

VERIFICAÇÃO DE APTIDÃO DE ÁREAS SELECIONADAS PARA INSTALAÇÃO DE PARQUE DE LAZER NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ – PR UTILIZANDO-SE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Roberto Carlos Pinto

RESUMO

Em áreas urbanas, caracterizadas pela concentração populacional alguns problemas de ordem ambiental são comuns. A cidade de Paranaguá - PR, por estar localizada em área de grande fragilidade ambiental, necessita de uma atenção especial, no sentido de evitar impactos negativos no uso e ocupação da terra, assim como na recuperação de áreas degradadas. Nessa perspectiva, a prefeitura municipal, por meio de seu Plano Diretor, propõe a instalação de parques públicos de lazer em área caracterizada pela degradação ambiental, atual depósito de lixo municipal e antigas cavas de exploração de areia que estão extintas atualmente, visando revitalizá-las. Nesse contexto este trabalho tem como objetivo verificar a aptidão da área em receber a referida infraestrutura utilizando-se dos Sistemas de Informações Geográficas, apoiado em análise multicritérios, considerando variáveis do meio físico e socioeconômico possibilitando a classificação da referida área de acordo com seu potencial para receber os equipamentos do parque. Os critérios avaliados foram submetidos à padronização *fuzzy*, agregados e compensados pelo processo de Combinação Linear Ponderada, resultando no mapeamento final de aptidão da área pré-determinada.

Palavras chave: Paranaguá. Parque Público. Sistemas de Informações Geográficas. Lógica *Fuzzy*.

1 INTRODUÇÃO

A partir de verificação em campo, análise de documentos oficiais e literatura específica, constatou-se que a cidade de Paranaguá no Estado do Paraná, em franca expansão urbana e da atividade portuária, encontra-se situada sobre unidades ambientais de grande fragilidade, logo estratégicas para a proteção ambiental. Áreas tais como: restinga, manguezais, matas ciliares e morros, que inclusive são protegidas pela legislação ambiental brasileira, tais realidades fazem com que este município tenha uma preocupação especial no que se refere ao uso e ocupação do espaço em questão.

Além da necessidade de conservação de áreas de grande fragilidade ambiental citadas anteriormente, outra questão diagnosticada no município se refere ao destino final de resíduos sólidos, que atualmente é encaminhado para um lixão¹, e ainda a exploração mineral, mais especificamente de areia, que ocorre, muitas vezes de maneira indiscriminada e sem seguir normas estabelecidas pelos órgãos competentes que são voltadas para a minimização dos impactos ambientais negativos gerados por tais atividades.

Nesse sentido, a prefeitura municipal de Paranaguá, por meio de seu Plano Diretor, elaborado em parceria com a Universidade Federal do Paraná (UFPR), finalizado em agosto de 2007, estabeleceu como uma das propostas de planejamento à revitalização da extensão ocupada pelo lixão municipal e recuperação da área degradada pela atividade de mineração, nas circunvizinhanças, através da implantação de dois parques públicos de lazer.

Segundo o Plano (*op. cit.*), trata-se de um local com grande potencial para receber essa infraestrutura, pois encontra-se dentro da área urbana, com lagos de águas límpidas, que formam uma bela paisagem integrada a Serra do Mar. Lagos que foram formados após a desativação de algumas das cavas de areia existentes no local.

Nesse contexto, este estudo tem como principal objetivo, verificar se a área pré-determinada está apta para receber a instalação do parque, utilizando-se de Sistemas de Informações Geográficas – SIG's, em particular servindo-se da análise multicritérios como subsídio para a tomada de decisão. Recursos que possibilitam a elaboração do mapeamento de superfície de adequabilidade para a proposta, elaborada por meio do cruzamento de *layers*

¹ Segundo o Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A. – IPT (1995), lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

temáticos ou PI's (Planos de Informação) que envolvem potencialidades naturais e socioeconômicas para as instalações.

O uso de técnicas como as de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) contribuem para a eficiência em estudos com objetivos semelhantes, pois manipulam grande quantidade de dados (na presente pesquisa diversas variáveis do meio físico e socioeconômico), transformando-os em informações que auxiliam em análises que respaldem consistentemente as tomadas de decisões.

2 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS E LÓGICA FUZZY

Estudos direcionados ao planejamento territorial, utilizando-se dos Sistemas de Informações Geográficas apoiados na decisão por múltiplos critérios são indicados para análises que envolvam diversas variáveis, essas são submetidas à avaliação, assegurando consistência na tomada de decisão. Segundo Delgado *et. al.* (2005, p. 43)

La evaluación multicriterio puede definirse como um conjunto de técnicas orientadas a asistir em los procesos de toma de decisiones, investigando um número de alternativas bajo múltiples criterios y objetivos em conflicto, generando soluciones de compromiso y jerarquización de las alternativas.

Os critérios considerados funcionam como variáveis/atributos que são avaliados com intuito de atender a determinados objetivos estabelecidos, dando suporte para tomada de decisões. Considerando a busca de áreas aptas a instalação de um parque urbano como sendo uma escolha que envolve muitas variáveis, tanto do meio físico como socioeconômico, os modelos apoiados em análise multicritérios são indicados, pois de acordo com Zanbom *et al* (2005, p. 185).

A análise por múltiplos critérios são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação e que os critérios podem ser do tipo fator, onde o ganho de um critério poderá causar a perda em outro ou do tipo restrições, variáveis que limitam as alternativas em consideração na análise, excluindo-as da análise final.

As variáveis estabelecidas como critérios se relacionam mutuamente e integram um sistema onde as características de uma influenciam nas outras. “As relações estabelecidas entre as

diferentes variáveis dão suporte para o conhecimento dos riscos e potencialidades de uma determinada área diante da ação antrópica. A análise das variáveis e de suas interações contribuem com o planejamento da ocupação humana”. (SOUZA, 2005).

Em processos de tomada de decisão envolvendo diversos critérios, uma questão é fundamental e muito complexa, delimitar como determinado atributo interfere no processo, definindo limite de interferência para os critérios, isso invariavelmente, não fica muito claro aparecendo então, as imprecisões e as incertezas. Na perspectiva de reduzir a margem de erro em tomadas de decisão são utilizados diferentes métodos de inferência espacial como os modelos *bayesiano*, *booleano* e *fuzzy* que atribuem pesos de influência para diferentes variáveis. Nesse caso específico foi utilizado o método *fuzzy* por considerá-lo mais próximo do raciocínio humano, uma vez que em decisões complexas com alto grau de incerteza, invariavelmente o homem estabelece níveis de aceitabilidade, assim como esse método, diferentemente de outras técnicas binárias.

Os benefícios de modelos apoiados em lógica *fuzzy* se relacionam à possibilidade de codificação de conhecimentos incertos, inexatos, numa forma que se aproxima muito aos processos de decisão. “Os sistemas de inferências baseados em lógica *fuzzy* possibilitam, assim, a captura do conhecimento próximo ao “modelo cognitivo” utilizado na análise de problemas. Isto significa que o processo de aquisição do conhecimento é mais fácil, mais confiável e menos sujeito a erros não identificados” (RUHOFF *et al.* 2005, p. 4).

Segundo Paula e Souza (2007, p. 2980)

A lógica *Fuzzy* Criada por Lofti A. Zadeh no início de 1960, é hoje aplicada nas ciências ambientais, medicina, engenharia e em outras. Essa lógica está contida na categoria de análises algébricas de mapas não cumulativas ou análises lógicas, junto com a simultaneidade Booleana e a probabilidade Bayesiana. Os produtos gerados por essa categoria de análise são mapas integrados, ao invés de mapas fundidos gerados pela álgebra de mapas cumulativos.

Por meio da lógica *fuzzy* foi possível executar a padronização das variáveis utilizadas, para posteriormente gerar mapas de aptidão individuais, esse é um processo de conversão dos valores dos dados originais em escores de aptidão ao propósito desejado. “A padronização é necessária para uniformizar as unidades de todos os mapas, atribuindo-lhes uma escala comum de valores para que possam ser agregados gerando um mapa final de aptidão a implantação da infraestrutura”. (WEBER; HASENACK, 2001, p.6).

O processo de padronização *fuzzy*, permitiu combinar e comparar os principais fatores que foram submetidos a avaliação, reclassificando as imagens numa escala contínua, com valores que se referem a sua aptidão, variando de 0 menos apta, a 255 mais apta, sendo considerados os fatores mais relevantes para a instalação do parque.

O uso da classificação contínua dos dados através de funções *fuzzy* permite reter a variabilidade dos dados na integridade, sem as simplificações ou generalizações das análises booleanas, quando uma área só pode ser considerada apta ou inapta a um determinado propósito. A padronização é feita para um intervalo em nível de byte, entre 0 e 255, por meio da rotina *FUZZY* do *Software* IDRISI (WEBER; HASENACK, 2001, p.7).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Por se tratar de análise multicriterial os SIG's contemplam a necessidade de tratamento das informações agregadas, por oferecer módulos especialmente preparados para processos de tomada de decisão, quando são consideradas diversas variáveis. É possível por meio da utilização de um *software* de SIG, por exemplo, elaborar mapeamentos de potencialidades de uma determinada área de acordo com o objetivo proposto. A Combinação Linear Ponderada (WLC) presente no módulo, Avaliação por múltiplos critérios (MCE) do *Software* Idrisi, possibilita esse tipo de trabalho (EASTMAN, 1998).

É importante salientar que o estudo de caso foi elaborado, baseando-se, em consulta ao Plano Diretor e Zoneamento Econômico Ecológico do município de Paranaguá, principalmente aos mapas temáticos desenvolvidos por esse projeto. As atividades de laboratório e os trabalhos de campo foram efetuados paralelamente, sendo, os últimos com intuito de comprovar as análises de gabinete.

Na busca de encontrar mais eficiência na tomada de decisão, utilizou-se a metodologia de classificação por critérios múltiplos, apoiado na lógica nebulosa ou *fuzzy* que permite a elaboração de diagnósticos, prognósticos e análises diversas do ambiente, em meio digital. Katinsky² (1994) *apud* Silva (2003, p. 194) define a metodologia *fuzzy* “como a parte da lógica

² KATINSKY, M. (1994) *Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems*. MsC Thesis, University of Wisconsin-Madsin, USA.

matemática dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural”.

Os critérios utilizados para o procedimento de tomada de decisão são compreendidos por Hasenack (1998, p. 3)

Como critérios restritivos e critérios fatores. Respectivamente, as restrições diferenciam áreas que podem ser consideradas aptas para a instalação do parque, daquelas que não são aptas sob condição alguma, constituindo normalmente mapas *booleanos* com classes do tipo apto/não apto. Fatores, por outro lado, são critérios definem algum grau de aptidão para área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de aptidão, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração naqueles locais fora das restrições absolutas.

Esses elementos são combinados e definem as condições de adequabilidade da área estudada em receber a infraestrutura, ou seja, os equipamentos que são utilizados para recepção e utilização dos frequentadores do parque em conjunto com os lagos e a área verde no entorno.

As variáveis utilizadas como fatores, por estarem, originalmente, em diferentes unidades de medidas, como por exemplo, as distâncias, em metros, ou tipos de vegetação com classes nominais, necessitam serem agrupadas numa mesma escala de medida, essa uniformização entre as medidas de todos os *layers* temáticos originais é possível ser executada por meio do processo de padronização *fuzzy*.

Conforme Weber e Hasenack (2001 p. 07) “A padronização é feita para um intervalo em nível de byte, entre 0 e 255, utilizando-se funções *fuzzy* de pertinência a conjuntos específicos de cada variável, de acordo com critérios estabelecidos”. Por meio dessa metodologia é possível combinar e comparar os diversos fatores estabelecidos como relevantes. Para tanto, esses devem ser reescalados para um intervalo numérico comum, com variação de 0 menos apto a 255 mais apto.

Para comparar os critérios e chegar a uma avaliação, comparando também as próprias avaliações com intuito de produzir decisões, é necessário a construção de uma regra de decisão, que se refere a padronização dos critérios, executadas por meio das funções de pertinência ao conjunto *fuzzy* (Sigmoidal, J-Shaped, Linear e User-Defined), no entanto, nem todos os critérios fatores podem ser padronizados dessa forma por estarem em escala nominal, nesse caso são atribuídos valores arbitrários na escala de 0 menos apto a 255 mais apto. (PÉRICLO; CEMIN, 2006 p. 47).

As restrições *booleanas*, os critérios fatores gerados por meio da padronização *fuzzy* e as justificativas das referidas escolhas estão relacionados a seguir:

- A) Restrição da área externa ao perímetro municipal:** Na presente análise, somente as áreas localizadas dentro do município de Paranaguá interessam, restringe-se, portanto, as áreas externas ao perímetro municipal, essas são excluídas da análise. Embora que em alguns casos seja interessante analisar áreas de municípios vizinhos. Para este estudo e por se tratar de avaliação de uma área pré-selecionada, considera-se apenas as terras pertencentes ao município em questão.
- B) Restrição aos corpos d'água:** Com o intuito de preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por efluentes e de acordo com que estabelece a legislação ambiental que delimita um raio mínimo de 50 metros para as nascentes, de 30m (trinta metros) para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura e de 50m (cinquenta metros) para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50m (cinquenta metros) de largura, exclui-se da análise as áreas com menos de 50m dos corpos d'água, criando uma zona tampão, impedindo que pontos internos a essas dimensões apresentem algum grau de aptidão para as instalações dos equipamentos do parque.
- C) Restrição a faixa domínio das estradas:** De acordo com a Lei 6.766 de 19 de Dezembro de 1979 em seu art. 4º que estabelece que ao longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica, considera-se para efeito dessa pesquisa, restritas para as instalações, áreas localizadas a menos de 15 metros, não apenas das rodovias, mas com objetivo de precaução de ocorrência de danos ambientais e sociais, áreas a menos de 15 metros de qualquer via pública de acesso.
- D) Fator declividade do terreno:** A declividade é um fator que pode limitar ou potencializar a implantação do parque, as declividades acentuadas oferecem maiores riscos de escorregamentos, deslizamentos e as mais suaves são mais apropriadas para a ocupação. A própria legislação ambiental, limita a ocupação em encostas com declividade superior a 45°. Determinou-se que as declividades ideais para as instalações dos equipamentos do parque estão entre 0 e 8% e à medida que a declividade aumenta menos adequada é a área para o objetivo proposto. Nesse caso aplica-se uma função sigmoïdal decrescente, com pontos de controle c: 0 e d:8. A função *fuzzy* apropriada é representada na figura 1.

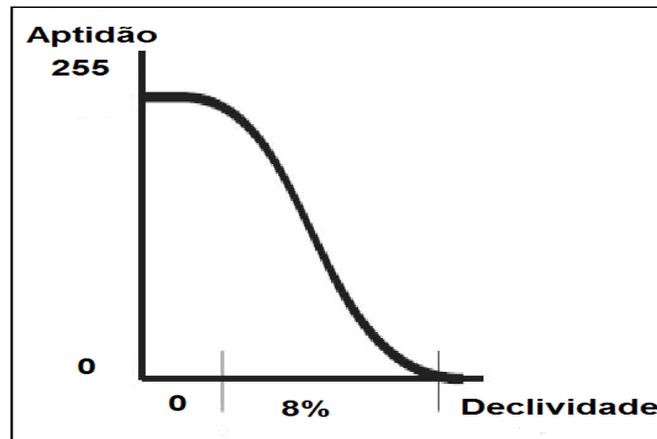


Figura 1: Sigmoide Decrescente – Declividade.

FONTE: Adaptado de Eastman (1998 p. 186)

E) Fator distância dos rios: Para proporcionar maior garantia de preservação das nascentes e canais fluviais, considerou-se as medidas limites estabelecidas pela legislação ambiental e já mencionadas anteriormente. Para as instalações dos equipamentos do parque quanto maior a distância dos corpos d'água mais adequada é a área. Sendo restritas as áreas com menos de 50m dos corpos d'água, com objetivo de diminuir ainda mais os riscos de contaminação dos rios por parte dos usuários, define-se que os equipamentos do parque devam ficar numa distância mínima de 50 metros dos rios, lagoas e nascentes, sendo que, à medida que aumentam as distâncias, melhora aptidão da área, portanto, a função sigmoide crescente descreve essa variação com eficiência com pontos de controle em a: 0 e b: 50m. A função *fuzzy* apropriada é representada na figura 2.

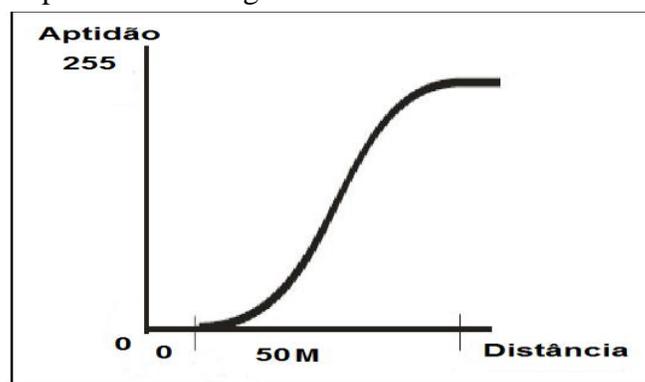


Figura2: Sigmoide Crescente – Distância dos rios, nascente e lagoas.

FONTE: Adaptado de Eastman (1998 p. 185)

F) Fator distância das estradas: semelhante ao fator distância dos corpos d' água, a distância das estradas é um fator contínuo e pode ser reescalado de 0 a 255. Em função do parque urbano

estar voltado para a visitação pública, vias de acesso próximas e em boas condições apresentam-se como relevantes para a eficiência do projeto, pois é por meio dessas vias que a população interessada utilizará os recursos disponibilizados na Unidade de Conservação, obviamente que respeitando a faixa de domínio das rodovias estabelecida por lei e restrita anteriormente por intermédio de operação *booleana*. Determinou-se que a distância ideal para a instalação do estacionamento é de aproximadamente 150 metros dos outros equipamentos, principalmente as canchas poliesportivas e o *playground*, ou seja, as vias acesso pavimentadas, principalmente para automotores, devem estar a uma distância 150 metros dos equipamentos principais do parque, afim de facilitar o deslocamento dos usuários. Nesse caso aplica-se a função sigmoideal decrescente, pois quanto mais distante das vias de acesso menor é a aptidão da área, os pontos de controle são c: 0 e d: 150. A função *fuzzy* apropriada é representada na figura 3.

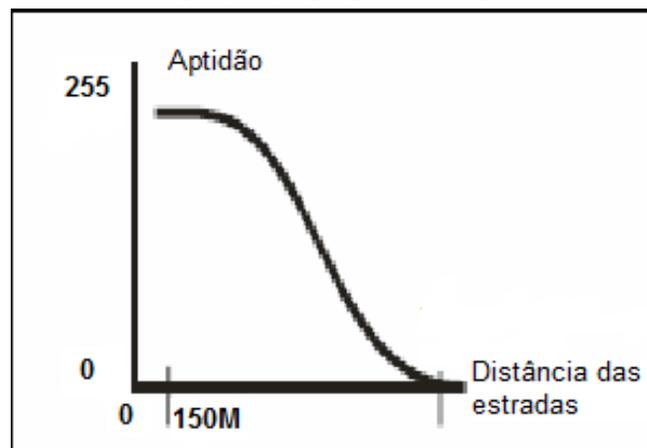


Figura 3: Sigmoideal Decrescente – Distância das estradas.
FONTE: Adaptado de Eastman (1998 p. 186)

G) Fator proximidade das áreas residenciais: Sendo uma das funções do parque proporcionar aumento da qualidade de vida aos munícipes e por ser um empreendimento voltado principalmente para população local, embora existam alguns exemplos de parques urbanos que funcionam como centros de atração turística, recebendo visitantes de outras cidades. É interessante que a instalação, esteja relativamente próxima dos bairros residenciais, sua localização deve estar nas imediações de áreas residenciais, o que facilita o deslocamento, aumentando o número de usuários. Determinou-se que a distância ideal para implantação de um parque urbano é de no máximo a 3 km do bairro residencial mais próximo e a medida que aumentam as distâncias a adequabilidade tende a diminuir pois grandes distâncias aumentam o custo, dificulta o acesso e inibe sua utilização, afetando sua funcionalidade. Nesse caso

aplica-se a função sigmoidal decrescente, com pontos de controle em c : 0 e d : 3000, pois à medida que aumentam as distâncias dos bairros com maior concentração populacional, menos adequada se torna a área. A função *fuzzy* apropriada é representada na figura 4.

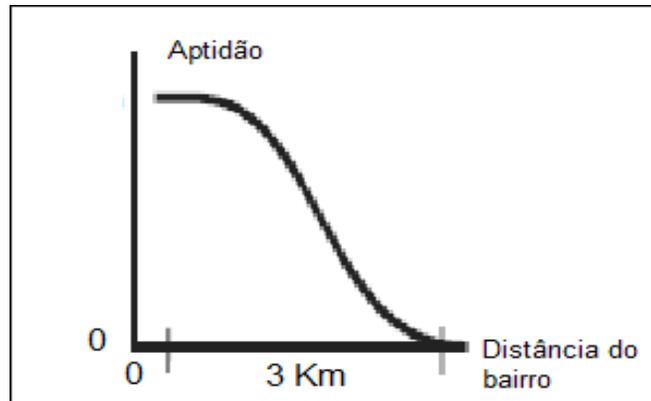


Figura 4: Sigmoidal Decrescente – Distância dos bairros residenciais.

FONTE: Adaptado de Eastman (1998 p. 186)

H) Fator uso do solo e cobertura vegetal: Conforme Guimarães (2007, p. 72) “as informações relativas à cobertura vegetal constituem-se de elevada importância, ao considerar que quanto mais preservada a área, ou quanto mais frágil e suscetível à degradação como, por exemplo, áreas de várzeas e mangues, menor é o potencial apresentado para instalações de qualquer tipo de infraestrutura”.

Nesse caso específico, os pontos com destaque para a restinga, mangue e mata atlântica, apresentam-se como potenciais, desde que, devidamente fiscalizada e protegida pelos órgãos gestores, para serem destinadas como áreas verdes de conservação, localizando-se no entorno dos equipamentos arquitetônicos do parque. Como o objetivo é instalar os equipamentos do parque com o mínimo de impacto negativo ao ambiente natural possível, integrando-os a essas áreas verdes, consideram-se as áreas já utilizadas, com algum tipo de interferência antrópica e de vegetação rasteira (fase inicial de sucessão) como sendo as ideais para tal instalação.

Dessa forma os valores de aptidão são atribuídos arbitrariamente, embora estejam baseados em trabalhos de outros autores e também em conhecimento empírico. A partir do mapa de uso da terra e cobertura vegetal fornecido pela Prefeitura Municipal de Paranaguá, utilizado para o Zoneamento Ecológico Econômico da cidade de 2007, foi possível reconhecer as classes nominais e estabelecer valores numéricos com variação de 0 menos apto a 255 mais apto. Os valores de aptidão são relacionados quadro 1.

Identificador Atual	Legenda	Novo identificador
0	Água	0
1	FI. Ombrófila Densa Alto e Sub Montana	25
2	FI. Ombrófila Densa das Terras Baixas	25
3	Form Pioneiras com Influência Fluvial	25
4	Form Pioneiras com Influência Fluviomarinha – Arbórea	0
5	Form Pioneiras com Influência Fluviomarinha – Herbácea Arbustiva	0
6	Fase Intermediária de Sucessão	50
7	Fase Inicial de Sucessão	255
8	Praia	0
9	Reflorestamento	150
10	Agricultura e Pecuária	200
11	Área Urbanizada	150

Quadro 1: Aptidão *fuzzy* para classes de uso da terra e cobertura vegetal de Paranaguá.

FONTE: O autor (2010)

Após a atribuição dos valores de aptidão, para a padronização *fuzzy* completa é necessário utilizar-se de uma das funções *fuzzy* de pertinência. Nesse caso específico a sigmoideal crescente apresenta-se como ideal, com pontos de controle no mínimo e no máximo de valores de aptidão atribuídos, que são respectivamente para os pontos a: 25 (ponto mínimo com alguma possibilidade) e b: 255. A função *fuzzy* apropriada é representada na figura 5.

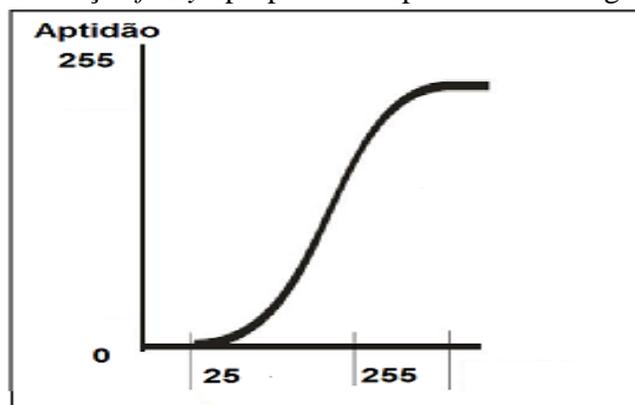


Figura 5: Sigmoideal Crescente – Uso da terra e cobertura vegetal.

FONTE: Adaptado de Eastman (1998 p. 185)

I) Fator aptidão dos solos: O fator solos está relacionado ao seu potencial de resistência aos processos erosivos, sendo que, os solos mais resistentes são considerados mais aptos para efeito da proposta e à medida que ocorre aumento erodibilidade, esses se apresentam como menos adequados para suportar a carga exigida pelos usuários do parque. Da mesma forma que houve a atribuição arbitrária de valores de aptidão numa escala de 0 (menos apto) a 255 (mais apto) na variável cobertura vegetal e uso do solo, é executado também para a aptidão dos solos, essa análise foi efetuada tendo como referencia o mapeamento dos tipos de solos do município de Paranaguá elaborado pela EMBRAPA (1981) descrito a seguir e posteriormente apresentada no quadro 2.

- **C1 - baixo** - terras com limitação nula a ligeira quanto à erosão, necessitando de medidas simples para a sua conservação;
- **C2 - médio** - terras com limitação ligeira a moderada quanto à suscetibilidade à erosão, as quais necessitam para sua conservação de medidas intensivas, incluindo práticas de engenharia de solos e de água;
- **C3 - alto** - terras com limitação moderada a forte quanto à erosão, necessitando para sua conservação do emprego de medidas muito intensivas e complexas, incluindo práticas onerosas

Legenda Atual	Textura	Relevo	Clima	Prática Conservacionista
GZ1	Argilosa	Plano	Af	-
Ekg	Arenosa	Plano	Cfa	C2
Cxbd19	Argilosa	Montanhoso	Af + Cfa	-
Cxbd24	Argilosa	Plano	Af	C1
PVa27	Argilosa	Ondulado + Forte	Af	C4
PVad29	Argilosa	Ondulado + Forte	Af	C4
LVad2	Argilosa	Forte Ondulado	Af	C4
AR2	-	-	Cfb + Cfa	-

Quadro2: níveis de suscetibilidade à erosão das classes de solos.

FONTE: EMBRAPA (1981) Adaptado pelo autor.

De acordo com essas considerações os valores atribuídos para as classes de solos, na perspectiva de evitar a indicação de locais inapropriados para a instalação dos equipamentos com relação à erodibilidade estão relacionados no quadro 3.

Quadro 3: Aptidão fuzzy para classes de solo.

Identificador	Legenda	Novo
0	Água	0
1	Praia	0
2	GZ1 - Associação Gleis e Gleis H indiscriminados	0
3	EKG - Ass. Espossolo C. Rbico hidromórfico hístico C. Rbico ertic	170
4	Cxbd24 - Cambissolo H- Pbico Tb distrófico típico mais gleissolo in	255
5	Cxbd19 - Ass. Cambissolo H- Plico distrófico típico halico + Arg.	25
6	PVAd27 - Argissolo vermelho amarelo distrófico latossolico halico	25
7	PVAd29 - Ass. Argissolo vermelho-amarelo distrófico latossolo ali	25
8	LVAd2 - Latossolo vermelho-amarelo distrófico argissolico halico	25
9	AR2 - Afloramento de rocha neosolo litolico histico alico	0
10	Aterro	0

FONTE: O autor (2010).

Semelhante ao fator anterior, para obtenção da padronização completa faz-se necessário a adaptação dos valores atribuídos para as classes de solos numa função de pertinência *fuzzy*. Utilizou-se para a geração desse *layer* a função sigmoidal crescente com pontos de controles entre o mínimo e o máximo de aptidão atribuídos, que são respectivamente: para a: 25 (ponto mínimo com alguma possibilidade) e b: 255. A função *fuzzy* apropriada é representada na figura 6.

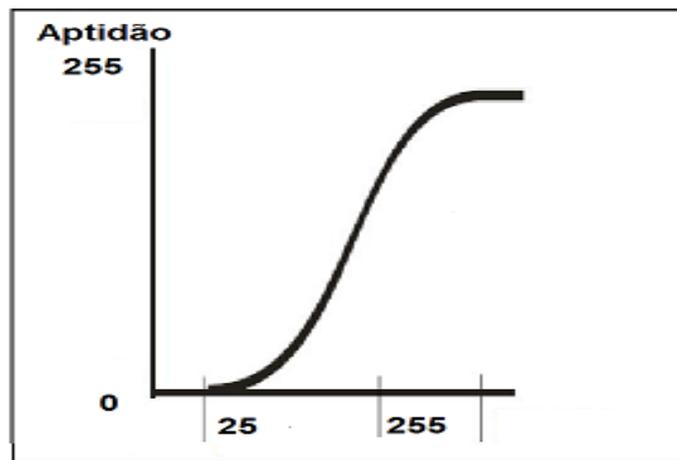


Figura 6: Sigmoidal Crescente – Classes do solo.

FONTE: Adaptado de Eastman (1998 p. 185)

4 PONDERAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Em função da utilização de vários fatores para análise de superfície de aptidão e considerando que esses têm pesos diferenciados no processo de decisão e que um pode ter interferência mais significativa do que outro para o objetivo proposto, foi estabelecido, com uso da rotina *WEIGHT do Idrisi*, uma ponderação das variáveis, de acordo com seu grau de importância sobre a decisão. Por meio de uma técnica de comparação pareada, que possibilita estabelecer os pesos finais dos fatores diminuindo a subjetividade na decisão (WEBER E HASENACK, 2001).

Conforme Eastman (1998, p.195) fatores com aptidão elevada em uma determinada área, pode compensar outros com baixa aptidão nesse mesmo local. Nessa etapa exige-se do pesquisador amplo conhecimento teórico e empírico para alcançar êxito ao contemplar adequadamente pesos aos fatores. Samizava *et al.* (2008, p. 53) destacam que:

O conhecimento empírico do usuário é que orienta a atribuição de valores de importância relativa entre as variáveis, o que determina a aderência do modelo à realidade e que os trabalhos em campo, associados ao conhecimento empírico, auxiliam na diminuição da subjetividade inerente ao processo de análise hierárquica, produzindo informações mais coerentes para a sua aplicação.

A ponderação dos fatores foi feito por meio do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) que segundo Câmara *et al.* (2001, p. 29)

Foi proposto por Saaty em 1978 e é uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida.

Nesse processo os pesos dos respectivos critérios devem ser atribuídos de acordo com sua importância para a proposta, priorizando a prevenção de possíveis danos ambientais com a instalação do parque. Nesse sentido as variáveis receberam seus pesos na seqüência a seguir:

- a) Distância dos rios: Para esse critério foi atribuído peso maior, com objetivo de assegurar que as Áreas de Preservação Permanente não sejam comprometidas, principalmente por usuários dos equipamentos do parque.
- b) Uso da terra e cobertura vegetal: Esse critério encontra-se em segundo lugar em importância, na perspectiva de conservar a fauna e flora local, recuperar áreas degradadas e por fim impedir a ocupação de ambientes caracterizados por sua fragilidade ambiental.

- c) Distância das áreas residenciais: O peso para esse fator se refere a funcionalidade do parque, enquanto meio para prática de esporte e lazer, visando atender maior número de usuários, aparece em terceiro lugar.
- d) Distância das estradas: Também referindo-se a funcionalidade do parque, esse fator aparece em quarto lugar, visando facilitar o deslocamento dos usuários.
- e) Tipos de solo: Em quinto lugar é atribuído peso para o fator solos, com objetivo de locar os equipamentos em locais apropriados, objetivando impedir a ocorrência de processos erosivos. A quinta posição para os solos é em função de que atualmente as técnicas modernas de engenharia podem compensar solos relativamente frágeis, para determinadas construções, principalmente se referindo a estruturas simples como, sanitários, estacionamento e uma sede administrativa e alguns equipamentos que se utilizam do próprio solo como as canchas poliesportivas, pista de caminhada e *playground*.
- f) Declividade: Em seguida, o fator declividade, visando locar os equipamentos de esporte e lazer em terreno plano, diminuindo custos e facilitando a instalação.

A figura 7 apresenta o módulo WEIGHT com os pesos atribuídos para os fatores submetidos à padronização, o quadro 4 mostra o resultado do processo com os respectivos pesos finais para cada fator, que serão submetidos a avaliação multicritérios por meio da Combinação Linear Ponderada (WLC).

Pairwise Comparison 9 Point Continuous Rating Scale

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremely	very strongly	strongly	moderately	equally	moderately	strongly	very strongly	extremely
Less Important					More Important			

Pairwise comparison file to be saved : ...

	rios fuzzy	uso e vegetaçã	areas residenci	estradas fuzzy	solos fuzzy	declividade fuzi
rios fuzzy	1					
uso e vegetaçã	1/2	1				
areas residenci	1/3	1/2	1			
estradas fuzzy	1/5	1/3	1	1		
solos fuzzy	1/3	1/3	1/2	1/2	1	
declividade fuzi	1/3	1/3	1/2	1	1	1

Compare the relative importance of declividade fuzzy to solos fuzzy

Figura7: Pesos de Importância Relativa.

FONTE: *Software Idrisi Andes*. Atividade de laboratório

FATOR	PESOS FINAIS
Rios <i>fuzzy</i>	0.3630
Uso e vegetação <i>fuzzy</i>	0.2404
Áreas residenciais <i>fuzzy</i>	0.1302
Estradas <i>fuzzy</i>	0.1018
Solos <i>fuzzy</i>	0.0782
Declividade <i>fuzzy</i>	0.0864

Quadro 4 - Pesos calculados

FONTE: *Software Idrisi Andes*.

Atividade de laboratório *Consistency ratio = 0.03 (Consistency is acceptable)*

5 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA – WCL

Após o processo de ponderação dos pesos pareados pela técnica AHP, que resultou nos pesos finais de importância para cada variável, visando finalizar o processo de agregação dos fatores, foi utilizado o método de compensação entre todos os fatores envolvidos na análise, por meio do processo denominado de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WCL*) do *software Idrisi Andes* no módulo de avaliação por critérios múltiplos (*Multi Criteria Evaluation – MCE*). Segundo Périgo e Cemin (2006, p.47) o WLC combina todos os fatores normalizados através de uma média ponderada.

De acordo com Eastman (1998, p. 188)

O procedimento WLC permite uma completa compensação entre todos os fatores. O grau com que um fator pode compensar outro, entretanto, é determinado pelo seu peso. Nesse sentido um alto escore de aptidão em um determinado *layer* em uma determinada área pode compensar uma baixa aptidão de um outro *layer* nessa mesma área. O WLC é uma técnica baseada nas médias e que coloca a análise exatamente a meio caminho das operações AND (mínimo) e do OR (máximo), isto é, nenhum risco extremo e nenhum extremo de aversão ao risco.

Esse programa multiplica cada fator por seu peso correspondente somando a seguir o resultado desses fatores, o último passo no WLC é multiplicar as restrições *booleanas*, nesse caso específico, a distância mínima dos corpos d'água, das estradas e o perímetro externo ao

município, eliminando as áreas que não são aptas em condição alguma da análise (EASTMAN, 1998).

O módulo MCE com as restrições e os pesos finais dos fatores são demonstrados na figura 8.

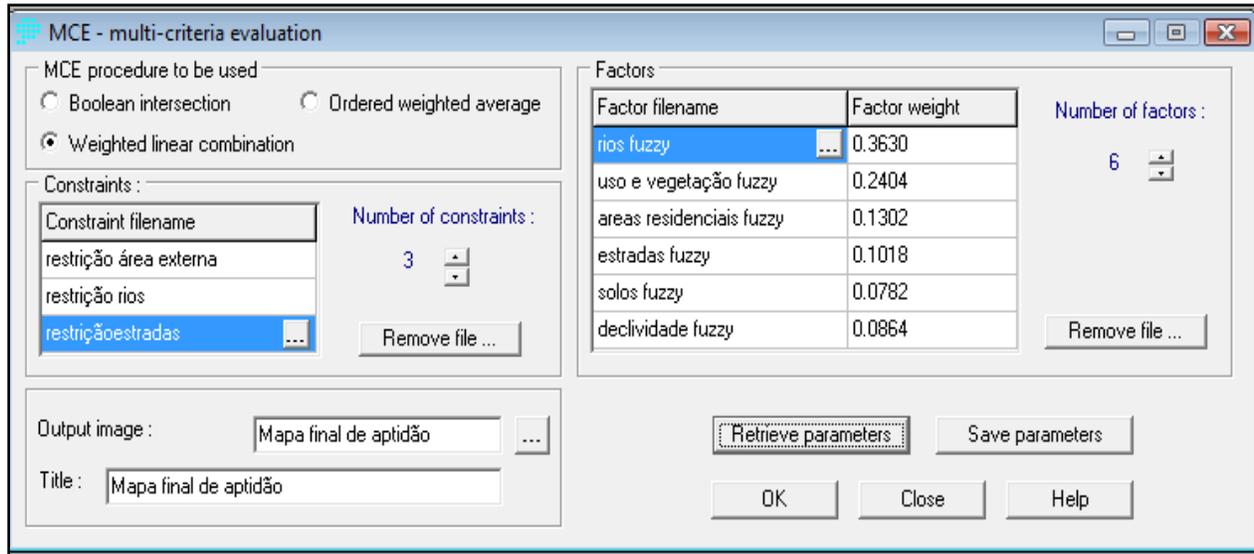


Figura 8: Módulo de análise multicritérios – MCE.
 FONTE: *Software Idrisi Andes. Atividade de laboratório*

6 RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de integração dos fatores resultou num *layer* de áreas potenciais detalhado para a instalação dos equipamentos do parque público para o perímetro municipal de Paranaguá, com variação de 0 menos apto a 255 mais apto. As áreas menos adequadas são pontos com algumas características que interferem desfavoravelmente para as instalações dos equipamentos em função de fatores limitantes como elevada declividade, solos inapropriados, distante das vias de acesso, dos bairros residenciais ou próximos de rios. A imagem seguinte (figura 9) apresenta o mapa final de aptidão, as cores avermelhadas representam potencial mais elevado.

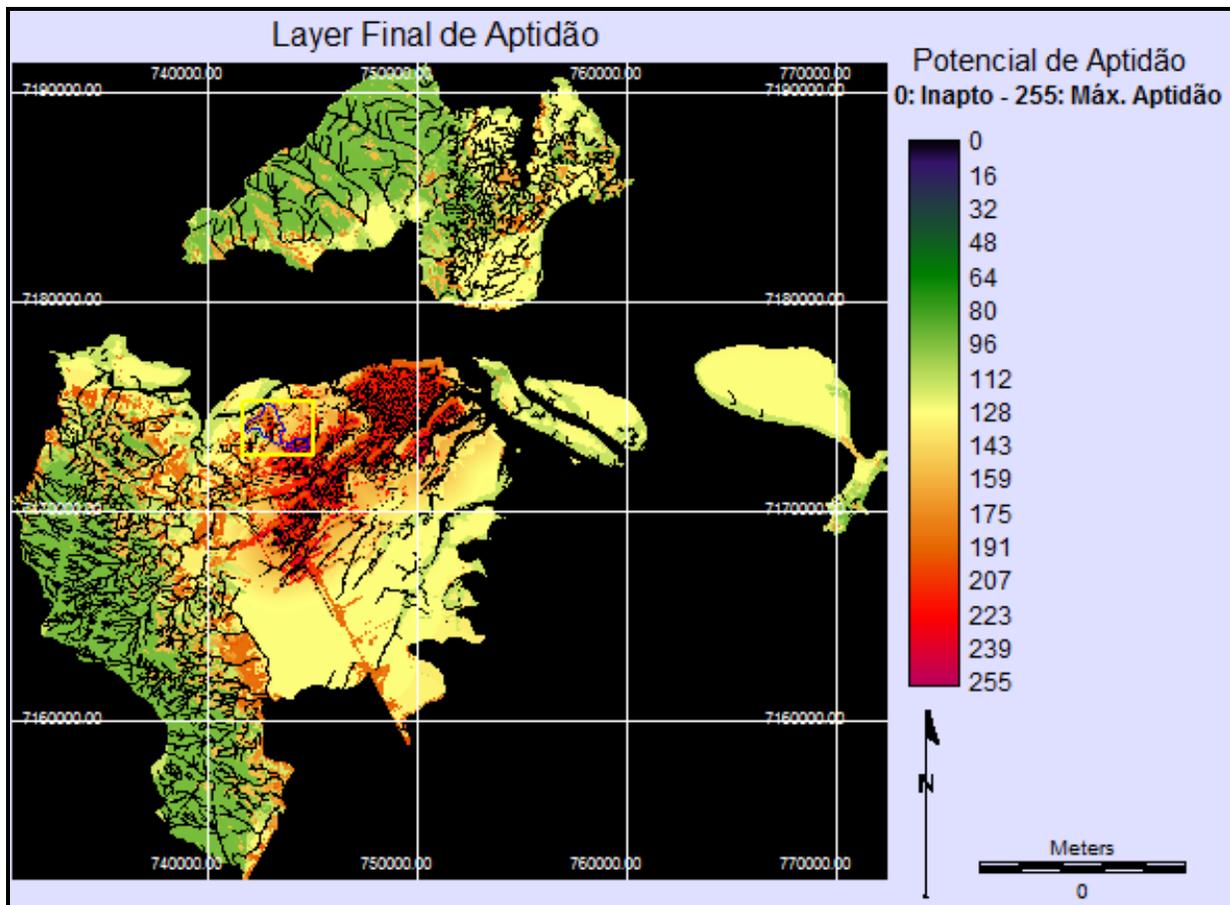


Figura 9: layer com aptidão final para instalação do parque.
 FONTE: O autor (2010)

De acordo com análise do *layer* final de adequabilidade da área, constata-se que no entorno da área indicada existem pontos com potencial de mediano a elevado para instalações dos equipamentos, com escores variando de 160 a 255, essa análise pode ser efetuada com mais facilidade com a visualização do *layer* ampliado, com recorte da área de interesse. Representado na figura 10.

As áreas que apresentam escores mais elevados, encontram-se nas imediações do depósito de lixo ou Parque das Cavas I, nessas imediações ocorrem faixas com níveis de aptidão elevada, próximo ao escore máximo, que oferecem, portanto, condições favoráveis para as instalações. A etapa de análise de dados obtidos em campo confirmou a viabilidade no que se refere às dimensões necessárias para locar determinados equipamentos, avaliação que inclusive possibilitou propor melhor distribuição dos mesmos.

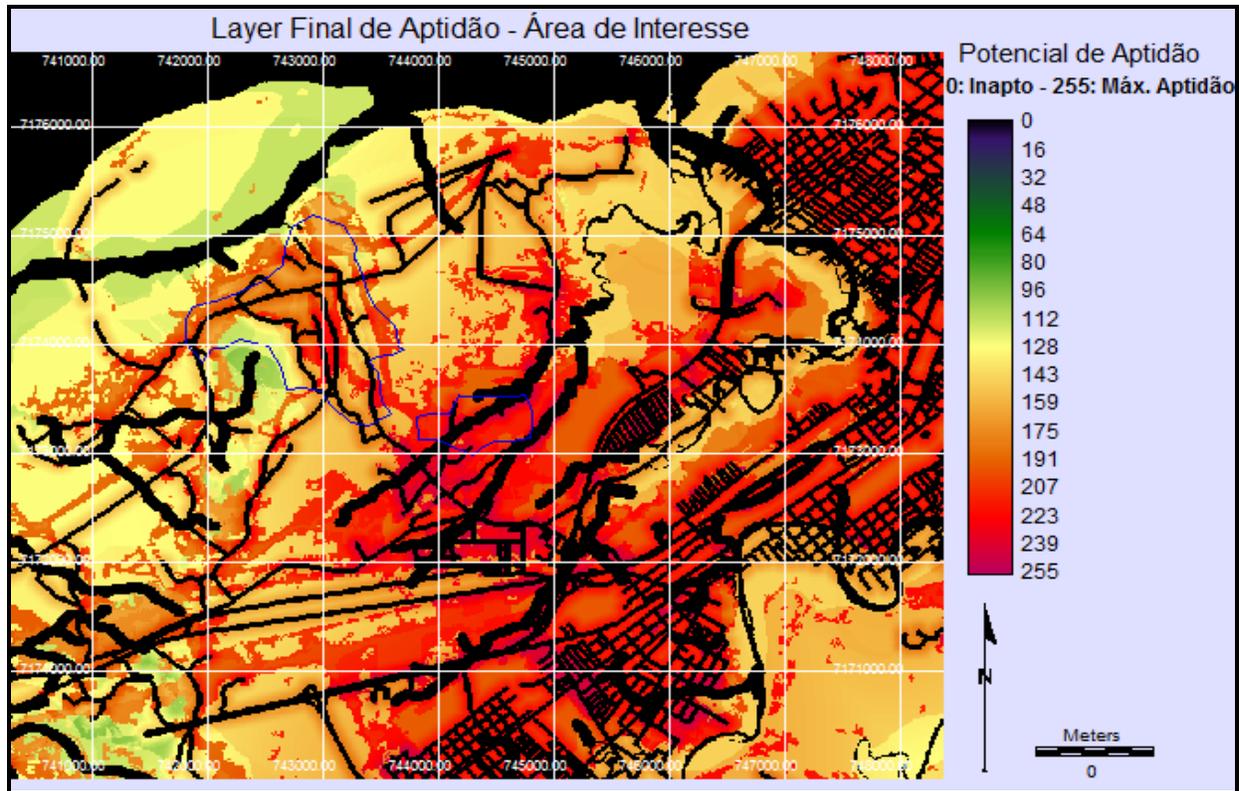


Figura 10 - *layer* com aptidão final para instalação do parque, área de interesse.
 FONTE: O autor (2010)

Finalizando o mapeamento foi elaborada um *layer* com classes de aptidão de acordo com os níveis 0–inapta, 1-muito fraca, 2-fraca, 3-média, 4-forte e 5- muito forte, para a área de interesse, foi possível verificar que as áreas contíguas as cavas apresentam as classes média, forte e em menor extensão a classe muito forte, demonstrado na figura 12. Em seguida estão relacionadas as respectivas dimensões, em hectares, para os níveis apresentados no *layer*, cálculo executado pelo próprio *software Idrisi Andes*, no módulo denominado *ÁREA*. Quadro 5.

Com o objetivo maior de contribuir com o planejamento e proporcionar mais confiabilidade na implantação das Unidades de Conservação de responsabilidade municipal, caso específico dessa proposta, desenvolveu-se essa pesquisa utilizando-se como principais instrumentos a análise por múltiplos critérios apoiadas em técnicas de Sistemas de Informações Geográficas.

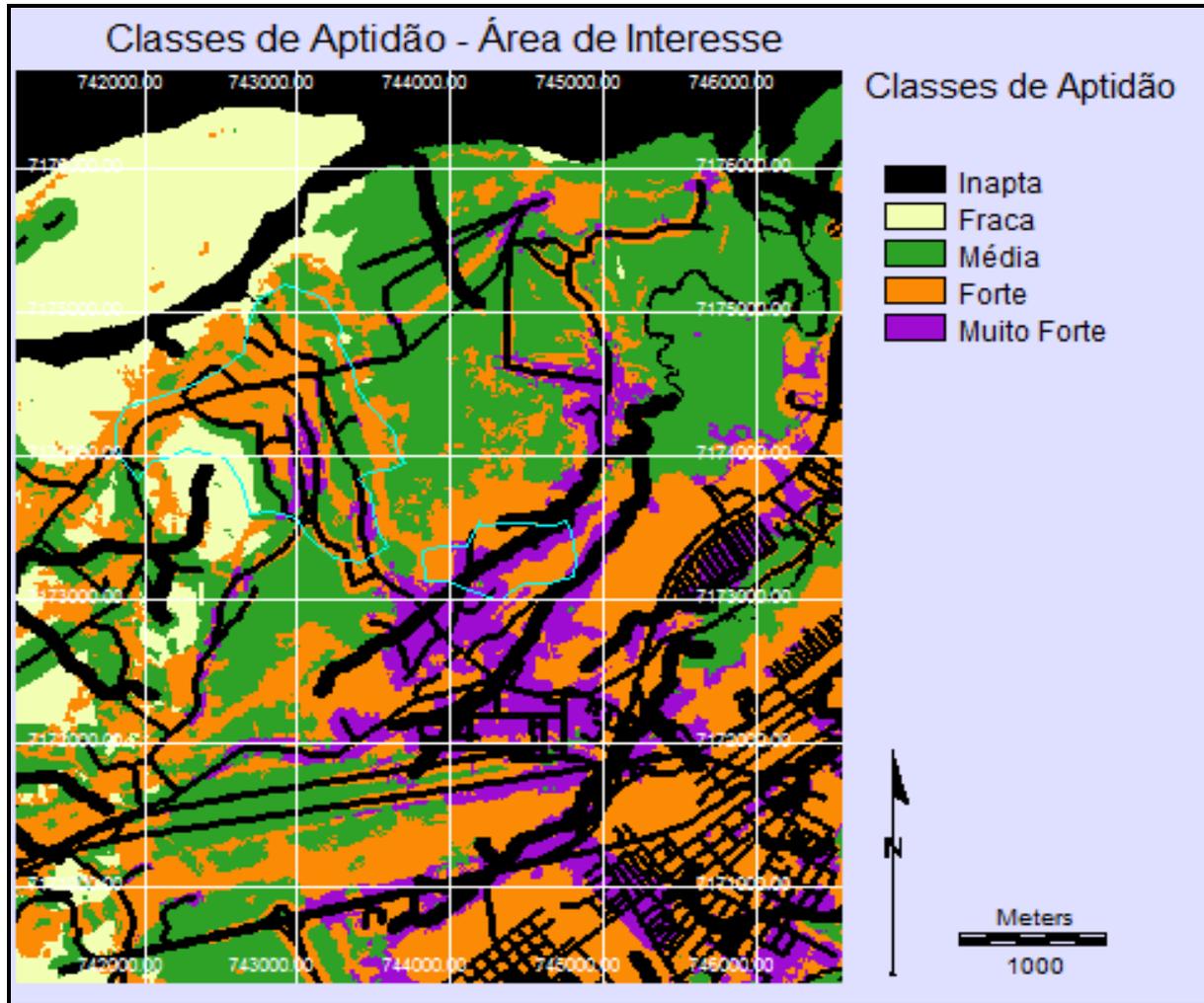


Figura 11: *layer* com as classes de aptidão, proximidades das Cavas I e II.
 FONTE: O autor (2010)

CATEGORIA	HECTARES
Inapta	1049.9883919
Fraca	379.9139243
Média	896.7220485
Forte	872.5257028
Muito Forte	239.0000404

Quadro 5: Cálculo de área, classes de aptidão nas.
 FONTE: *Software Idrisi*. Atividade de laboratório.

O uso do SIG viabilizou o trabalho, uma vez que possibilitou o processamento de uma grande quantidade de dados espaciais georreferenciados, gerando um modelo com áreas potenciais para a instalação do parque, contemplando os critérios avaliados, processo que foi finalizado com avaliação em campo.

O estudo de caso possibilitou a comprovação da adequabilidade da área definida pela Prefeitura Municipal para o empreendimento. Os procedimentos adotados demonstraram essa viabilidade, pois foram utilizadas diversas variáveis, consideradas relevantes para a obtenção dos resultados finais, muito embora outros fatores poderiam ser inclusos, tais como: análise toxicológica da área, entrevistas com os cidadãos, entre outros, que poderão ser avaliados em pesquisas futuras.

7 REFERÊNCIAS

- CAMARA, G.; MOREIRA R. F.; BARBOSA C. C.; FILHO R. A.; BÖNISCH S. **Inferência Geográfica e Suporte à Decisão**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em 03/07/2009.
- DELGADO G.; CANO M.; BARREDO. J. 2005. “**Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**” Ed. Alfaomega. México, 2005
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios Tutoriais –Versão 2**. Tradução: Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Recursos Idrisi, 1998
- GUIMARÃES I. M. P. S. **Metodologia para definição de áreas adequadas à implantação da infraestrutura arquitetônica em unidades de conservação**. Estudo de caso: Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange (litoral do Paraná). 140f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2007.
- HASENACK H. WEBER E. J. & VALDAMERI R. **Análise da Vulnerabilidade de um Parque Urbano Através de Módulos de Apoio a Decisão em Sistemas de Informações Geográficas**. IV Congresso e Feira de Usuários de Geoprocessamento UFRG, 1998. Disponível em www.clarklabs.org.br/ufgrs. Acesso em 18/02/2009.
- PARANAGUÁ. Prefeitura Municipal de Paranaguá; Universidade Federal do Paraná. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Paranaguá**. Câmara Municipal de Paranaguá, 2007. 285p.
- PAULA, E. M. S; & SOUZA, M. J. N. **Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2979-2984. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sb>. Acesso em 13/06/2009.

PÉRICO, E.; CEMIN, G. **Planejamento do uso do solo em ambiente SIG: alocação de um distrito industrial no município de Lajeado, RS, Brasil.** Estudos Geográficos, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 41-52. 2006.

RUHOFF, A. L.; SOUZA, B. S. P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R. S. **Lógica Fuzzy e Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2355-2362. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18>>. Acesso em: 04/06/2009.

SAMIZAVA, T. M.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. H.; NUNES, J. O. R. - **Sig aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de Aterros Sanitários no município de Presidente Prudente – SP** - Revista Brasileira de Cartografia No 60/01, Abril 2008. (ISSN 1808-0936). Disponível em: <<http://martedpi.inpe.br/co>>. Acesso em: 06/07/2009.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos/** Ardemiro de Barros Silva – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003. 236p.

SOUZA, L. C de P.; SIRTOLI, A. E.; LIMA, M. R.; DONHA, A. G. Estudo do Meio Físico na Avaliação de Bacias Hidrográficas Utilizadas como Mananciais de Abastecimento. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados.** Curitiba: SANEPAR – Finep, 2005. 500 p. 123 – 158.

WEBER, E. J.; HASENACK, H. **Avaliação de áreas para a instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados.** Universidade Luterana do Brasil, Canoas – RS, 2001.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. F. M.; SILVA, A. N. R. & NEGRI, J. C. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG.** Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro,