,88

Na camada subsuperficial (10 a 20 cm) percebe-se maior variação dos teores, com predominância na faixa de interpretação médio (60,98%), porém sem apresentar teores nas faixas extremas (muito baixo e muito alto). Assim, comparando as duas camadas, observa-se um gradiente considerável na distribuição vertical de K no solo.

No processo de reamostragem da área, na camada superficial (0 a 10 cm), notou-se aumento nos teores de K na faixa de interpretação muito alto, permanecendo a predominância de valores classificados como alto em mais de metade da área. Para a camada subsuperficial (10 a 20 cm), os teores de K interpretados na faixa alto apresentaram importante elevação, demonstrando melhoria da fertilidade em profundidade. Embora observam-se menores teores de K na camada subsuperficial e, portanto, um gradiente de fertilidade em profundidade, ocorre uma evolução/incremento considerável nos teores na reamostragem. Estes resultados corroboram com Brito et al. (2003), que justificaram os o incremento de K em profundidade pela elevada mobilidade do nutriente quando dissolvido em água pelo perfil.

Na Figura 3 é possível visualizar mais facilmente esta evolução horizontal, vertical e temporal dos teores de P na área estudada.

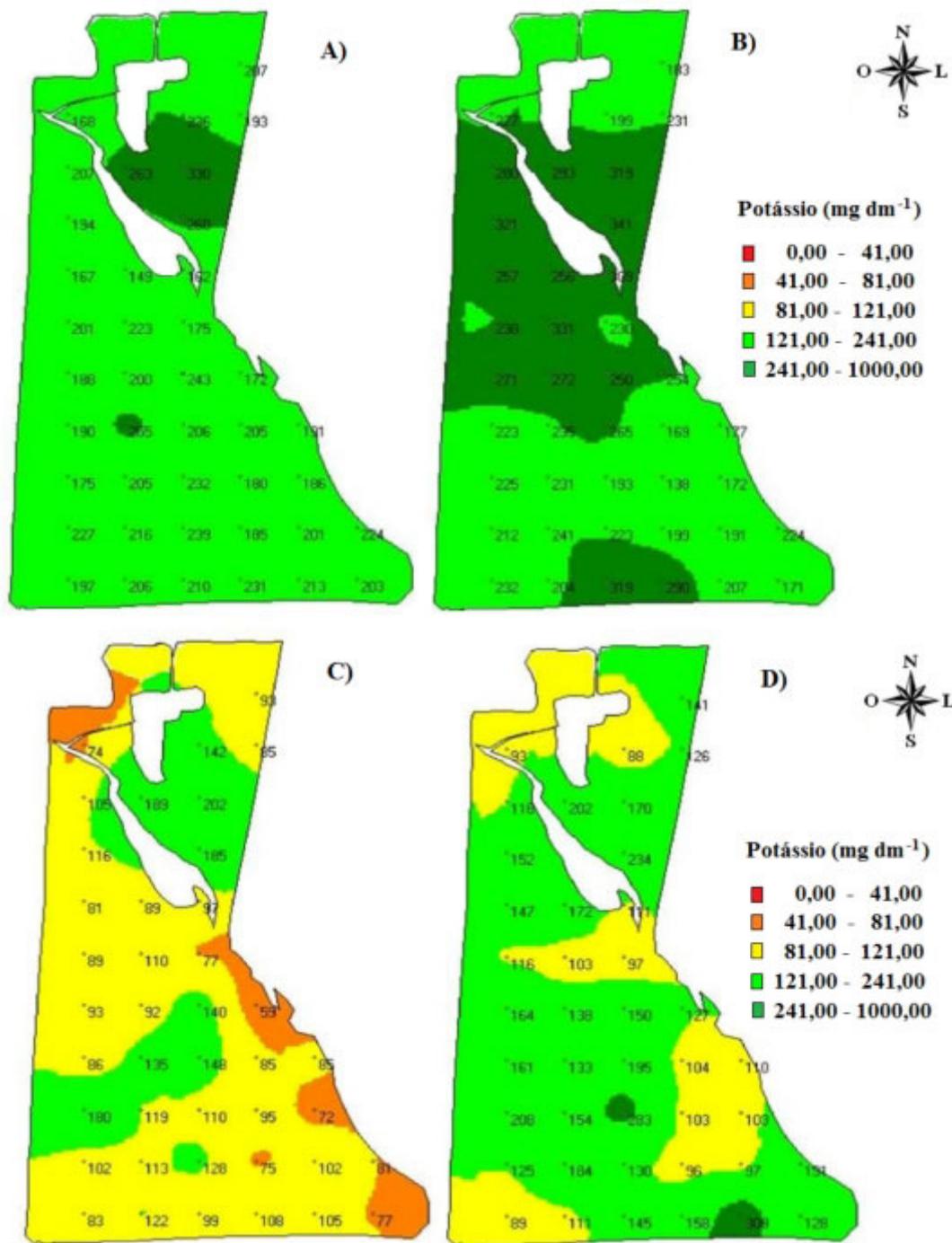


Figura 3. Espacialização dos valores de potássio, nas profundidades de 0 a 10 cm (A e B) e 10 a 20 cm (C e D) no momento da amostragem (2008) e reamostragem (2010), respectivamente. São Luiz Gonzaga - RS, 2012.

Baseados nos resultados obtidos verifica-se a importância da utilização de ferramentas de AP no manejo do solo, possibilitando identificar, intervir, corrigir e monitorar os locais da área que apresentam maiores limitações nutricionais ao desenvolvimento das plantas. Além disso, é possível verificar a dinâmica vertical dos nutrientes no perfil do solo.

Desta forma, a partir deste nível de detalhamento das informações geradas, torna-se possível traçar estratégias de manejo da fertilidade do solo mais eficiente tecnicamente, economicamente e ambientalmente, aliando fertilizações superficiais a taxa variada, adubações incorporadas na linha e práticas de manejo conservacionistas, como: semeadura direta, rotação de culturas, adubação verde, cultivo em nível, dentre outras.

Conclusão

Os atributos químicos P e K apresentaram elevada variabilidade espacial horizontal e importante gradiente vertical no perfil do solo, sob SPD consolidado.

No processo de reamostragem, observou-se incremento nos teores de P em ambas as profundidades, especialmente na camada subsuperficial onde o teor médio apresentou incremento de aproximadamente três vezes em relação à primeira amostragem.

Os teores de K na camada superficial (0 a 10 cm), já eram altos na primeira amostragem e no processo de reamostragem também foram verificados incremento próximo a 35% no teor médio da camada subsuperficial (10 a 20 cm).

As intervenções de correção à taxa variada na superfície, associadas à adubações de manutenção na linha com sulcador, contribuíram para a redução da heterogeneidade horizontal e incremento dos teores de P e K em profundidade, sob SPD, sem necessidade de inversão de camadas de solo. Desta forma, caracterizou-se como uma estratégia eficiente para melhoria da fertilidade do solo.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, n.1, p.151-157, 1996.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E., ed. *Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto*. Passo Fundo: Berthier, 2007, p.99-144.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.4, p.831-843, 2009.

BERWANGER, A. L. Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos. 2006. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2006.

BHATTI, A. U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sensing of Environment*, v.37, p.181-191, 1991.

BRITO, R. A. L.; BASTINGS, I. W. A.; BORTOLOZZO, A. R. The Paracatu/Entre-Ribeiros irrigation scheme in Southeastern Brazil – Features and challenges in performance assessment. *Irrigation and Drainage Systems*, v.17, n.4, p.285-303, 2003.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society American Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. *Enciclopédia Biosfera*, v.7 n.13, p.196-210, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. Manual de adubação e de calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após a calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Engenharia Agrícola*, v.26, n.2, p.374-387, 2006.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

EGHBALL, B.; BINFORD, G. D.; BALTENSPERGE, D. D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. *Journal Environmental Quality*, v.25, n.6, p.1339-1343, 1996.

EGHBALL, B.; GILLEY, J. E.; BALTENSPERGE, D. D.; BLUMENTHAL, J. M. Long-term manure and fertilizer application effects on phosphorus and nitrogen in runoff. *American Society of Agricultural Engineers*, v.45, n.3, p.87-694, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FIORIN, J. E.; SCHNELL, A.; RUEDELL, J. Diagnóstico das propriedades rurais na região de abrangência das cooperativas COOPATRIGO, COOPEROQUE, COTAP, COTRISA (SB), TRITÍCOLA. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 2007. 176p.

GEBRIM, F. O.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; SCHULTHAIS, F.; VERGÜTZ, L.; PROCÓPIO, L. C.; MOREIRA, F. F.; JESUS, G. L. Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.4, p.1195-1205, 2010.

LI, H.; LASCANO, R. J.; BOOKER, J.; WILSON, L. T.; BRONSON, K. F.; SEGARRA, E. State-space description of field heterogeneity: water and nitrogen use in cotton. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, n.2, p.585-595, 2002.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; HORN, D. Situação da fertilidade dos solos no estado do Rio Grande do Sul. UFSM/DS, 2001. 42 p. (Boletim Técnico, 2).

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. *Revista Plantio Direto*. 109 ed. jan./fev 2009.

SANTI, A. L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. 2007. 175f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2007.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.30, n.4, p.611-617, 2000.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SIMS, J. T.; SIMARD, R. R.; JOERN, C. B. Phosphorus losses in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal Environmental Quality*, v.27, p.277-293, 1998.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, v.52, p.91-611, 1965.

WARRICK, A. W.; NIELSEN D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980, p.319-344.

Publicado na *Revista Plantio Direto*, edição 129, maio/junho de 2012.

Copyright © Revista Plantio Direto / Aldeia Norte Editora. A reprodução de qualquer parte do conteúdo deste site é proibida.