

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA CLASSIFICAÇÃO DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO, EM PARDINHO - SP

Luciana Corpas Bucene¹; Célia Regina Lopes Zimback²

¹Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas-GEPAG, Engenheira Agrícola, Jundiaí- SP, luciana.bucene@agr.unicamp.br

²Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas-GEPAG, Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, czimback@fca.unesp.br

1. RESUMO

Utilizando-se do Sistema de Informação Geográfica (SIG) IDRISI 32 e da geoestatística e, vendo a necessidade de um planejamento das terras quanto ao seu uso e manejo, este trabalho teve como objetivo classificar terras para irrigação da parte inicial da bacia do Rio Pardo (Pardinho, SP). O presente trabalho foi desenvolvido baseado na metodologia do sistema de classificação de terras para irrigação, "U.S. Bureau of Reclamation", o qual condiz que atributos físicos, químicos e econômicos afetam a adaptabilidade da terra para irrigação. Os resultados obtidos permitiram concluir que a área foi classificada, para fins de irrigação, na Classe 4 (6.000 ha) e na Classe 5 (320 ha) apresentando deficiências de topografia e de solo; o mapa de uso atual da terra indicou que há áreas com culturas não irrigadas (5.729 ha) e com culturas irrigadas (591 ha); apresentou níveis diferentes de produtividade (baixa e muito baixa); em relação ao custo de desenvolvimento da terra, a área apresentou as Classes 1, 2 e 3; a área apresentou baixa necessidade de água; 3.902 ha com restrita drenabilidade e 2.418 ha com pobre drenabilidade, e o SIG IDRISI32 mostrou-se eficiente na determinação da classificação de terras para irrigação.

UNITERMOS: SIG, geoprocessamento, geoestatística, uso da terra, mapeamento do uso do solo.

BUCENE, L. C., ZIMBACK, C. R. L.; GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM IN THE LAND CLASSIFICATION FOR IRRIGATION IN PARDINHO, SP

2. ABSTRACT

Using a Geographical Information System (GIS) IDRISI 32 and geo-statistic techniques and considering the need for land use planning and management, this study aimed to classify land for irrigation from the watershed of Pardo River (Pardinho, SP). The experiment was developed based on the methodology of land classification system for irrigation (U.S. Bureau of Reclamation). In this system, a land class is defined as a category of lands that have similar physical, economic and chemical characteristics, which affect the land adaptability of for irrigation. From obtained results it was possible to conclude that, for irrigation purposes, the area was classified as Class 4 (6.000 ha) and Class 5 (320 ha) presenting topography and soil deficiencies; the map of current land use indicated that there are cultivated areas that are not irrigated (5.729 ha) and irrigated crops (591 ha) with different productivity levels (low and very low). In relation to land development cost, the area is also classified as Classes 1, 2 and 3; the studied area as a whole has low demand for water; it presents 3.902 ha with restricted drainage and 2.418 ha with poor drainage, and the SIG IDRISI32 proved to be an efficient tool to determine the land classification for irrigation.

KEYWORDS: GIS, geoprocessing, geostatistics, land use, soil land use mapping.

3. INTRODUÇÃO

Uma metodologia para o diagnóstico da situação real em que se encontram os recursos naturais em dado espaço geográfico, passa a ser um instrumento necessário em um trabalho de preservação. Dentre as unidades fisiográficas para diagnosticar o grau de deterioração do meio ambiente, destacam-se as microbacias hidrográficas, as quais compreendem uma área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes a montante de uma seção transversal para onde converge toda a água da área considerada (CRUCIANI et al., 1976, citado por FREITAS & KLER, 1996). Ainda, segundo o mesmo autor, essa faz parte de um ecossistema agrícola, de fácil controle, conhecido e facilmente monitorável em todos os seus aspectos, constituindo um campo ideal para estudos do comportamento dos solos frente ao uso e manejo.

Caracterizar o solo quanto ao potencial agrícola é relevante para o desenvolvimento de uma agricultura racional e adequada às condições ambientais de uma determinada região. Tal caracterização deve ser colocada à disposição dos usuários, em forma de mapa, para auxiliar no planejamento da produção agrícola. Para se executar o monitoramento agrícola de uma região é necessário o mapeamento das áreas em estudo, o qual se constitui instrumento imprescindível para representar as diferentes informações temáticas, as potencialidades naturais relativas ao meio físico e o uso atual do solo.

Diante do exposto, o presente estudo propõe a elaboração de um diagnóstico de uma microbacia, apoiado nas técnicas de geoprocessamento e geoestatística, utilizando os recursos do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que irá contribuir para a caracterização fisiográfica de determinada região, bem como irá ao encontro das necessidades municipais de se ter um acervo de informações ambientais, que possa viabilizar o uso mais planejado e adequado dos recursos naturais.

O presente trabalho tem por objetivo elaborar o mapa interpretativo da classificação de terras para irrigação da parte inicial da bacia do Rio Pardo, Botucatu (SP).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo refere-se à parte inicial da bacia do Rio Pardo localizada no Município de Pardinho - SP, cujas coordenadas são: 23°04'52" de latitude Sul e 48°22'25" longitude W (IGC, 1978; IBGE, 1982), com área de 6.320 ha e 45,69 km de perímetro, sendo o divisor de águas entre as bacias do Rio Tietê e Rio Paranapanema, fazendo parte da bacia do Rio Paranapanema. Segundo a classificação de Köppen, o clima regional pertence a classe Cwa e a vegetação nativa regional pode ser enquadrada como Floresta Tropical Subperenifólia e Floresta Tropical Subcaducifólia (Brasil, 1960). Na região em estudo, segundo o IPT (1981), afloram duas formações geológicas: os arenitos mais resistentes ao intemperismo, pertencentes ao Grupo Bauru, Formação Marília e as rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral. De acordo com Zimback (1997), a área é composta pelos solos: Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Roxo (LR), Podzólico Vermelho Amarelo (PV), Solos Litólicos (R), Solos Hidromórficos Indiscriminados (Hi), todos distróficos e textura variando de média a muito argilosa, podendo ser classificadas, segundo Embrapa (1999), como: Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-amarelo e Neossolos.

Foram utilizadas as cartas planialtimétricas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo em escala 1:10.000, com equidistância vertical entre curvas de nível de 5 m, editadas em 1978 pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1978), o mapa semidetalhado de solos, escala 1:10.000 (ZIMBACK, 1997), como base de dados das unidades de solo ocorrentes na bacia do Rio Pardo, os quais foram transformadas em formato digital, e vetorizadas no programa AutoCAD 2000. Foi utilizado a locação de 51 pontos amostrados com as respectivas análises químicas, físicas e morfológicas (ZIMBACK, 1997). Desses pontos, obteve-se informações sobre: pH, CTC (Capacidade de Troca de Cátions), V% (índice de saturação por bases), K (Potássio), Al (Alumínio), Ca (Cálcio), P (Fósforo), Mg (Magnésio), forma do relevo, permeabilidade, k_0 (condutividade hidráulica), teor de argila, água disponível superficial e subsuperficial e macroporosidade, tanto para o horizonte superficial (0-30cm) como para o horizonte subsuperficial (30-120cm). O programa IDRISI for

Windows 32 (EASTMAN, 1999) foi utilizado para realizar todas as análises geoestatísticas e cruzamentos das informações, a partir das características do solo, as curvas de nível, a rede de drenagem e o limite da área da bacia.

Utilizou-se do teste Y, proposto por D'Agostinho, (1971), descrito por Parkin & Robinson (1992) para testar a normalidade dos dados e os que não obedeceram a distribuição normal foram transformados para ln (logaritmo natural).

As características do solo da área foram georreferenciadas e para as características físicas, químicas do solo e as cotas das curvas de nível foram aplicadas as análises da dependência espacial através da construção de semivariogramas experimentais e teóricos (Isaaks & Srivastava, 1989), utilizando-se o SIG IDRISI 32 (EASTMAN, 1999). A partir de valores obtidos do semivariograma e detectada a dependência esperada foi realizada a Krigagem Ordinária Pontual dos valores de cada variável (DAVID, 1988). Na ausência de dependência espacial, como foi notado trabalhando com a CTC e dados de Ca, foi utilizado outro estimador, o Interpol, para a confecção do mapa. Com a interpolação dos valores de cada atributo do solo e os valores de curvas de nível foi obtido o Modelo Numérico do Terreno (MNT), sendo posteriormente, os mapas interpolados de cada atributo cruzado com o limite da área em estudo. Obtendo-se as imagens de cada atributo limitada pela área de estudo, fez-se então para cada mapa, a classificação dos parâmetros de cada atributo do solo dentro de seus respectivos limites, definidos conforme a classificação de terras para irrigação.

Um dos sistemas de classificação de terras para irrigação, mais difundido no mundo é o sistema elaborado pelo "US Bureau of Reclamation", de 1951, e adaptado por Carter (1993), sendo as classes de terra definidas pelos atributos físicos da terra. Nesta classificação de Carter (1993), as classes de terra para irrigação reúnem-se em dois grupos: terras aráveis e aptas para irrigação (quatro classes); terras não aráveis (duas classes), sendo uma provisória. No primeiro grupo tem-se as terras aráveis, ou aptas para irrigação que engloba da classe 1 à classe 4; e no segundo grupo, tem-se as terras não aráveis, ou inaptas para irrigação, que envolve 2 classes, a classe 5 (classe provisória) e a classe 6. A classe 1 tem a maior capacidade de pagamento, com retornos econômicos progressivamente menores à medida que os números de designação das classes aumentam. A classe 5 (classe provisória) indica terras potencialmente aráveis, mas que requerem estudos adicionais para uma classificação definitiva. A classe 6 - para terras não aráveis - representa terras que geram uma renda líquida do lote insuficiente para cobrir custos.

Segundo Carter (1993), as classe de terras definidas como aráveis e não aráveis são apresentadas a seguir:

- **Classe 1 – Arável** – Terras mais aptas para irrigação, sendo capazes de sustentar produções de ampla faixa de culturas, com solo química e fisicamente adequado à produção;
- **Classe 2 – Arável** – Terras com aptidão moderada à irrigação, exigindo custos mais altos para preparo, irrigação e cultivo do que a classe 1;
- **Classe 3 – Arável** – Terras com baixa aptidão para irrigação, por apresentar deficiência de solo, topografia e drenagem, deficiências estas mais severas individualmente ou combinadas. Apresentam menor capacidade produtiva, maiores custos de produção e de desenvolvimento;
- **Classe 4 – Arável** – Terras com aptidão restrita para irrigação, apenas para projetos que apresentem alto retorno econômico, devendo ser usada somente em raras situações;
- **Classe 5 – Provisória** – Terras que necessitam ter resolvidos alguns aspectos do projeto sendo que posteriormente essas terras passam para a classe 4 ou classe 6 ;
- **Classe 6 – Não Arável** – Terras que não atingem os requisitos mínimos para pagar os custos de operação, manutenção e reposição (OM&R) do projeto.

As classes de terras para irrigação devem ser subdivididas em subclasses, sendo usadas para indicar deficiências nos três fatores básicos das terras: solo (s), topografia (t) e drenagem (d).

Os critérios adotados para avaliação das terras aráveis e com aptidão para agricultura irrigada têm como base as normas preconizadas pelo "US Bureau of Reclamation", com adaptações do nível dos estudos às condições da região da parte inicial da Bacia do Rio Pardo.

A Figura 01 ilustra uma representação de classificação de terras para irrigação.

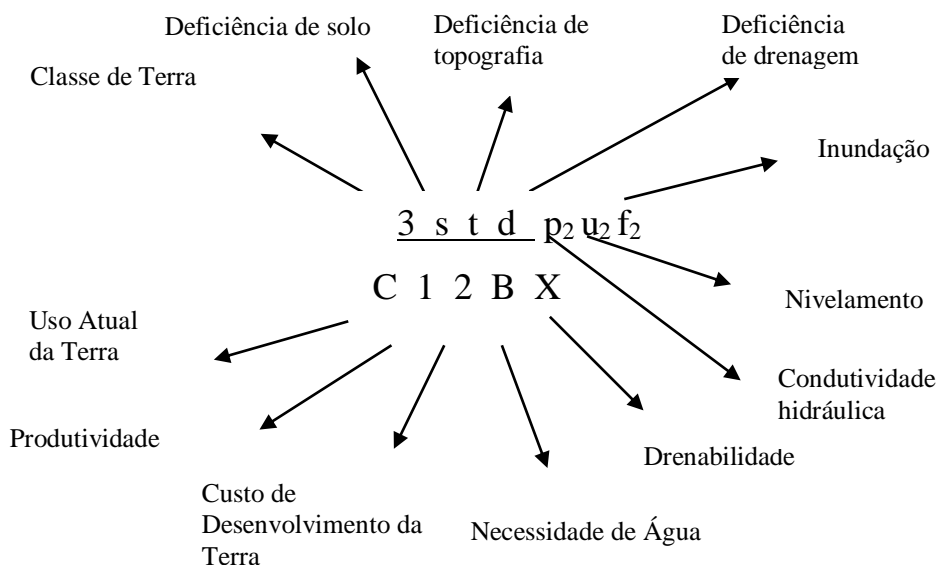


Figura 01 – Fórmula básica para representação cartográfica para classificação de terras para irrigação.

Os símbolos C, 1, 2, B e X são avaliações opcionais e, por conseguinte, nem sempre aparecem na simbologia. As avaliações opcionais ou informativas incluem uso da terra, produtividade, limites de custos de desenvolvimento das terras, drenabilidade e necessidade de água, quando necessários.

• Classe de Terra

De acordo com Carter (1993), seis classes de terras estão disponíveis para serem usadas na designação de arabilidade, à exceção da 1, as demais classes são usualmente divididas em subclasses para fornecer dados complementares relativos à aptidão das terras, ou para suprir apreciações informativas. As classes de terras foram definidas conforme as limitações que cada classe apresentou em relação as subclasses e as deficiências.

• Subclasses e Subscritos Básicos

As designações das subclasses devem ser usadas para fornecer informações básicas relativas às características das terras e à aptidão para irrigação. As subclasses são usadas para indicar deficiências nos três fatores básicos das terras: solo, topografia e drenagem. As razões para se colocarem áreas em classes mais baixas que a Classe 1 são indicadas acrescentando-se as letras “s”, “t” e “d” ao número da classe. A letra mostra se a deficiência é de “solo, de “topografia” ou de “drenagem”. A Classe 1 não possui subclasses (CARTER, 1993).

• Deficiências

Outros símbolos para avaliações informativas podem ser necessários à medida que surgem deficiências de solo, topografia ou drenagem. Estes símbolos devem ser postos no lado direito do símbolo da classe de terras. Tais símbolos podem ser expandidos posteriormente pelo uso de notações mostrando os graus de deficiência. Alguns dos símbolos, citado por Carter (1993), usados frequentemente são: deficiência do solo, como K (profundidade efetiva), v, h (textura), q (água disponível), i (infiltração), p (permeabilidade), x (pedregosidade), y (fertilidade do solo), e (erodibilidade); deficiência de topografia, como, g (declividade), u (nivelamento), c (cobertura vegetal superficial que precisa ser removida), r (rochosidade); e, deficiência de drenagem, como, f (drenagem superficial), w (drenagem subsuperficial), o (escoamento).

• Uso Atual da Terra

Símbolos para uso da terra são auto-explicativos e correspondem à determinação das condições atuais de cultivo (CARTER, 1993). Os símbolos que se seguem são convencionais no oeste dos Estados Unidos; porém, outros podem ser desenvolvidos para corresponder às características da área estudada: C (área cultivada sob irrigação), P (área com pastagens permanentes irrigadas), L (área cultivada não irrigada), G (área com pastagens permanentes não irrigadas), B (caatinga, capoeira ou mata), H (urbano ou imóveis rurais), W (vazadouro), Row (faixa de domínio). Estes símbolos podem ser alterados pela identificação das culturas ou outras formas próprias de uso da terra (CURI et al., 1987). O mapa de uso atual da terra foi elaborado através da interpretação de imagem de satélite Landsat 5/TM em formato digital. A partir da imagem de satélite, a área de estudo foi delimitada, para a realização da classificação supervisionada do uso atual da terra. O método de classificação é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio de algumas áreas em que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis (VENTURIERI et al., 1998). Foi feita uma visita na área para verificar, atualizar e comparar o uso atual da terra com o que a imagem reflete, obtendo-se assim um conhecimento prévio da área de trabalho.

• Produtividade

Produtividade é o efeito combinado da capacidade produtiva de uma parcela de terra específica e dos custos de produção desta (CARTER, 1993). Este termo substitui fertilidade aparente e refere-se à sua maior ou menor riqueza e disponibilidade equilibrada de nutrientes às plantas. Até cinco níveis de produtividade podem ser distinguidos e classificados (LEPSCH, 1991): muito alta, alta, média, baixa e muito baixa, sendo que os seguintes parâmetros, pH, CTC, V%, P, Mg e K, Al e Ca devem ser avaliados. Medidas de produtividade 1, 2, 3, 4 ou 6 podem ser usadas na simbologia para o nível de classe e terras para irrigação deste fator.

Para analisar a produtividade (Tabela 1), obteve-se primeiramente cada mapa de cada atributo estudado, ou seja, mapa de pH, CTC, V, P, Mg, k, Ca e Al, reclassificados de acordo com o limite de cada classe, muito alta, alta, média, baixa ou muito baixa. Após obtenção de cada mapa reclassificado, de acordo com a classificação de produtividade, fez-se então o cruzamento desses mapas entre si.

Tabela 1 – Níveis de produtividade utilizado na simbologia para classificação de terras para irrigação, medidos a partir de parâmetros avaliados nos solo (Zimback & Rodrigues, 1993).

Na fórmula:	Produtividade aparente				
	1	2	3	4	6
Classificação:	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
pH (CaCl ₂)	>6,0	5,6 - 6,0	5,1 - 5,5	4,4 - 5,0	≤ 4,3
CTC (meq/100g)		>10,0	5,0 - 10,0	<5,0	
V (%)	>90	71 - 90	51 - 70	26 - 50	≤ 25
P (ppm)	>80	41 - 80	16 - 40	7 - 15	≤ 6
Mg (meq/100g)		>0,8	0,5 - 0,8	<0,4	
K (meq/100cm ³)	>0,60	0,31 - 0,60	0,16 - 0,30	0,08 - 0,15	≤ 0,07
Ca (meq/100mg)		> 0,7	0,3 - 0,7	< 0,3	
Al		> 0,5		< 0,5	

Inicialmente, cruzou-se os mapas de $pH \times CTC$, $V \times P$, $K \times Mg$ e $Ca \times Al$ e depois multiplicou-se os resultados encontrados dos cruzamentos, obtendo-se o mapa final representativo da produtividade em estudo.

• Custo de Desenvolvimento da Terra

Conforme Carter (1993), o desenvolvimento da terra é a preparação necessária da mesma à irrigação, na forma de melhoramentos relativamente permanentes. Este desenvolvimento é representado por uma gama de custos ou investimentos no melhoramentos das terras, necessários à

obtenção da produtividade estimada. Os requerimentos para desenvolvimento de terras, como a produtividade, recebem valores de 1, 2, 3, 4 ou 6.

Para o mesmo autor, a classificação econômica de terra é um sistema de classificação que foi desenvolvido para a implementação e a operação de projetos de irrigação. Este método consiste em agrupar terras com características físicas distintas, em classes semelhantes de capacidade de reembolso dos custos dos projetos ou classes econômicas. O objetivo da classificação de terras, na fase de planejamento de projetos de irrigação, é verificar se as terras selecionadas para os projetos são aptas à irrigação continuativa, e testar sua capacidade de pagar os custos parcelares de operação, inclusive a água do projeto, ainda fornecendo retornos razoáveis aos fatores de produção da família agrícola, tais como o gerenciamento, a mão-de-obra e o capital.

Parâmetros econômicos devem ser identificados em valores monetários disponíveis, por hectare, para desenvolvimento de terras, ou, em outras palavras, a quantidade de recursos financeiros disponíveis para corrigir deficiências corrigíveis. Estes parâmetros devem ser estabelecidos em quatro níveis: o ponto máximo das terras da Classe 1, o limite entre as terras das Classes 1 e 2, o limite entre as terras das Classes 2 e 3, o ponto mínimo das terras da Classe 3.

O ponto máximo da Classe 1 representa as melhores terras do projeto. É de se esperar que estas tenham apenas pequenas deficiências ou não possuam nenhuma, requerendo, assim, um custo mínimo para desenvolvimento.

O ponto mínimo da Classe 3 representa as piores terras que poderiam receber irrigação no projeto. Esse ponto é identificado, através do processo de orçamento, como a terra mais pobre que produziria, pelo menos, um rendimento parcelar suficiente para fornecer um determinado retorno à família agrícola e pagar a mínima tarifa de água cobrada pelo irrigante.

Segundo Carter (1993), devem ser feitos orçamentos parcelares pelo menos para esses dois pontos. Nos estudos de reconhecimento e nos estágios iniciais dos estudos semidetalhados e detalhados, estes serão freqüentemente os únicos pontos orçados. Os outros dois pontos (o limite entre as Classes 1 e 2 e o limite entre as Classes 2 e 3) devem ser estabelecidos por interpolação. Os outros dois pontos devem ser calculados partindo-se da premissa de que o limite entre as Classes 1 e 2 equivale a 66,66% do total da Classe 1 e o limite entre as Classes 2 e 3, a 33,33%.

Com o apoio da Casa da Agricultura do Município de Pardinho, SP, foi realizado um levantamento para obtenção do resumo de renda e das despesas para se calcular o orçamento parcelar, realizado junto aos produtores rurais da região. Os orçamentos foram utilizados como meio para o cálculo do valor restante, após a dedução das despesas com a produção parcelar e dos retornos à família agrícola pela mão-de-obra, gerenciamento e capital. Após efetuados os cálculos, obteve-se, então, o valor resultante do processo de orçamento, denominado de "Saldo para Desenvolvimento da Terra". Este valor representa a quantia anual, disponível para desenvolvimento de terras que requerem mais do que o mínimo utilizado nos orçamentos parcelares. Este valor anual foi capitalizado em 30 anos, à taxa de 0,5% ao mês, para determinar-se o capital que será usado para o desenvolvimento.

Contendo as coordenadas UTM e as classes de terras correspondentes dos locais amostrados para se desenvolver o custo de desenvolvimento da terra, os dados foram analisados geoestatisticamente e, não sendo detectada a dependência espacial entre os dados, conseqüentemente não sendo indicada a Krigagem, então, foram interpolados pelo interpolador Interpol. Foi feito o cruzamento com o limite da área, obtendo-se a Bacia classificada nas classes de terras correspondente à renda remanescente o desenvolvimento da terra por hectare.

• Necessidade de Água

Este item leva em consideração a estimativa de consumo de água nas terras a serem irrigadas. A avaliação das exigências de água faz-se tendo em conta características do solo (água disponível e condutividade hidráulica).

Foram avaliadas as seguintes características, nos limites, apresentadas na Tabela 02, segundo Curi et al. (1987).

Tabela 02 – Limites para classificar necessidade de água.

Classificação:	Necessidade de água		
	Alta	Média	Baixa
Na fórmula:	C	B	A
Água disponível (Cc – Pmp)	< 80 mm	80-110 mm	> 110 mm
Condutividade Hidráulica	>150mm/h	5-150 mm/h	< 5 mm/h

O mapa de necessidade de água da área foi obtido a partir do cruzamento dos parâmetros: água disponível e condutividade hidráulica. Tendo a classe baixa como fator limitante, é certo então, que se um mapa contendo a classe baixa, foi cruzado com outro mapa com qualquer outra classe, irá resultar sempre na classe baixa.

• Drenabilidade

De acordo com Curi et al. (1987), a avaliação consiste numa estimativa da drenabilidade interna da terra, levando em conta os fatores físicos e químicos que contribuem para a velocidade do movimento da água através do solo, subsolo e substratos previstos na irrigação. Pode-se agrupar as características físicas e químicas do solo que contribuem para a avaliação do fator drenabilidade, de acordo com os fatores avaliados por Lepsch et al. (1991) e Arevalo et al. (1990), como mostrado na Tabela 03.

Tabela 03 – Limites para classificar drenabilidade.

Classificação:	Drenabilidade		
	Boa	Restrita	Pobre
Na fórmula:	X	Y	Z
Forma do relevo	Convexo	Plano	Côncavo
Declividade	>1	1 a 0,5	< 0,5
Permeabilidade	rápida	moderada	lenta
K ₀ (mm/h)	>150	5-150	<5
Macroporosidade (%)	>20	20 a 10	<10
Profundidade LF (épocas das chuvas, mm)			
textura arenosa	>80	80 a 40	<40
textura média			
textura argilosa	>120	120 a 60	<60
	>100	100 a 50	<50

Para a obtenção do mapa de drenabilidade, a partir dos mapas de cada parâmetro, foram elaborados os cruzamentos e, assim, obtido um mapa resultante de drenabilidade superficial e subsuperficial. O mapa de solos e as classes de declive da área de estudo (ZIMBACK, 1997) foram vetorizados no SIG IDRISI 32, para a obtenção do mapa de forma do relevo. O mapa de profundidade de lençol freático, um dos parâmetros estudados para classificar terras para irrigação quanto a drenabilidade, foi calculado através da equação desenvolvida por Simões (2000), onde foi relacionada a distância da rede de drenagem com a profundidade do lençol freático, definida pela equação 01.

$$\text{prof} = 14,0722866e^{-(0,8702206 - 2,9972467\text{dist})} \quad (01)$$

em que,

prof = profundidade do lençol freático, em metros.

dist = distância da rede de drenagem, em quilômetros.

Fez-se, também, a classificação para as classes de declive obtendo-se o mapa de declividade. Com a imagem contendo valores de altitude, foi possível calcular as respectivas declividades. As classes de declive determinadas para fins de drenabilidade para classificação de terras para irrigação são: menor que 0,5%, de 0,5 a 1,0 % e maior que 1,0% (Arevalo et al., 1990).

Após efetuado o cruzamento de dois em dois mapas, cruzou-se os três resultados obtidos, para se obter um único mapa de drenabilidade.

A partir de tabelas de julgamento confeccionadas pôde-se então classificar o mapa final de deficiência de solo, topografia e drenagem, para classificação de terras para irrigação da área em estudo. A partir dos mapas das características que limitam a classificação de terras para irrigação, como declividade, nivelamento, rochiosidade, cobertura vegetal, avaliando-se o fator topografia; inundação, lençol freático, escoamento, na avaliação da drenagem; profundidade efetiva, textura, erodibilidade, água disponível, infiltração, permeabilidade, pedregosidade e fertilidade, na avaliação do fator solo, foi elaborada a classificação para definir as classes de terras. Com os mapas de uso atual da terra, produtividade, custo de desenvolvimento da terra, necessidade de água e drenabilidade pôde-se sobrepor esses mapas e se obter o mapa resultante. Somando esse mapa resultante com o mapa das deficiências, pôde-se obter finalmente o mapa da Bacia estudada com a classificação das terras para irrigação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise geoestatística, efetuada através do semivariograma (JOURNAL & HUIJIBREGTS, 1978; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989 e BRAGA, 1990), no SIG IDRISI 32, mostrou que quase todos os atributos do solo estudado apresentaram dependência espacial, exceto a CTC e Ca. Para o ajuste dos semivariogramas, o modelo esférico foi o escolhido para pH, V%, Mg, k_0 subsuperficial, Macroporosidade subsuperficial e %Argila subsuperficial. Para k, Al, k_0 superficial, %Argila superficial e Ad superficial e subsuperficial, o modelo de melhor ajuste foi o gaussiano. Ajustaram-se bem ao modelo exponencial, o P, a Macroporosidade superficial e dados de curvas de nível. Os atributos do solo CTC e Ca não foram ajustados a um modelo teórico devido não apresentarem dependência espacial, e sim efeito pepita puro. Segundo Zimback (2001), a provável causa de nenhuma dependência espacial para os teores de CTC e Ca é devido o material de origem destes solos ser bastante heterogêneo, a escala utilizada para a análise não foi suficientemente pequena para detectar tais variações.

Através do estudo da intensidade da dependência espacial, dado pela equação $C_0/C_0 + C_1 * 100$ e classificados de acordo com Cambardella et al. (1994), pode-se notar que os atributos pH, P, Ad superficial, tiveram fraca dependência espacial. Para V%, Al, k_0 subsuperficial, Macroporosidade superficial e subsuperficial, Água subsuperficial, Argila superficial e subsuperficial e dados de altimetria apresentaram forte dependência espacial. Apresentaram moderada dependência espacial os atributos Mg, k e k_0 superficial. Pode-se concluir que, em relação a dependência espacial dos atributos do solo estudados, o Mg concordou com Souza et al. (1998), Takeda (2000) e Zimback (2001), e, Salviano et al. (1998) e Zimback (2001), em relação ao K. O efeito pepita é bem maior nas camadas superficiais dos atributos estudados, o que pode-se deduzir que camadas superficiais recebem maiores alterações do meio ambiente e do homem que as camadas subsuperficiais, tornando a aleatoriedade das variações maiores (MARX et al., 1988, TRANGMAR et al., 1985 e CAMBARDELLA et al., 1994). O alcance da dependência espacial, teve os seguintes valores para os atributos do solo: 1) pH, de 3.600m; 2) V% de 2686m; 3) Magnésio (Mg) de 1600m; 4) Potássio (K) de 2100m; 5) Fósforo (P) de 2000m; 6) Alumínio (Al) de 2700m; 7) Condutividade Hidráulica (k_0) superficial de 2200m; 8) Condutividade Hidráulica (k_0) subsuperficial de 7000m; 9) Macroporosidade superficial de 1000m; 10) Macroporosidade subsuperficial de 3987m; 11) Água disponível superficial de 1100m; 12) Água disponível subsuperficial de 1100m; 13) Argila superficial de 900m; 14) Argila subsuperficial de 1885m; 15) Curvas de nível de 1350m. A escala de trabalho não foi suficientemente grande para a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e o Cálcio (Ca) que apresentaram um efeito pepita puro e mostrando que, provavelmente, a dependência entre as amostras ocorra a distâncias inferiores a menor distância analisada neste estudo, exigindo um maior adensamento de amostragem, portanto não apresentam um valor de alcance.

A partir da análise espacial realizada, e percebendo a existência da dependência espacial através da análise geoestatística, fez-se então, a interpolação dos dados através de Krigagem para cada atributo

do solo. Os mapas de cada atributo, após interpolados apresentaram boa distribuição e continuidade. A interpolação do atributo CTC e Ca, como não apresentaram dependência espacial, fez-se então a interpolação pelo interpolador Interpol. Com dependência espacial de fraca a forte, os mapas interpolados mostraram valores contínuos, sem aparentes mudanças abruptas entre classes vizinhas. Mesmo os atributos que apresentam uma dependência espacial fraca, apresentam uma certa continuidade nos dados interpolados, seja pelo método da Krigagem ou pelo interpolador Interpol. Os Modelos Numérico do Terreno (MNT) gerados foram cruzados com o limite da área em estudo.

Os mapas foram reclassificados conforme parâmetros próprios da irrigação estabelecidos para isto, e então, cruzados entre si para posteriormente classificar a área da Bacia em estudo em terras para fins de irrigação (Figura 2).

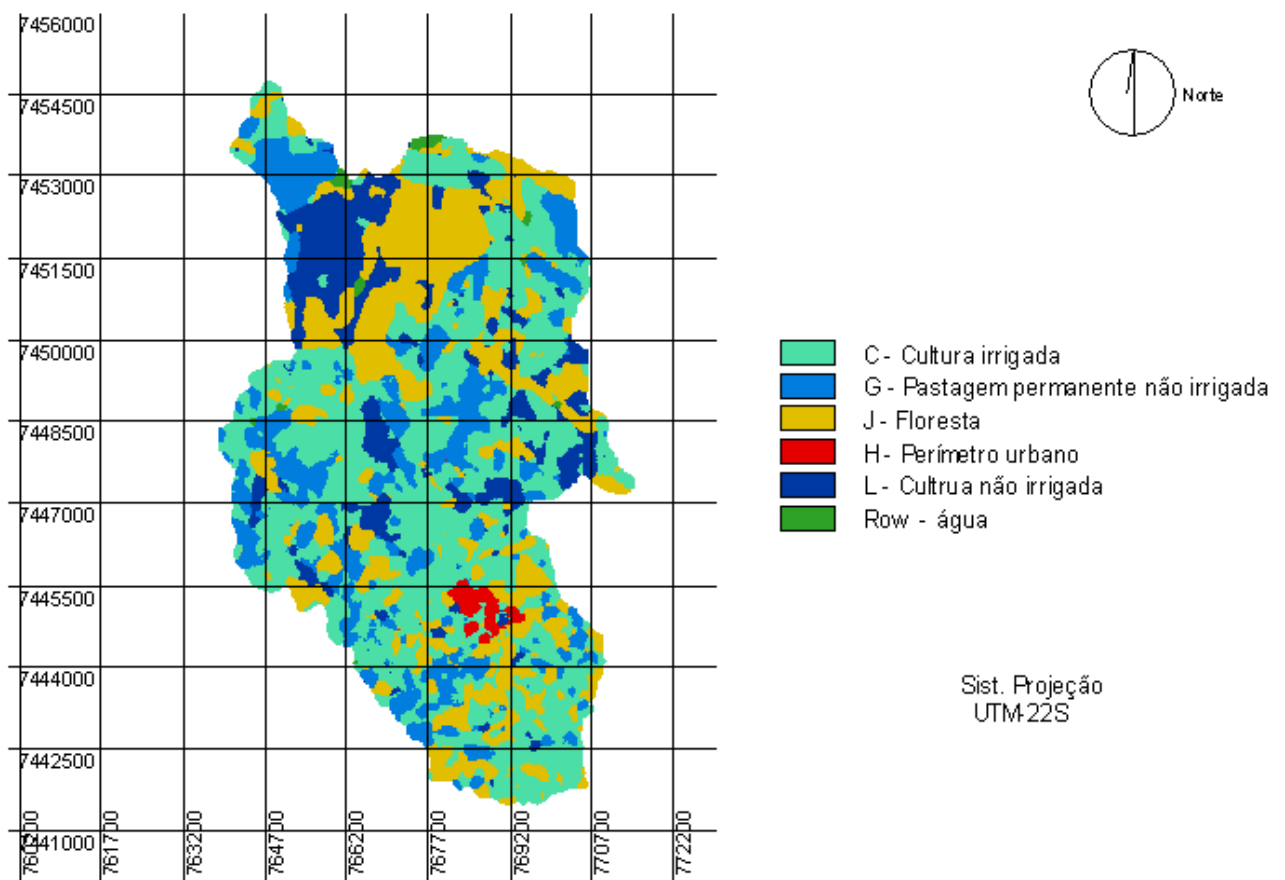


Figura 2 - Mapa de uso atual da terra, conforme parâmetros para classificação de terras para irrigação.

A necessidade de água do lote é representada pela letra A, indicando baixa necessidade de água em toda a Bacia estudada (Figura 3).

O mapa de produtividade (Figura 4) indicou que a área estudada apresenta baixa produtividade na maior parte da área, representada por 4.764 ha e 1.556 ha classificando a área com muito baixa produtividade.

Analisando o custo de desenvolvimento da terra, classificou-se a área de estudo nas classes 1, 2 e 3 (Figura 5). As classes que representam a renda que existe para ser investida na terra classificam a área com a maior parte na Classe 3, com 5.957 ha, 94% da área total. Uma pequena área classificada na Classe 1 e 2, respectivamente, 42 ha e 321 ha.

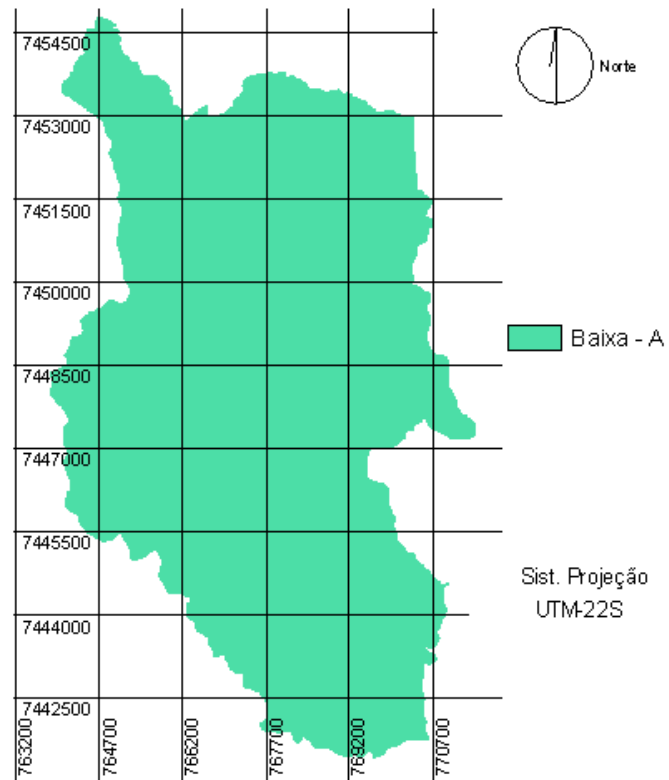


Figura 3- Mapa de necessidade de água.

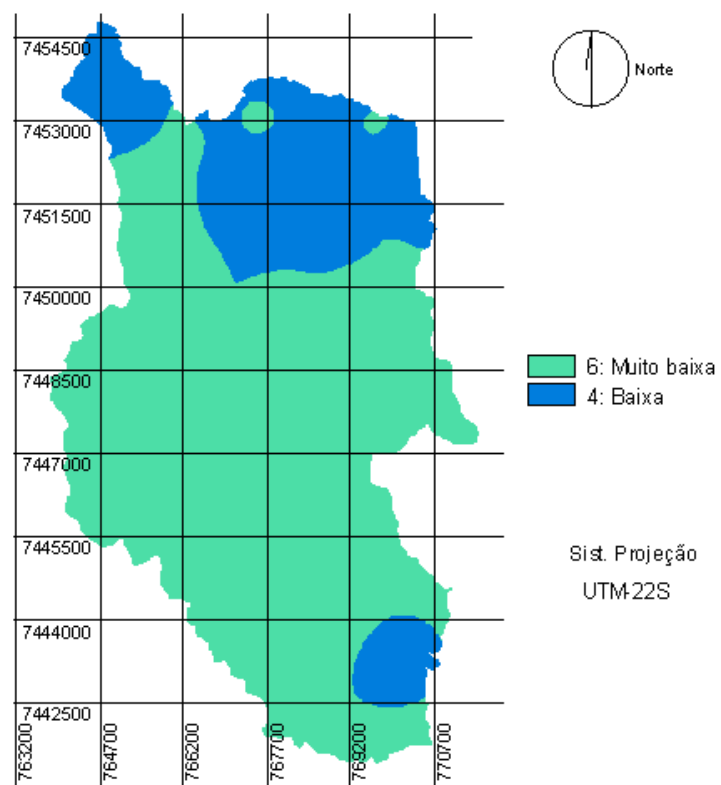


Figura 4 - Mapa de produtividade aparente.

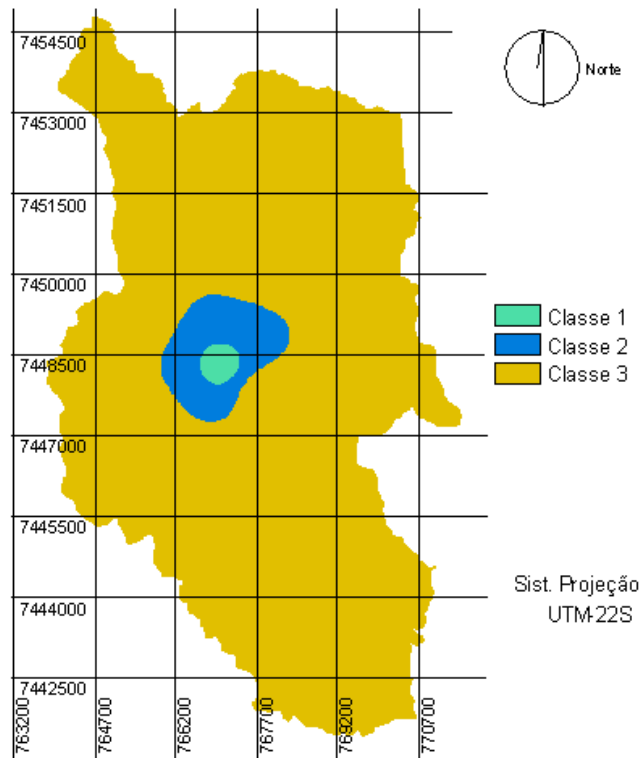


Figura 5- Mapa de classe referente a renda remanescente o desenvolvimento da terra.

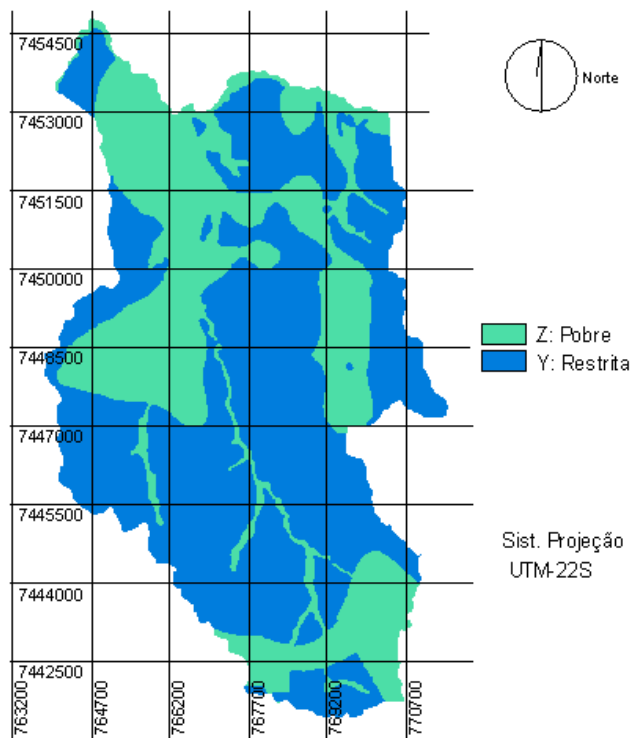


Figura 6 - Mapa de drenabilidade.

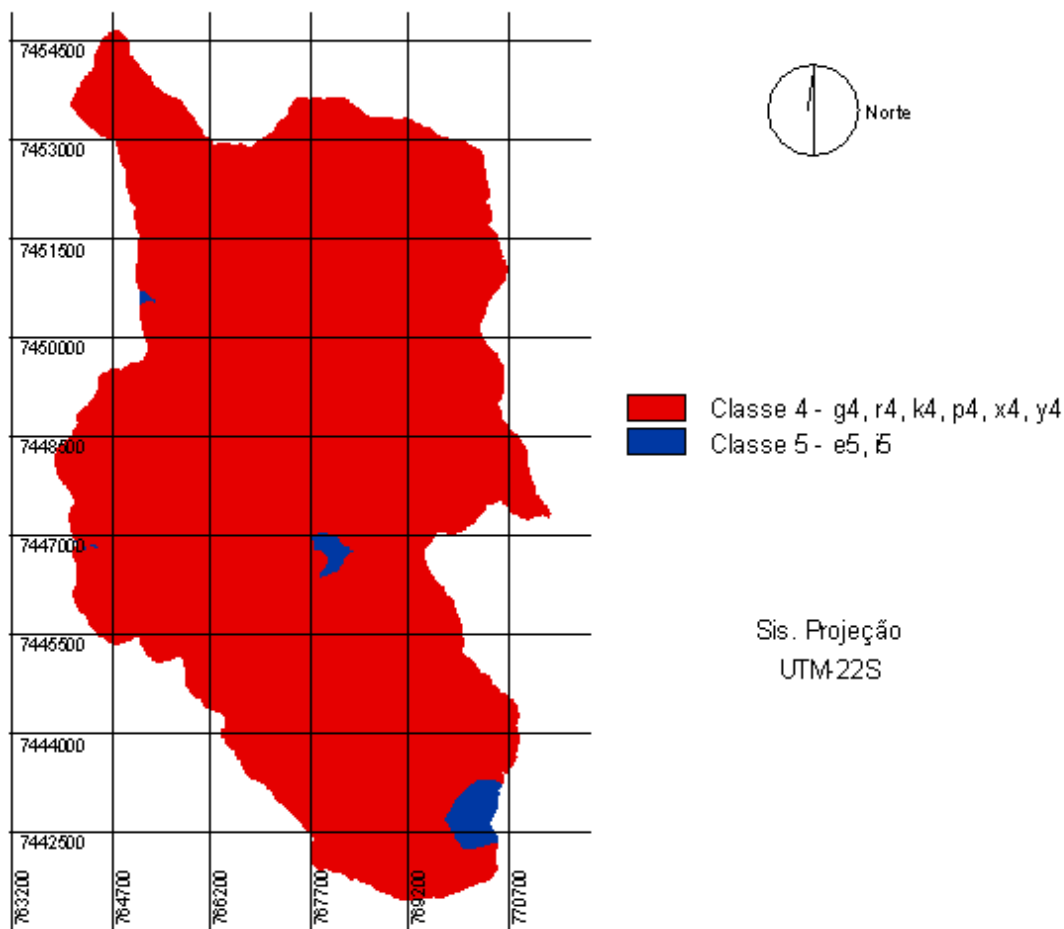


Figura 7 - Mapa de deficiências da área de estudo, com as devidas deficiências.

O mapa de drenabilidade (Figura 6), foi obtido multiplicando os mapas de forma do relevo, declividade, permeabilidade, condutividade hidráulica, macroporosidade e profundidade do lençol freático. A indicação da drenabilidade dividiu a área em duas classes: uma área de 3.902 ha com restrita drenabilidade, indicada pela letra Y e outra área, de 2.418 ha pela letra Z, indicando pobre drenabilidade.

Após obter os mapas de todas as deficiências (solo, topografia e drenagem), obteve-se o mapa geral das deficiências encontradas na área, como mostra a Figura 7. O mapa final das deficiências mostra que a área é classificada em Classe 4, com 6.000 ha e Classe 5, com o restante da área, 320 ha. Apresentando deficiências de topografia e solo.

Segundo Carter (1993), as terras da Classe 4 (Figura 8) devem ser limitadas a situações raras ou específicas e apenas a projetos que geralmente apresentem alto retorno econômico e renda líquida do lote com uma ampla faixa de domínio, bem como, deve representar a terra arável de mais baixa qualidade. As terras podem ter certas deficiências excessivas, que resultam numa utilização restrita, entretanto, possuem os requisitos mínimos para uma terra arável. Podem ser similares às terras de outras classes aráveis, mas apresentam deficiências mais severas. Em todo caso, apresentarão menor produtividade, custo de produção e de desenvolvimento mais altos ou combinações destes, mais restritivas que as das terras de Classe 3, devendo ser usada somente em raras situações. Normalmente é aplicável apenas em estudos em que são considerados cultivos especiais ou com alto retorno. Suas propriedades características devem ser logo reconhecidas para permitir uma avaliação adequada no levantamento.

Representando 5% da área total, a Classe 5, não arável, determina que a arabilidade das terras incluídas nesta classe não pode ser determinada pelos métodos de classificação de rotina; porém, estas terras aparentam possuir valor potencial suficiente para serem separadas para estudos especiais. A designação em Classe 5 é provisória, e normalmente muda para classe arável apropriada ou para a 6, após completada a classificação. Se algum problema relacionado com estas terras não for resolvido, deve-se assumir que elas são não aráveis sob as formulações do projeto proposto. Estas terras podem ter deficiências de solo específicas, como: topografia desfavorável, drenagem inadequada, excessiva cobertura arbórea ou de rochas; ou outras deficiências severas que exijam estudos especiais de agronomia, economia ou engenharia para determinar a sua arabilidade.

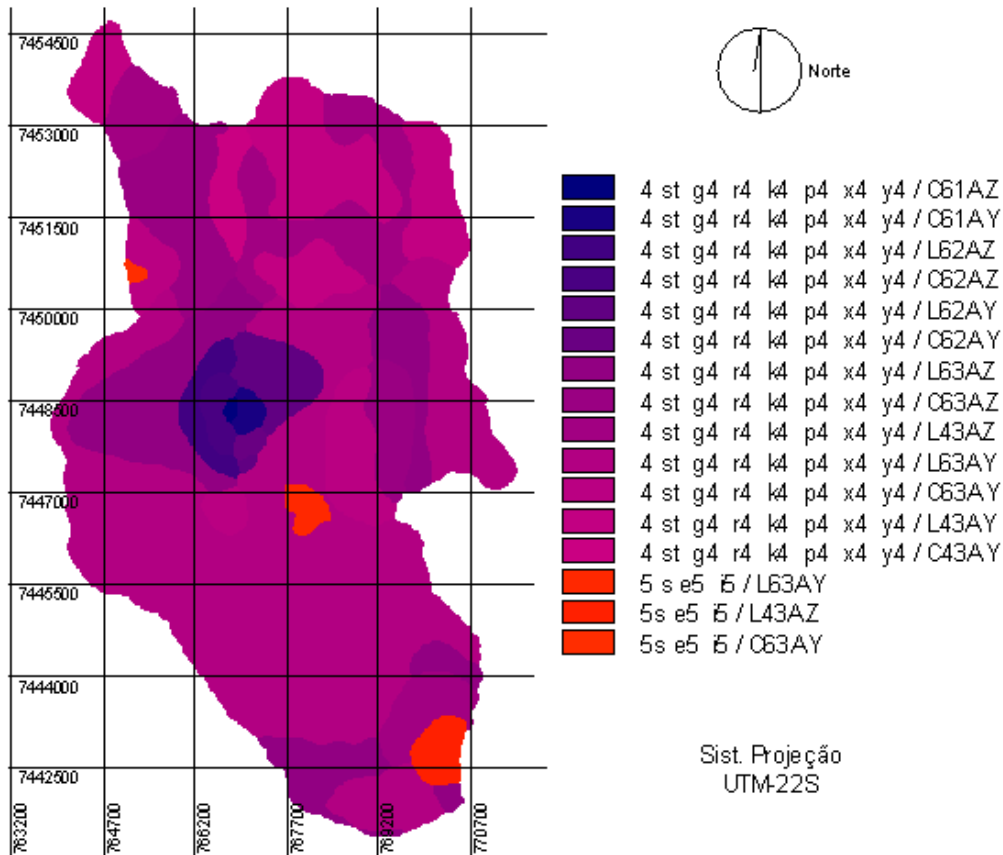


Figura 8 - Mapa de terras para irrigação da parte inicial da Bacia do Rio Pardo – Pardinho (SP).

6. CONCLUSÕES

Pela classificação de terras para irrigação, pode-se concluir:

- a área de estudo permitiu classificar para fins de irrigação, a classe 4, com 6.000 ha (95 % da área) e a classe 5, 320 ha (5 % da área);
- a classe 4 apresentou deficiências de topografia, como declividade e rochosidade, e deficiências de solo, como profundidade efetiva, pedregosidade, permeabilidade e fertilidade, todas com grau de deficiência nível 4 e a Classe 5 apresentou deficiências de solo, como erodibilidade e infiltração, com grau de deficiência nível 5;
- a área da bacia apresenta baixa produtividade em 4.764 ha, 75 % da área, e muito baixa produtividade em 1.556 ha, representando 25 % da área;
- em relação ao custo de desenvolvimento da terra, a área apresenta as Classes 1, 2 e 3;

- a área apresenta baixa necessidade de água, sendo 3.902 ha com restrita drenabilidade e 2.418 ha com pobre drenabilidade;
- o SIG IDRISI 32 foi eficiente na determinação da classificação de terras para irrigação da bacia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREVALO, G. V.; BOTERO, P. J. Un metodo para evaluar la aptitud de la tierras com fines de riego y drenaje. *Acta Agron.*, v. 40, p. 100-122, 1990.

BRAGA, L. P. V. **Geoestatística e aplicações**. Rio de Janeiro: Departamento de Métodos Estatísticos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. 36 p.

BRASIL. Levantamento de reclassificação de solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, 1960.

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 Soc Am J.*, v. 58, p. 1501-11, 1994.

CARTER, V. H. **Classificação de terras para irrigação**. Brasília: Ministério da Integração Regional/Secretaria de Irrigação, 1993. 203 p.

CURI, N.; RESENDE, M.; LOPES, A. S. Solos para irrigação. Brasília: ABEAS, 1987. 62 p. Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 1.

DAVID, M. **Handbook of applied advanced geostatistical ore sererve estimation**. New York, Elsevier, 1988. 216 p.

EASTMAN, J. R. **IDRISI 32 for Windows - User's guide**. Version 2.0. Massachusettes, Clark University, 1999. 2 v.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.

FREITAS, P. L.; KLER, J. C. Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8, 1990, Londrina. *Anais...*Londrina: IAPAR, 1996. p. 43-57.

IBGE. **Carta do Brasil - Quadrícula de Pardinho**. Rio de Janeiro, Escala 1:50.000, 1982.

IGC. **Carta séries SF-22-Z-B-VI-3-SO-F a SF-22-Z-D-III-1-NE-E**. Rio de Janeiro, Escala 1:10.000, 1978.

IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, Escala 1:500.000, 1981.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press., 1989. 560 p.

JOURNEL, A. C.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. Academic Press, London: 1978. 600 p.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para**

- levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4º aproximação.** Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.
- MARX, D. B.; GILMOUR, J. T.; SCOTT, H. D.; FERGUSON, J. A. Effects of long-term water management in a humid region on spatial variability of soil chemical status. **Soil Science.**, v. 145, p. 188-193, 1988.
- PARKIN, T. AB., ROBINSON, J. A. Analysis of lognormal data. **Adv. Soil Science.**, v. 20. p. 191-235, 1992.
- SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 22, p. 115-22, 1998.
- SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias.** 2000. 171 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia /Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R., Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p. 367-72, 1997.
- TAKEDA, E. Y. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a videira (*Vitis vinifera* L.) em Vitória Brasil – SP. 2000. 102 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, v. 38, p. 45-94, 1985.
- VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográfica: aplicações na agricultura.** 2. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa – SPI/ Embrapa – CPAC, 1998. p. 351-371.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f. Dissertação (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- ZIMBACK, C. R. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Pardo nos Municípios de Pardinho e Botucatu.** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas/Universidade Estadual Paulista, 1997. 55 p.
- ZIMBACK, C. R. L.; RODRIGUES, R. M. Determinação das classes de capacidade de uso das terras da Fazenda Experimental de São Manuel – UNESP. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas/Universidade Estadual Paulista, 1993. 18 p.