

PLATAFORMA WEB PARA GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

LIGIA F. BORGES¹, CLAUDIO L. BAZZI², GABRIELA K. MICHELON¹, ERMINIO P. JASSE¹, EDUARDO GODOY DE SOUZA³

¹ Mestranda em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira - PR, Fone (0xx45) 3240-8000, ligia.lfb@gmail.com.

² Doutor em Eng. Agrícola, Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira - PR.

³ Doutor em Eng. Mecânica, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel – PR.

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A análise de mapas temáticos, no contexto da agricultura de precisão (AP), é um recurso utilizado para compreender a variabilidade espacial dos atributos do solo em áreas de cultivo, podendo trazer importantes subsídios para a realização de um manejo racional, promovendo aumento da produtividade e redução do impacto ambiental. Neste contexto, o objetivo foi desenvolver e disponibilizar uma ferramenta computacional em ambiente Web, capaz de gerar mapas temáticos por métodos conhecidos de interpolação (inverso da distância elevado à uma potência, média móvel e vizinho mais próximo). O software foi testado com dados provenientes de pesquisas de AP (atributos físicos e químicos do solo e produtividade do milho) desenvolvidas em área agrícola de 19,8 ha localizada na região Oeste do Paraná. Os resultados obtidos mostraram que o uso da ferramenta permite a identificação de áreas que possuem o mesmo comportamento em relação às variáveis do solo, possibilitando o utilizador a ter uma melhor e mais precisa visão acerca da área a ser trabalhada e identificar possíveis causas de variação na produtividade com um baixo custo e resultados semelhantes a ferramentas pagas.

PALAVRAS-CHAVE: Software, ferramenta computacional, tecnologia agrícola.

WEB SOFTWARE TO CREATE THEMATIC MAPS IN PRECISION AGRICULTURE

ABSTRACT: The analysis of thematic maps, in the precision agriculture (AP) context, is a resource used to understand the spatial variability of soil attributes in cultivated areas, which can bring important subsidies for rational handling, improving yield and reducing environmental impact. Thus, the main goal of this research was to develop and make available a web-based software, which provides the ability to draw thematic maps according to well-known methods of data interpolation (inverse of distance weighted, moving average, nearest-neighbor). The software was tested with AP research data (physical and chemical soil attributes and corn yield) developed in a 19.8 ha agricultural area located in the western region of Parana state. The use of the software made possible generating thematic maps of variables usually used in precision agriculture, allowing to evaluate the distribution of each attribute in the area and identify possible causes of variations in yield with low costs, and similar results, as paid tools.

KEYWORDS: Software, computational tool, agricultural technology.

INTRODUÇÃO

Em agricultura de precisão (AP), a elaboração de mapas temáticos é uma das fases necessária para auxiliar no processo de tomada de decisão por parte do produtor, pois possibilita a identificação da variabilidade, permitindo assim, otimizar a utilização de recursos através da aplicação de insumos e manejos localizados (GREGO et al., 2014). Como resultado, as práticas de manejo agrícola realizadas de forma localizada, trazem a promessa de reduzir o impacto ambiental, aumentar a produtividade e os retornos financeiros (INTARAPAPONG et al., 2003).

Segundo Teixeira et al. (2011), a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo influencia na qualidade dos produtos agrícolas, bem como na produção de um modo geral. Nesse sentido, para assegurar o gerenciamento mais eficiente do processo produtivo, é importante realizar a análise de mapas temáticos que são gerados com base em amostras coletadas durante o ciclo produtivo, a fim de identificar a variabilidade dos diversos atributos do solo, planta e produtividade (BAZZI et al., 2015). Desse modo, com base nas respostas obtidas durante a etapa de análise é possível intervir na produção dos anos posteriores por meio da aplicação diferenciada de insumos (SPEZIA et al., 2012).

Na AP, os mapas temáticos de produtividade e os de atributos relacionados, são confeccionados levando em conta as amostras coletadas na área de estudo (SOUZA et al., 2009). Estes dados normalmente são obtidos através da amostragem (solo, planta, produtividade) georreferenciada em grade (MOLIN, 2017). Após a coleta, os dados são inseridos em um sistema de informação geográfica (SIG) para geração do mapa final, nessa etapa é realizada a interpolação dos dados coletados, essa técnica estima valores em locais não amostrados, contribuindo para a redução dos custos (SPERANZA et al., 2010). Dentre os métodos de interpolação utilizados na AP têm-se: inverso da distância elevado a uma potência (IDP); krigagem; vizinho mais próximo; e média móvel. A diferença entre eles é dada pela maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras (MOLIN, 2008).

Na maioria dos casos, os softwares para geração de mapas temáticos não foram especificamente desenvolvidos para a AP, mas sim para manipulação de dados genéricos, o que pode tornar mais desafiador o uso deste programa no lugar de uma ferramenta dedicada para a AP (WHELAN; TAYLOR, 2013).

A necessidade da utilização de um software amigável e gratuito para a execução de todas as etapas do processo de geração zonas de manejo em AP, propiciou o desenvolvimento do Software para Definição de Unidades de Manejo - SDUM (BAZZI, 2011; BAZZI et al., 2013). A ferramenta permite gerar mapas temáticos por métodos conhecidos de interpolação, geração de zonas de manejo por métodos empíricos e de agrupamento e propicia funções para avaliar as zonas de manejo geradas, a partir de métodos de redução da variância e testes de comparação de médias.

O SDUM mostrou ser uma opção adequada para se trabalhar com mapas temáticos e zonas de manejo (GAVIOLI et al., 2016; SCHENATTO et al., 2016a; SCHENATTO et al., 2016b; BAZZI et al., 2015), entretanto é disponibilizado apenas para o ambiente desktop, tendo-se a necessidade de instalação na máquina do usuário, sendo esta uma característica desfavorável em relação a divulgação e utilização, além da dificuldade no controle de usuários.

Neste sentido, este trabalho objetivou o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que possa ser disponibilizada de forma a evitar sua instalação podendo ser utilizada em ambientes web, de forma similar e com as funcionalidades presentes no SDUM desktop, transportando suas funcionalidades de geração de mapas temáticos e agregando novas características que permitem uma utilização mais simplificada para a utilização em navegadores Web.

MATERIAL E MÉTODOS

A aplicação desenvolvida foi testada com dados experimentais de AP oriundos de pesquisas desenvolvidas desde 2011 em dois talhões (9,9 ha e 23,8 ha), que estão localizados no município de Serranópolis do Iguaçu - Paraná. O solo das áreas é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 2006) e essas são cultivadas sob sistema de plantio direto com sucessão de culturas soja e milho. Os dados utilizados para testes referem-se aos valores de dados relacionados às características químicas do solo e produtividade da cultura do milho. As grades amostrais para coleta de dados são distintas e possuem uma densidade amostral de 4,24 pontos ha⁻¹ (42 amostras) para a área 1 e 3,06 pontos ha⁻¹ (73 amostras) na área 2.

A amostragem de solo foi realizada com auxílio de um perfurador de solo da marca Stihl e um receptor GPS para localização dos pontos amostrais que foram previamente adicionados no equipamento. Em cada ponto da grade amostral, foram coletadas a uma profundidade de 0,20 cm oito subamostras localizadas em um raio de 3 m do seu respectivo ponto amostral (WOLLENHAUPT et al.,1994). O solo coletado foi condicionado em sacos plásticos devidamente identificados e destinados para esse fim e enviados para análise laboratorial onde foram definidos os atributos químicos. Para realizar a amostragem de produtividade do milho foram colhidas oito espigas manualmente em cada ponto amostral da grade, os grãos foram separados por ponto amostral e pesados. Posteriormente ao processo de colheita foi realizada a triagem manual e limpeza. Em seguida, os grãos foram pesados corrigidos à 13% de teor de água, de acordo com a instrução de Análise de Sementes (MAPA, 2009).

Para identificar e avaliar a normalidade e homogeneidade dos dados utilizados, os atributos foram analisados estatisticamente por meio da estatística exploratória, calculando-se: as medidas de posições: média, mediana, mínimo e máximo; as medidas de dispersão: desvio padrão e coeficiente de variação (CV); e medidas que indicam a forma da distribuição: coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose e normalidade. O software Minitab na versão 1.7, foi utilizado para executar o teste de normalidade de Anderson-Darling com a finalidade de verificar se a distribuição de probabilidade associada a cada conjunto de dados pode ser aproximada pela distribuição normal ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo (homocedasticidade) quando $CV \leq 10\%$, médio quando $10\% < CV \leq 20\%$, alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto (heterocedasticidade) quando $CV > 30\%$ (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002).

Para o desenvolvimento do software buscou-se utilizar ferramentas livres para viabilizar o projeto sem necessidade de custos adicionais com licença ou suporte. O sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) PostgreSQL, foi utilizado devido a sua flexibilidade e sua extensão para dados georreferenciados Postgis. As imagens de satélite exibidas no software e utilizadas no ambiente de desenvolvimento são de licença livre e disponibilizadas pela biblioteca OpenLayers 3. Essa ferramenta possui integração com serviços online de mapeamento, possibilitando aos desenvolvedores de software a criação de aplicações geográficas para o ambiente Web com capacidade de exibir e manipular dados geoespaciais.

Com o objetivo de construir um ambiente distribuído e escalável, a arquitetura foi distribuída em camadas (Figura 1). O lado do servidor (Web Service API REST/ AgriData) possui a responsabilidade de gerenciar os métodos de autenticação/autorização e armazenamento de dados enviados por diversos programas. No lado do cliente ficam as aplicações (subsistemas). Nessa camada está localizado o servidor Web da aplicação para geração de mapas temáticos (Map). Portanto, os demais sistemas desenvolvidos por outros pesquisadores também serão inseridos no lado cliente. Essa estrutura permite aos usuários compartilhar seus dados (áreas de estudo) entre diferentes aplicações desenvolvidas por

diferentes programadores em diferentes linguagem de programação. Desta maneira, este sistema é uma parcela inserida no contexto de um projeto de pesquisa que tem como objetivo desenvolver alternativas tecnológicas e gratuitas para a agricultura com a possibilidade de transferência de dados entre as ferramentas.

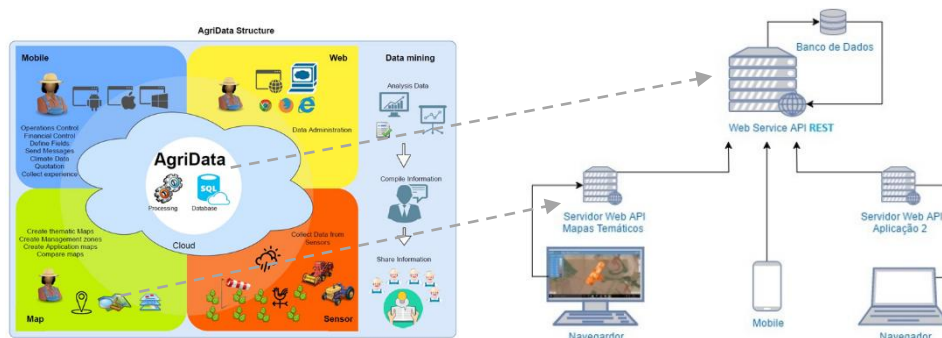


FIGURA 1. Modelo arquitetural do ambiente - Camada servidor e camada cliente.

Conforme pode ser observado no fluxograma de funcionamento do software (Figura 2), devido à necessidade de se trabalhar com uma considerável quantidade de dados, a plataforma desenvolvida teve sua estrutura voltada para o gerenciamento de projetos por usuário. No módulo projeto foram implementados métodos para criar e editar diferentes projetos, cada um deles permite o registro de distintas áreas, as quais recebem suas respectivas grades amostrais e amostras (K, Mg, P, entre outras). Esse módulo dispõe de uma série de interfaces de edição, a qual permite modificar a grade amostral criada a partir de uma grade regular, desse modo, é possível apagar um ponto ou arrasta-lo para o local desejado. Da mesma maneira, após cadastrar a área e suas respectivas amostras, o sistema permite a edição do contorno da área e dos valores dos pontos amostrais, assim como sua exclusão, localização ou informações.

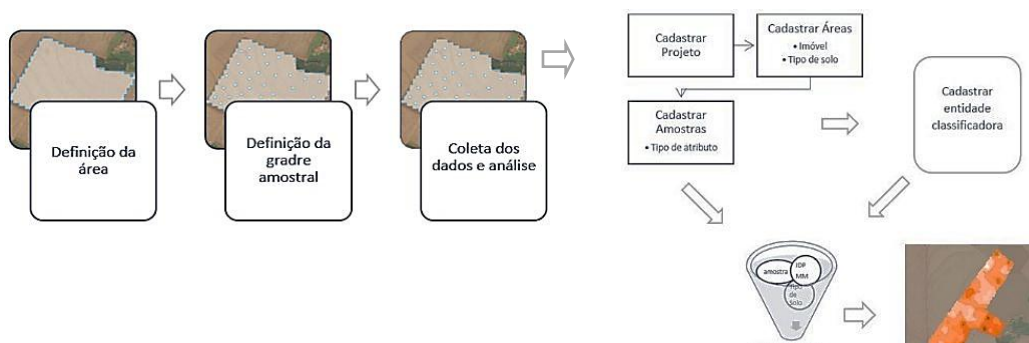


FIGURA 2. Fluxograma de funcionamento do software.

De acordo com a abordagem utilizada pelo sistema, o usuário é capaz de incluir dados referentes ao contorno da área de três formas distintas: Utilizando as coordenadas geográficas as quais podem ser obtidas por meio de um receptor GPS, e transferidas para o sistema utilizando um arquivo no formato texto (‘.txt’) que deve conter duas colunas representando as coordenadas Longitude e Latitude; O segundo método permite a utilização de imagens de satélite disponíveis na plataforma Web e ferramentas de desenho para a delimitação da área do talhão; A terceira opção permite a importação das áreas que foram cadastradas na API por outros sistemas. Para a inclusão de dados referentes aos resultados amostrais coletados, o arquivo com extensão (‘.txt’), além das coordenadas, deverá conter uma terceira coluna com valores referentes ao atributo.

A interpolação de dados é um procedimento necessário para a construção de mapas temáticos. Sua utilização permite estimar o valor de atributos em locais não amostrados com

base nas informações obtidas em pontos próximos que tiveram seus dados coletados. Para a geração dos mapas temáticos foram implementados os métodos de interpolação referentes ao inverso da distância elevado a uma potência (IDP) (Equação 1), média móvel (MM) (Equação 2) e o vizinho mais próximo (VMP).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{D_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^p} \right)} \quad (1)$$

em que, Z – Corresponde ao valor do atributo Z para o ponto a ser interpolado; Z_i – É o valor de Z referente ao vizinho i ; D_i^p – Distância entre o ponto a ser interpolado (Z) e o dado amostrado; p – Corresponde à potência que se deseja.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i)}{n} \quad (2)$$

em que, Z – Corresponde ao valor do atributo Z para o ponto a ser interpolado; Z_i – É o valor de Z referente ao vizinho i ; n – É o número de elementos amostrais utilizados para interpolação.

Na média móvel os valores são estimados com base no cálculo da média dos pontos selecionados pelo usuário, utilizando uma distância predefinida e não a distância entre as amostras e o ponto ao qual se deseja interpolar. Já a técnica VMP, é o método mais simples de interpolação, sua principal característica é assegurar que o valor interpolado seja um dos valores originais. Como não gera novos valores para variável Z, é recomendado quando se trabalha com dados qualitativos.

Para a visualização de mapas temáticos, foi implementado o cadastro de “Entidade Classificadora” que corresponde a uma empresa, órgão ou pesquisador de referência sobre classificações de atributos em forma tabelada. Essa função é uma alternativa que permite gerar o mapa conforme o valor do intervalo proposto pelo classificador.

Ao finalizar a etapa de programação, o software passou por testes de desempenho e acurácia. Para cada tela e funcionalidade específica foram realizados casos de testes visando minimizar resultados indesejados e corrigir erros. Após delimitação da área e inclusão dos dados de cada ponto amostral referente às características químicas do solo e produtividade de milho, foram interpolados os dados de cada atributo para a geração de mapas temáticos utilizando o método IDP e a classificação proposta com Costa e Oliveira (2001). A aplicação foi utilizada para realizar a visualização dos mapas temáticos fazendo uso dos principais navegadores Web: Mozilla Firefox; Google Chrome; Internet Explorer; e Opera.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as análises de estatística descritiva para as propriedades químicas do solo e produtividade do milho da área 1, nos anos de 2014 e 2015. Observa-se que para ambos os anos, o único atributo que apresentou CV considerado muito alto foi o P, os atributos Mg e o Ca apresentaram CV médio e o K apresentou CV alto. A produtividade apresentou CV médio em 2014 e alto em 2015. Quanto aos coeficientes de curtose dos dados, os atributos Ca e produtividade, foram classificados como de distribuição mesocúrtica nos

dois anos analisados. Em 2014 os atributos P, Mg e K apresentaram a distribuição leptocúrtica. Para o ano de 2015 o K apresentou distribuição leptocúrtica e a produtividade do milho mesocúrtica.

Quanto as medidas de forma, em 2014 os atributos Ca, Mg e produtividade do milho apresentaram distribuição simétrica dos dados. Os demais atributos (K e P) apresentaram distribuição assimétrica positiva. Em 2015 a distribuição permaneceu a mesma para os atributos com exceção do K que apresentou distribuição simétrica e o Mg que apresentou assimetria positiva.

Analisando a classificação dos atributos químicos do solo sugerida por Costa e Oliveira (2001), no ano de 2014 os teores de P presente no solo foram 43,0% classificados como médio, 36,0% como alto e 19,0% foram classificados como muito alto, neste período somente 2,0% dos pontos amostrais apresentaram níveis baixos de fósforo. Em 2015 houve um aumento na disponibilidade do atributo, 64,0% dos teores de P passaram a apresentar classificação muito alta e 23,0% como alta. Os 12,0% dos pontos restantes foram classificados como médio.

Os teores dos macronutrientes Mg, Ca e K foram em sua maioria classificados como alto, 100% dos pontos amostrados tiveram o Mg e K classificados como alto em 2015, no ano anterior apenas 2,3% eram classificados como médio para o Mg e 4,8% para o K que tem grande impacto na qualidade da cultura de milho, tendo influência positiva na massa individual de grãos e número de grãos por espiga (VALDERRAMA et al., 2011). O Ca apresentou aumento de 95,3% para 97,6% dos classificados como alto. Os demais pontos tiveram seus níveis classificados como médio.

TABELA 1. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo – 2014/15 (Área 1).

Variável	Mín	Méd	Median	Máx	Amp	D.P	C.V	Ass	Curtose
Química do solo – Ano de 2014									
P (mg/dm ³)*	2,6	7,6	6,6	19,8	17,2	4,1	54,4(ma)	1,3(b)	1,1(c)
Ca (cmol /dm ³)	3,5	4,9	4,9	6,7	3,2	0,8	16,1(m)	0,2(a)	-0,6(a)
Mg (cmol/dm)	0,7	1,4	1,4	2,1	1,4	0,2	18,7(m)	0,1(a)	1,1(c)
K (cmol /dm ³)*	0,2	0,4	0,4	0,7	0,4	0,1	25,7(a)	25,0(b)	-0,7(a)
Prod. (t ha ⁻¹)	6,7	10	10	13,3	6,5	1,1	10,0(m)	-0,3(a)	2,3(c)
Química do solo – ano 2015									
P (mg/dm ³)	4,6	12	11	44,7	40,1	7,6	59,8(ma)	2,3(b)	7,3(c)
Ca (cmol /dm ³)	3,8	5,8	5,7	7,8	3,9	1,0	17,0(m)	-0,0(a)	-0,6(a)
Mg (cmol/dm)*	1,2	1,9	1,9	3,3	2,1	0,3	19,4(m)	1,2(b)	3,4(c)
K (cmol /dm ³)*	0,4	0,9	1,0	1,1	0,6	0,2	27,4(a)	-0,6(a)	-1,1(c)
Prod. (t ha ⁻¹)*	4,5	7,8	8,3	9,8	5,3	1,6	14,6(a)	-0,9(a)	0,8(a)

Mín - Mínimo; Méd - Média; Median - Mediana; Máx - Máximo; D.P - Desvio padrão; Simetria: Simétrica (a); Assimetria Positiva (b); Assimetria Negativa (c); Curtose: Mesocúrtica (a); Platicúrtica (b); Leptocúrtica (c); * Não normal a 5% de probabilidade; C.V - Coeficiente de variação: baixo(b), médio (m), alto (a), muito alto (ma); Amp – Amplitude; Ass – Assimetria.

A Tabela 2 apresenta as análises de estatística descritivas para as propriedades químicas do solo e produtividade do milho da área 2, nos anos de 2014 e 2015. Nos dois anos analisados, apenas o atributo Mg foi classificado com o CV alto, já os atributos Ca e Produtividade do milho foram classificados com CV médio. Os demais atributos P e K permaneceram com o CV classificado como muito alto.

Quanto aos resultados de medida de forma, no ano de 2014 os atributos Ca e produtividade do milho apresentaram distribuição simétrica dos dados e apenas o K apresentou distribuição assimétrica negativa, os demais atributos (P e Mg) apresentaram distribuição assimétrica positiva. Em 2015 os dados permaneceram com a mesma classificação com exceção do K que apresentou assimetria positiva.

Em relação ao coeficiente de curtose dos dados de 2014, os atributos Ca, K, Mg e produtividade foram classificados como de distribuição mesocúrtica e apenas o P como leptocúrtica. Em 2015 os dados de Mg, k e P apresentaram distribuição leptocúrtica. Os demais apresentaram distribuição mesocúrtica para o Ca e platicúrtica para a produtividade.

Analisando a classificação dos atributos químicos do solo sugerida por Costa e Oliveira (2001), os teores do macronutriente primário P no ano 2014 apresentou pontos classificados como baixo (2,3%), médio (42,9%), alto (35,7%) e muito alto (19,4%). Em 2015 a disponibilidade do fósforo aumentou na área de estudo passando a representar 73,0% dos pontos amostrados classificados como muito alto e 21,6% como alto. Os demais pontos (5,4%) apresentaram nível médio. Os níveis dos macronutrientes secundários Mg e Ca foram classificados como alto em 100% dos pontos amostrados para o Mg nos dois anos analisados e 100% para o Ca em 2015, sendo que esse apresentou um significativo aumento em relação ao ano anterior, período em que 88,9% dos pontos eram classificados como nível alto e os demais (11,1%) classificados como médio. O macronutriente K apresentou na maior parte dos pontos amostrados valores classificados como alto, no primeiro ano analisado foram 51,4%, os demais variam de médio (33,0%) a baixo (15,3%), em 2015 a disponibilidade do atributo no solo apresentou aumento passando a representar 82,0% dos pontos amostrados classificados como alto e 16% como médio, neste período um ponto discrepante foi classificado como baixo.

TABELA 2. Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo – 2014/15 (Área 2).

Variável	Mín	Méd	Median	Máx	Amp	D.P	C.V	Ass	Curtose
Química do solo – Ano de 2014									
P (mg/dm ³)*	2,6	10	8,8	56,4	53,8	7,8	72,3(ma)	1,3(b)	16,0(c)
Ca (cmol /dm ³)	3,1	4,9	4,9	6,6	3,5	0,7	17,1(m)	0,0(a)	-0,4(a)
Mg (cmol /dm ³)	0,9	1,7	1,6	3,2	2,3	0,4	27,2(a)	0,8(b)	0,7(a)
K (cmol/dm ³ *)	0,1	0,3	0,3	0,7	0,5	0,1	37,2(ma)	0,7(c)	0,0(a)
Prod. (t ha ⁻¹)	5,2	8,3	8,4	10,7	5,5	0,8	10,8(m)	0,0(a)	1,3(a)
Química do solo – Ano de 2015									
P (mg/dm ³) *	4,7	12	11	33,1	28,3	5,8	46,3(ma)	1,4(b)	2,2(c)
Ca (cmol /dm ³)	3,1	5,3	5,3	8,3	5,2	1,0	19,2(m)	0,3(a)	0,0(a)
Mg (cmol /dm ³)	1,1	2,1	2,0	4,1	2,9	0,4	22,2(a)	1,0(b)	3,6(c)
K (cmol /dm ³) *	0,1	0,4	0,4	1,1	0,9	0,1	38,4(ma)	1,4(b)	3,0(c)
Prod. (t ha ⁻¹) *	5,9	7,8	7,8	9,7	3,7	0,7	10,9(m)	0,2(a)	-0,2(b)

Mín - Mínimo; Méd - Média; Median - Mediana; Máx - Máximo; D.P - Desvio padrão; Simetria: Simétrica (a); Assimetria Positiva (b); Assimetria Negativa (c); Curtose: Mesocúrtica (a); Platicúrtica (b); Leptocúrtica (c); * Não normal a 5% de probabilidade; CV - Coeficiente de variação: baixo(b), médio (m), alto (a), muito alto (ma); Amp – Amplitude; Ass – Assimetria.

Com relação as funcionalidades, o sistema desenvolvido permite visualizar na tela principal os dados geográficos da área de estudo e seus respectivos pontos amostrais presente dentro de um projeto (Figura 3).

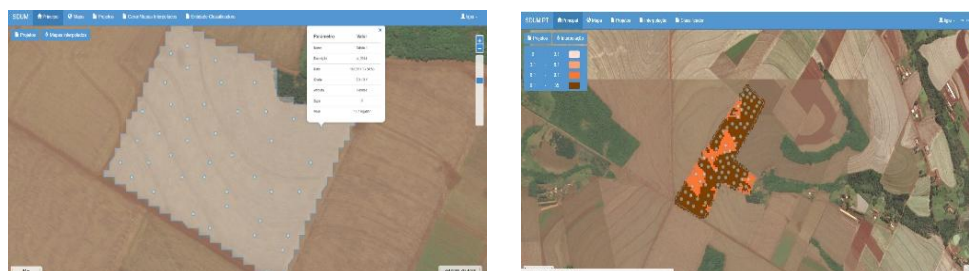


FIGURA 3. Módulos de visualização - Projeto e Mapa Temático.

Na parte superior encontra-se o menu principal que contém todas as funcionalidades de cadastro (cadastrar, editar e excluir) tais como: inserção de áreas e atributos amostrais,

cadastro de imóveis, tipos de solo, tipos de atributo, grade amostral, entidade classificadora, interpolação dos dados e as opções que permitem a troca do idioma apresentado (Português, Inglês e Espanhol). Sobre o mapa estão presentes as funcionalidades de visualização: Projetos e Mapas Interpolados.

Seguindo a arquitetura organizacional do ambiente, após os dados serem cadastrados foi possível realizar a interpolação dos dados para a geração de mapas temáticos. Para essa etapa recomenda-se primeiramente realizar o cadastro de uma entidade, órgão ou pesquisador que apresenta a classificação dos atributos (C, K, P, Ca, etc) que se pretende gerar os mapas de forma tabelada. O cadastro pode ser acessado por meio do menu principal em Entidade Classificadora, que permite realizar o cadastro dos intervalos e cor para cada nível de classificação. Entretanto o sistema permite gerar mapas temáticos sem a necessidade de utilização de uma entidade classificadora. Neste caso, opta-se por um número fixo de ranges, considerando os limites inferiores e superiores de um mapa a ser gerado. O ambiente permite a criação de mapas temáticos por meio do submenu Gerar Mapas Interpolados disponível no menu principal. Na tela de cadastro, o usuário tem a possibilidade de configurar as opções conforme sua necessidade, considerando parâmetros referentes ao tipo de interpolador, ao tamanho do pixel do mapa (resolução espacial), os valores do expoente (somente para o IDP), número de vizinhos e raio.

As Figuras 4 e 5, apresentam os mapas temáticos gerados para as áreas de estudo 1 e 2 respectivamente. Os mapas dos atributos K, Mg, P e Ca apresentam os intervalos da classificação proposta com Costa e Oliveira (2001). Os mapas de produtividade não possuem entidade classificadora, foram gerados utilizando o range padrão proposto pelo sistema.

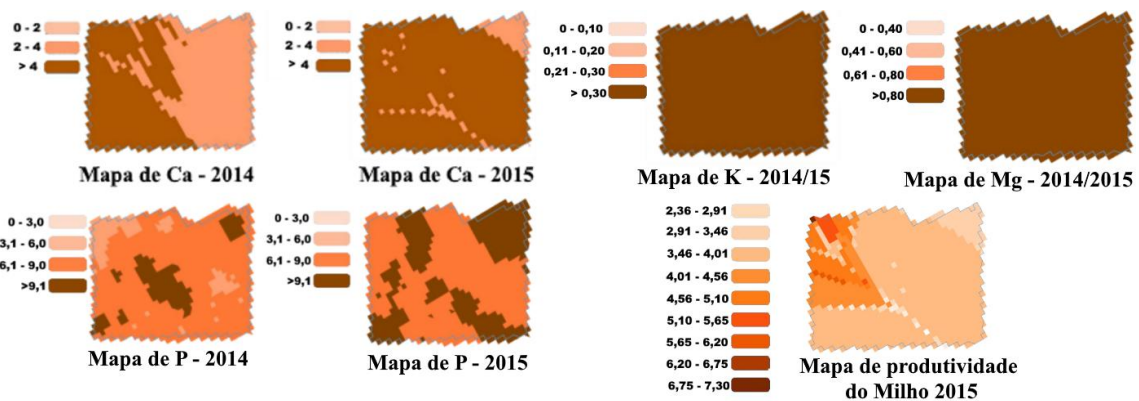


FIGURA 4. Mapas temáticos gerados no sistema para a área 1.

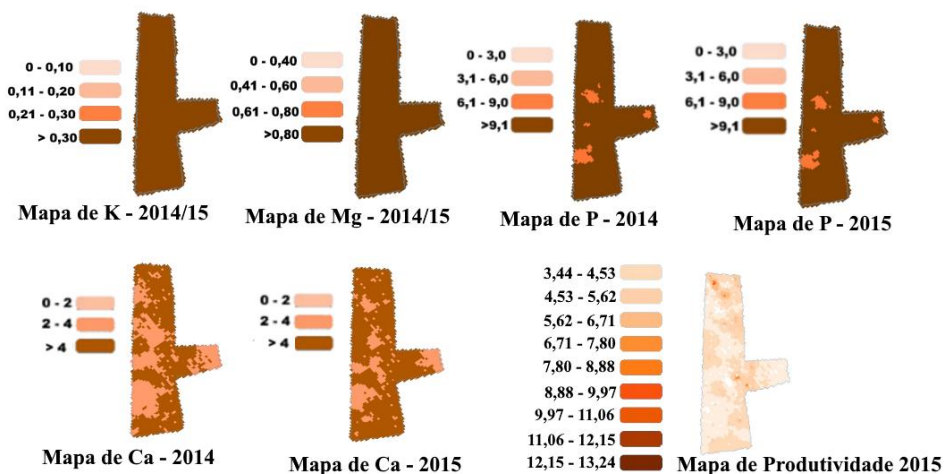


FIGURA 5. Mapas temáticos gerados no sistema para a área 2.

Não foram constatadas alterações na plataforma ao ser acessada em diferentes navegadores (Mozilla Firefox; Google Chrome; Internet Explorer; e Opera).

CONCLUSÕES

Em relação a plataforma desenvolvida, pode-se concluir que o sistema se mostrou uma opção para geração de mapas temáticos, utilizando os métodos de interpolação inverso da distância elevado a uma potência, média móvel e vizinho mais próximo.

Os mapas gerados pelos métodos de interpolação se mostraram similares aos gerados no software SDUM desktop, assim como os gerados por softwares proprietários.

Através dos mapas temáticos gerados no sistema Web, foi possível identificar a variabilidade dos atributos estudados.

A biblioteca OpenLayers 3, apresentou grande potencial, podendo ser uma boa alternativa gratuita para integração de serviços online de mapeamento.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H.; ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Revista Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.952-964, set-out, 2013.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E.G.D. ; BETZEK, N. M. **SDUM Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. PGEAGRI, ed.1, Cascavel, 2015.
- COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas: culturas: soja-milho-rigo-algodão-feijão**. 2 ed. Campo Mourão: COAMO, Cascavel: COODETEC, 2001.
- BETZEK, N. M; SOUZA, E. G.de; BAZZI, C. L.; MATTÉ, M. A.; SCHENATTO, K. Influência no método de interpolação na produtividade de soja em duas áreas amostrais. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2014, São Paulo. **Anais...** São Pedro, 2014. 4 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: CNPSO, p. 412, 2006.
- GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GUEDES, L.P.C.; SCHENATTO, K. Optimization of management zone delineation by using spatial principal components. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.127, p.302-310, 2016.
- GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. 1. ed. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2014. Cap. 5, p. 74-83.
- INTARAPAPONG, W.; HITE, D.; REINSCHMIEDT, L. Water quality impacts of conservation

agricultural practices in the Mississippi Delta. **J. Am. Water Resources Assoc.**, v.38, p. 507–515, 2003.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, p.399, 2009.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 13, n. 1, p. 53–64, 2009.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão. O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2008.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: Números do Mercado Brasileiro. Boletim técnico 03, 2017. Disponível em: <http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub_-boletim-tecnico-03---agricultura-de-precisao-numeros-do-mercado-brasileiro-11-04-2017.pdf>. Acesso em: 26 abril. 2017.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística Aplicada a Experimentos Agrônômicos e Florestais**. Piracicaba: FEALQ, v. 11, p. 309, 2002.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; BIER, V.A.; BETZEK, N.M.; GAVIOLI, A. Data interpolation in the definition of management zones. **Acta Scientiarum**. v.38, p.31-40, 2016a.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; BETZEK, N.M.; GAVIOLI, A. Two approach comparison to define crop management zones (MZs). **African Journal of Agricultural Research**. v.11, n.38, p. 3680-3689, África, 2016b.

SILVA, C. R.; QUINTAS M.C. L.; CENTENO, J. A. S. **Estudo do método de interpolação do inverso da distância a uma potência**. p. 057-062 V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas Presidente Prudente - SP, p. 24-27 de julho de 2007.

SOUZA, E. G. de; BAZZI, C. L.; STIEHL, D. Índice de suavidade de mapas temáticos. X CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL Y II DEL MERCOSUR, 1- 4 Set. CADIR, Rosário Argentina **Anais...** Rosário Argentina, 2009.

SPERANZA, E. A; TORRE-NETO, A.; RODRIGUES, E. L. L.; GREGO, C. L. Métodos e ferramentas de interpolação para geração de mapas georreferenciados para irrigação de precisão. **Anais...CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**, ConBAP, Ribeirão Preto, 27-29 set. 2010.

SPEZIA, G. R. SOUZA, E. G. DE; NÓBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; MILAN, M.; BAZZI, C. L. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. **Rev. bras. eng. agríc. ambient**. v.16, n.4, p.449-457, 2012.

TEIXEIRA, L. A. J.; QUAGGIO, J. A.; MELLIS, E. V. Ganhos de eficiência fertilizante em bananeira sob irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.1, p. 272-278, 2011.

VALDERRAMA, M.; SALATIÉR, B.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e Doses de NPK em Milho Irrigado Sob Plantio Direto. **Esq. Agropec. Trop., Goiânia**, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011.

WHELAN, B.; TAYLOR, J. **Precision Agriculture for Grain Production Systems**. Collingwood, Australia: CSIRO Publishing Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility, 2013.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R.P; CLAYTON, M. K. Mapping Soil Test Phosphorus and Potassium for Variable-Rate Fertilizer Application. **Journal. Prod. Agric.**, v.7, n.4, p.6- 9, 1994.