

OS MODELOS DE ÁREA DE INFLUÊNCIA - POLÍGONOS DE VORONOI E DE DENSIDADE - NO APOIO À GESTÃO DA MODALIDADE DE EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS (EJA) EM DIVINÓPOLIS – MG

The Model of Voronoi's Polygons and Density: Diagnosis of Spatial Distribution of Education Services of EJA in Divinópolis, Minas Gerais, Brazil

Diogo de Castro Guadalupe¹

Ana Clara Moura²

¹Universidade Federal de Minas Gerais

diocastroguadalupe@gmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais

anaclara@ufmg.br, geoproeca.arq.ufmg.br

RESUMO

O artigo apresenta a aplicação de uma metodologia de apoio a estudos ambientais urbanos como a identificação e mapeamento das áreas de influência de pontos ou ocorrências espaciais de fenômenos, utilizando para isso as técnicas de Análise de Multicritérios e Polígono de Voronoi. Centra-se na utilização de base de dados alfanumérica institucional transformada em análise espacial através do uso de GIS e os modelos de distribuição, para apoiar a tomada de decisões sobre as estratégias de alocação e expansão de polos de educação chamada "EJA" (Educação de Jovens e Adultos), em Divinópolis, uma cidade no estado de Minas Gerais, Brasil. Ele descreve os processos de tratamento de dados para comporem planos de informação que tornam possível a pesquisa em análises urbanas e realizam análises de possíveis cenários na ampliação e alocação de polos.

Palavras chaves: Polígono Voronoi, Análise Multicritério, Serviços Urbanos de Distribuição, Análise Espacial, EJA.

ABSTRACT

This paper represents the application of a methodology that supports urban environmental studies to the identification and mapping of areas of influential points or spatial phenomenal occurrences, using the techniques of Multicriterial Analysis and of Voronoi Polygon. It focuses on the use of institutional alphanumeric database transformed into spatial analysis by the use of GIS and models of distribution, to support decision-making regarding allocation strategies and expansion of centers of experimental education called "EJA" (Youth and Adults Education) in Divinópolis, a city in the state of Minas Gerais, Brazil. It describes the process of data that composes information which makes possible to perform urban analyzes and to simulate the scenarios considering the expansion of the system and the review of the allocation of some points.

KEYWORDS: Voronoi Polygon, Multicriterial Analysis, Urban Services Distribution, Spatial Analysis, EJA.

1. INTRODUÇÃO

Faz-se cada dia mais necessário aos administradores públicos as ferramentas para espacialização de fenômenos e análise da influência desses sobre uma determinada área. A administração municipal se aproxima cada vez mais de uma lógica empresarial, fato este que exige de seus responsáveis a elaboração de políticas cada vez mais fundamentadas e estratégicas. Nesse contexto, a aplicação de metodologias de apoio a estudos ambientais urbanos como a identificação e mapeamento das áreas de influência de pontos ou ocorrências espaciais de fenômenos, são peças fundamentais para definição de zoneamentos e segmentações administrativas de um território.

A administração em Divinópolis enfrenta a dificuldade de decisões quanto à abertura de novas escolas com o Projeto Experimental EJA (Educação de Jovens e Adultos). Para lidar com que este problema, desenvolveu-se uma metodologia com base na Análise Multicritério e Polígono Voronoi, a fim de dar suporte a tais decisões.

Segundo Moura (2009):

A Análise Multicritério é um procedimento metodológico para as variáveis de cruzamento amplamente aceitos em a análise espacial. Sabe-se também como resultado da Árvore de Decisão ou Análise Hierárquica de Pesos. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis em representação da matriz e a definição da relevância de cada variável e cada componente da legenda para construir o resultado final. A matemática empregada é a média ponderada simples e alguns pesquisadores usam lógica fuzzy para atribuir os pesos e notas. O polígono de Voronoi é um modelo analítico que permite a estudar de áreas de influência, a partir de locais definidos, considerando as suas posições relativas ao conjunto de dados. O princípio é que as áreas de influência não são compostas por distribuição euclidiana simples, mas são deformados pelo atrito ambiental (por exemplo, barreiras à expansão urbana) e pela massa de seus pontos de geração (por exemplo, número de estudantes ou de vagas nas escolas).

1.1 A Base Conceitual dos Modelos Aplicados

1.1.1 A Análise Multicritério

A Análise Multicritério foi popularizada significativamente entre os usuários de GIS, sendo o modelo de análise espacial mais utilizado quando o objetivo é a construção de prognóstico e diagnóstico de um território, em diferentes escalas e com diferentes objetivos. Há duas razões para a ampla divulgação do modelo: a clareza em traduzir os objetivos com base em análise lógica na estruturação do modelo, e a existência de ferramentas em software de geoprocessamento, que, mesmo se não apresentarem todo o modelo em si, permitem construir os passos necessários para o processo.

A Análise Multicritério pode ser traduzida como uma álgebra de mapas, o que favorece que um problema seja subdividido em seus principais componentes - as variáveis que interferem em seu comportamento - e que eles sejam integrados e combinados, a fim de construir um sistema.

A ideia de multicritério não é nova. Tudo começou com a Abordagem Sistêmica, na década de 1950, a partir das investigações do biólogo Ludwig von Bertalanffy (1975), que propôs os estudos interdisciplinares de acordo com o Teoria Geral dos Sistemas. A realidade é vista como justaposição e interposição de partes compondo um sistema em que as variáveis são interdependentes e qualquer mudança resulta em alterações em um conjunto entrelaçado. A ideia de análise como um processo se baseia em promover a representação abstrata dos fenômenos em fim de favorecer a explicação por modelos que permitem suas descrições. Na década de 1960, Chorley e Hagget (1967) desenvolveram estudos da sua aplicação à geografia, para contribuir com a compreensão dos modelos na análise espacial.

É necessário observar que a abordagem sistêmica não é apenas a decomposição em partes e reconhecimento de um fenômeno por suas partes componentes, mas é, acima de tudo, o entendimento de que esta decomposição só faz sentido se os elementos são analisados em relação ao contexto em que se encontram inserido. Os elementos têm as características que lhes (intensidade, massa, idade, localização), definem e os valores dessas características significam os estados dos elementos em um dado local num determinado momento.

O modelo é uma simplificação da realidade, de tal forma o que é representado em sua essência, eliminando-se o que é não significativo para a caracterização do fenômeno e para os fins de análise. Conforme Chorley e Hagget (1967), os modelos são a apresentação formal de uma teoria que usa as ferramentas da lógica, uma teoria dos conjuntos e matemática. Um modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma ideia estruturada, uma relação, uma função, uma equação, uma síntese de dados ou descrições do mundo real. Como simplificações da realidade que têm como ponto importante a seleção dos aspectos mais relevantes. O sistema é estudado usando um propósito determinado, e tudo o que não afeta esse objetivo é eliminado.

Huggett (1980) explica o processo de estruturação do modelo de desenvolvimento da análise sistêmica: "By discriminating system parts of sub-systems at different levels of resolution, a complex system is simplified in a logical and realistic way which avoids the bewildering bulk of information at microscopic levels."

Por meio de modelos simplificados, com processos muito iniciais, e com base na lógica de decompor e compor, a primeira aplicação mais significativa na área de análise espacial que se seguiu a estes princípios foi o trabalho de Ian MacHarg em "Projeto com a Natureza" (1969). O autor apresenta o território caracterizado por uma série de mapas temáticos e propõe a identificação de áreas apropriadas para diferentes usos, incluindo a preservação e instalação de atividades antrópicas. O resultado é uma combinação de cartas temáticas, nessa altura promovido pela simples sobreposição de mapas, o que permitiu a identificação dos lugares notáveis, resultantes de a síntese de variáveis que melhor atendam os objetivos da análise. Foi o processo de análise por decomposição e a síntese por integração.

Pela identificação dos principais componentes de um sistema, este pode ser isolado nos planos de informação ou camadas. Com este conjunto de dados, diversos profissionais, com o seu conhecimento e objetivos específicos, podem propor diferentes processos de integração de variáveis, resultando em uma interpretação mais dinâmica da realidade. As descrições se tornam mais ricas, porque elas refletem "o que", "onde" e "como".

Os passos no processo metodológico são de acordo com Moura (2003):

- Definição de objetivos e aplicações no uso do sistema;
- Organização de banco de dados alfanuméricos e mapeamento;
- Tratamento de dados para análise de varredura e como representação da distribuição potencial do fenômeno;
- Definição de pesos e valores das variáveis;
- Integração das variáveis na análise múltiplas;
- Comparação com a realidade existente;
- A calibração do sistema e retornar para o estágio de análise;
- Construção de cenários (se/então);
- A elaboração de propostas de intervenção, gestão e restrições.

Segundo Anselin (1999), existem etapas de compreensão do problema, com a análise exploratória, que visa a entender mais sobre o objeto investigado; e há passos com base na estruturação do sistema e construção de modelos que representa a realidade. Devido a esses procedimentos de Análise Multicritério funciona, realmente, como um suporte para a tomada de decisão.

Depois de compor as camadas de variáveis, a álgebra de mapas está estruturada em Média Ponderada:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \times N_k)$$

(1)

Onde:

A_{ij} - A posição na análise array (linha / coluna), ou de um pixel no mapa

n - Número de mapas ou camadas de variáveis combinadas.

P_k - Pontos percentuais ou peso atribuído a mapear ou camada de variável k no conjunto de camadas.

N_k - Valores que significa que o significado de o grau de importância do componente de legenda para a variável K para o objetivo final

A escolha dos pesos deve ser muito bem documentada e justificada, deve estar aberto a revisões e na maioria dos casos é o lugar onde as calibrações do sistema acontecem. Os diferentes modos de realização da escolha de pesos podem ser resumidos em dois grupos de procedimentos: a avaliação guiada por dados e a avaliação guiadas pelo conhecimento especializado, o que Bonham-Carter (1994) denomina "avaliação orientada pelos dados" (Data driven evaluation) ou "avaliação orientada pelo conhecimento especialista" (Knowledge driven evaluation).

Entre os processos de definição de pesos por "dados orientados" podem ser citados os métodos que se baseiam em dados de mineração, que buscam identificar tendências de hierarquia de variáveis de acordo com o que acontece na realidade, medida por amostras escolhidas no território investigado (Castro, 2010).

Entre os processos de definição de pesos por "cognitiva", consultando os especialistas, o objetivo é receber feedback de quem entende do fenômeno e da realidade investigada, e emite suas opiniões baseadas na probabilidade e no estado-da-arte da variável. Existem diferentes métodos para executar esta consulta, mas os mais populares são o método Thomas Saaty e o método Delphi.

O método de Saaty (1980), chamado de "Análise Hierárquica de Pesos", foi desenvolvido em 1978 na Universidade da Pensilvânia. Ele define os pesos de cada plano de informação de acordo com a sua relativa contribuição para o conjunto. O objetivo é o de se decompor uma situação complexa a fim de tomar as decisões sobre o que é mais importante. O método propõe a comparação das variáveis em par-a-par e é atribuído um critério de importância relativa entre eles.

O método Delphi foi originalmente proposto em 1950 pela indústria militar norte-americana, a Pesquisa e Desenvolvimento (RAND), com o objetivo de dividir as responsabilidades e obter a melhor solução com um consenso entre as pessoas envolvidas. O nome vem do Oráculo de Delfos, porque o objetivo é apoiar as decisões. O argumento é que os julgamentos de grupos são mais próximos da realidade e mais preciso do que simples ensaios individuais.

De acordo com Dalkey e Helmer (1963) o método é composto de questionários aplicados em rodadas de especialistas e essas rodadas são intercaladas com feedback, que visa a convergência das opiniões expressos pelos participantes. Alguns autores, como Linstone e Turoff (2002) argumentam que o número de rodadas deve ser tanto quanto as necessárias até que se atinja a convergência de opiniões. Mas levando em conta que consenso não existe, o que pode ser obtido é a maximização de consenso e por causa disso, com base em um grande número de estudos de casos expressivos, fizemos a escolha da contratação de três rounds. No processo descrito neste artigo, os pesos foram atribuídos por um pequeno grupo de especialistas, que tem um bom conhecimento sobre a temática estudada e sobre a cidade analisada e, acima de tudo, sabiam sobre a realidade e as condições de vida de jovens e analfabetos adultos que necessitam dos serviços de educação.

1.1.2 - Polígonos Voronoi

O emprego de polígonos Voronoi como um modelo de análise, permite, de acordo com Xavier-da-Silva (2001), procedimentos prognósticos em análise ambiental. O prognóstico procedimento permite:

... medir a influência territorial de um fenômeno, com base nas condições, diagnosticado e prescrito para uma extensão territorial particular. Está implícito no termo de uma previsão, o que pode ser refletido na equação geral de possíveis situações ambientais problemáticas para que podem ser previstas medidas de controle ambiental, por meio da aplicação de procedimentos específicos para determinadas áreas geográficas.

O autor (Xavier-da-Silva, 1999) explica, assim, a construção do modelo:

Em termos de computador, o modelo mede a distância de cada ponto na matriz $A_{m \times n}$ até cada ponto gerador, sendo a sua relevância definida pela menor destas distâncias. Esta relação pode ser considerada contrária, como as comparações de todas essas distâncias computadas deve definir, pela menor distância encontrada, a relevância de polígonos em construção. Como resultado, no fim da verificação de relevância, todos os pontos da matriz A_{ij} serão associados a um ponto gerador de Polígonos Voronoi. O plano é subdividido e discretizado em "k" polígonos irregulares, que o integram.

Como parte das aplicações da SAGA-UFRJ, software livre, a aplicação dos polígonos de Voronoi é muito útil para determinar as áreas de influência das escolas da cidade de Divinópolis, o que permitiu verificar a grau de atendimento à população, especialmente em setores caracterizados pela alta densidade populacional e elevada população em condições sociais de analfabetos. O resultado caracteriza a realidade e permite simular, como um procedimento de prognóstico, onde estão os melhores locais para novas escolas futuras ou para aumentar as vagas em escolas existentes.

O princípio do polígono de Voronoi é mais interessante do que o método de Thiessen, que se baseia também em análise gravitacional, porque este último é baseado no princípio de que no território existem pontos que estão mais perto de uma fonte, e o resultado é um polígono cujas distâncias entre a fonte e o ponto é o mais baixo possível. O modelo de Polígono Voronoi é mais do que a simples divisão das zonas, como também considera a influência da distribuição no território e as distâncias da fonte. É um modelo mais robusto, que considera também a massa do ponto

de origem e as características ambientais a deformar as distribuições. Assim, o modelo é uma combinação de distribuição territorial de fontes ou gerador de pontos, características ambientais que funcionam como atrito e a influência das massas ao gerar pontos. Esta combinação de condições deve ter o poder de organizar o espaço e definir a área de influência de cada ponto gerador, ou definir para cada posição do território qual ponto gerador tem influência sobre ele, ou polarizá-lo.

No estudo das áreas de influência das escolas, o modelo gera resultados que definem e polarizam escolas em cada parte do território da cidade. Mas é necessário explicar que quando uma escola apresenta uma área de grande influência, isso não significa, necessariamente, que ele tem um serviço tão bem colocado e de grande variedade (resultado da “massa” aplicada), mas isso pode significar que não há outras escolas no território, que poderia fazer a subdivisão da zona de influência.

Com essa definição da metodologia, a coleta de dados foi realizada diretamente no campo e por pesquisa bibliográfica. Mapas e dados onde preparados para dar apoio ao desenvolvimento de estratégias para melhorar o desenho do atendimento da EJA e para orientar a criação de novos polos de EJA. Esta estratégia, neste determinado projeto educacional, é necessária devido aos seus princípios fundamentais de flexibilidade, em relação ao perfil do aluno e a especificidade de sua aprendizagem. Esses locais de ensino devem estar perto das casas dos alunos, localizadas em posições para facilitar acesso e deve ser alcançado por uma demanda maior de pessoas.

1.2 O Projeto de Educação de Jovens e Adultos - EJA

Focada para dar oportunidades aos jovens e adultos que não puderam concluir seus estudos em idade própria, a Educação de Jovens e Adultos (EJA) é entendida hoje como um direito humano, com seu modelo de educação dentro da educação básica brasileira (de acordo com a LDBEN 9394/96), o qual é caracterizado por um diálogo crítico entre a educação popular e a educação escolar, e este diálogo, de acordo com a teoria de Paulo Freire, é fundamental para construir a base da EJA, especialmente as ideias de uma educação que considere o conhecimento popular e a experiência social dos alunos. (Freire, 1999).

Compreender a EJA, a partir das experiências da educação popular, é organizá-la de modo que o programa e os cursos sejam a expressão dos interesses, os modos de vida, as experiências dos alunos considerados aqui a educação formal e não formal. Dentro do sistema escolar, EJA deve ser flexível para com as trajetórias desses jovens e adultos, marcados por dificuldades persistentes e exclusões na sociedade. A EJA deve se fundamentar na construção coletiva e democrática do conhecimento, o que exige a participação de professores e alunos na definição de seus movimentos, suas regras de convivência, na construção do conhecimento, e que implica no rompimento do ensino individualista e fragmentado. A EJA tem assim um currículo estabelecido a partir das experiências de seus sujeitos e, portanto, necessita de um tempo para o planejamento coletivo e a formação contínua dos professores.

A EJA também é entendida como educação continuada, porque jovens, adultos e idosos devem ter uma sólida formação nas escolas e em outras áreas, tais como centros de tecnologia, lazer e cultura. Concebê-la como a educação continuada é afirmar a necessidade de uma política pública do estado para este tipo de educação, com mais recursos e expansão do direito subjetivo de aprendizagem para todas as idades no município. Estas foram as orientações indicadas no VI Conferência Internacional de Educação de Adultos.

Segundo INAF - Indicador de Alfabetização Funcional - do Instituto Paulo Montenegro e da ONG Ação Educativa, em 2011, havia ainda 9% da população do Brasil (11 milhões de pessoas) sem instrução e o índice impressionante de 18% (mais de 23 milhões de pessoas), com ensino fundamental incompleto. A tabela abaixo mostra os números de escolaridade população (tabela 1):

TABELA 1 - ESCOLARIDADE DA POPULAÇÃO DE 15 A 64 ANOS NO BRASIL

Escolaridade	Censo 2000		PNAD 2009	
Sem escolaridade	10%	10.866.552	9%	11.766.782
Ensino Fundamental I	30%	32.599.656	18%	23.533.564
Ensino Fundamental II	28%	30.426.345	24%	31.378.086
Ensino Médio	24%	26.079.725	35%	45.759.708
Superior	8%	8.693.242	14%	18.303.883
TOTAL	100%	108.665.519	100%	130.742.024

Fonte: INAF - 2011

Em divisão geográfica menor, na cidade de Divinópolis / MG, os dados de analfabetismo e baixa escolaridade confirmam a dados gerais de educação brasileira. De acordo com o censo de 2010, realizado pelo IBGE, a população de Divinópolis é de 213.016 pessoas, sendo que destes, 356 participavam em projetos de jovens e alfabetização de adultos, sendo 317 em escolas públicas e 39 em escolas privadas. De acordo com o censo, em Divinópolis há 84.023 pessoas

com mais de 10 anos que são analfabetos, e 60.764 pessoas que são adultos acima de 25 anos, que têm ensino fundamental incompleto (tabela 2).

TABELA 2 – PESSOAS DE 25 ANOS OU MAIS DE IDADE, POR NÍVEL DE INSTRUÇÃO, SEGUNDO AS MESSORREGIÕES, MICRORREGIÕES E MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS/MG - IBGE

Mesorregiões, microrregiões e municípios	Total	Nível de instrução				
		Sem instrução e fundamental incompleto	Fundamental completo e médio incompleto	Médio completo e superior incompleto	Superior completo	Não determinado
Divinópolis	133600	60764	21837	33580	17222	257

Fonte: IBGE 2010

A EJA foi estabelecida a partir da legislação municipal chamada "Lei Orgânica de Divinópolis", que afirma que a educação primária deve ser gratuita e obrigatória, mesmo para aqueles que não tiveram acesso na idade certa. O "Plano Decenal de Educação de Divinópolis", 2004/2013 (SEMED, 2013), apresenta o capítulo "Em relação à Educação de Jovens e Adultos", estabelecendo como meta erradicar o analfabetismo e universalizar o ensino fundamental para jovens e adultos com mais de quinze anos. O Projeto Experimental da EJA, em sete anos de existência, já atendeu em média a 400 alunos por ano, em oito escolas públicas, com 32 educadores.

2 A APLICAÇÃO DOS POLÍGONOS VORONOI, ANÁLISE MULTICRITÉRIO E ANÁLISE E DENSIDADE KERNEL PARA DIAGNÓSTICO DE INFLUÊNCIAS TERRITORIAL NOS POLOS DE EJA PARA DEFINIR ESTRATÉGIAS FUTURAS

Foram selecionadas sete escolas municipais que têm o Projeto Experimental da EJA em Divinópolis: CETEPE, E.M Emílio Ribas, E.M Professor Darcy Ribeiro, E.M Professora Veneza Guimarães de Oliveira, E.M Professora Hermínia Corgozinho, E.M João Severino de Azevedo e E.M São Geraldo. O objetivo do estudo foi delimitar a área de influência de tais escolas, a fim de analisar se a localização corresponde às necessidades dos alunos de EJA.

O Polígono de Voronoi foi aplicado no modelo simples e em dois modelos complexos. O modelo simples visa à compreensão da distribuição geométrica das zonas de influência. Já o primeiro modelo complexo, considera apenas os valores de massa em pontos escolares, composta pela média entre o número de alunos e o número de professores, trás resultados em simulação da influência territorial de cada ponto considerando o arranjo espacial de todos os pontos e os seus valores de massa. Finalmente, o segundo modelo complexo do Polígono de Voronoi considera o arranjo espacial de todos os pontos, seus valores de massa e também o atrito (impedimento para espalhar a influência) ao longo do território, observando-se, assim, as variáveis espaciais que interferem nas condições de acesso as escolas com EJA.

2.1 - Metodologia

Para a elaboração dos mapas e dados realizados neste trabalho, foram coletados os dados em diversas instituições. Inicialmente foi necessária a obtenção junto a Prefeitura Municipal de Divinópolis do mapa com as vias cadastradas da cidade. Este em formato DWG teve de ser posteriormente corrigido, rasterizado e georeferenciado. Todo esse procedimento foi desenvolvido através do software ARQGIS.

Posteriormente, foram levantados os dados das escolas participantes como, número de professores e educandos de cada instituição, assim como os endereços destas e dos educandos. Esses dados foram tabulados, e através do *plugin* MAPCITE, foram realizadas as conversões dos endereços em coordenadas geográficas em WGS64, e posteriormente convertidas em SAD69, para a criação da nuvem de pontos, tanto de escolas com EJA quanto aos dados dos educandos, no ARCMAP.

Logo após a espacialização desses dados foi estipulado a adoção de um recorte no município de Divinópolis. Esse recorte levou em conta o número de informações levantadas e necessárias para uma análise satisfatória. Por esse motivo, uma das escolas que abriga a EJA, da Escola Municipal Benjamin Constant, foi excluída da análise, pois se encontrava em um distrito sem as informações necessárias à análise. Outro importante fator a ser levantado é que o endereço dos educandos moradores de áreas rurais não foram levantados, mas para a análise não sofrer com a perda

desses elementos e considerando que estes moradores vivem em pequenos povoados que não dispõem de mais de uma escola, foi atribuída a eles a coordenada geográfica das escolas nas quais estudam.

Para analisar a situação atual de concentração de alunos da EJA foi aplicada a densidade de Kernel, desenvolvido a partir de pontos de escola e ponderada pelo número de alunos em cada escola. (Figura 1, Figura 2, Figura 3).

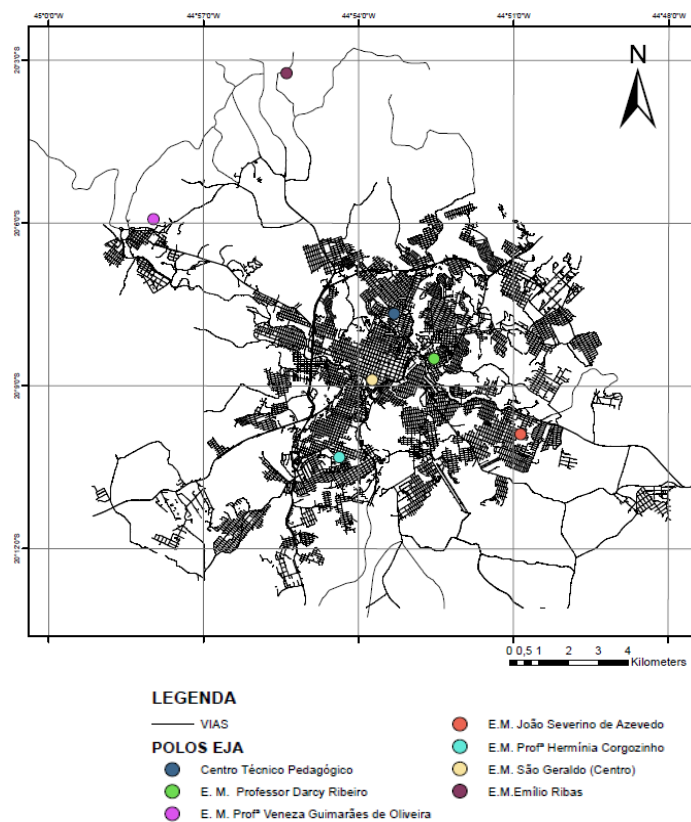
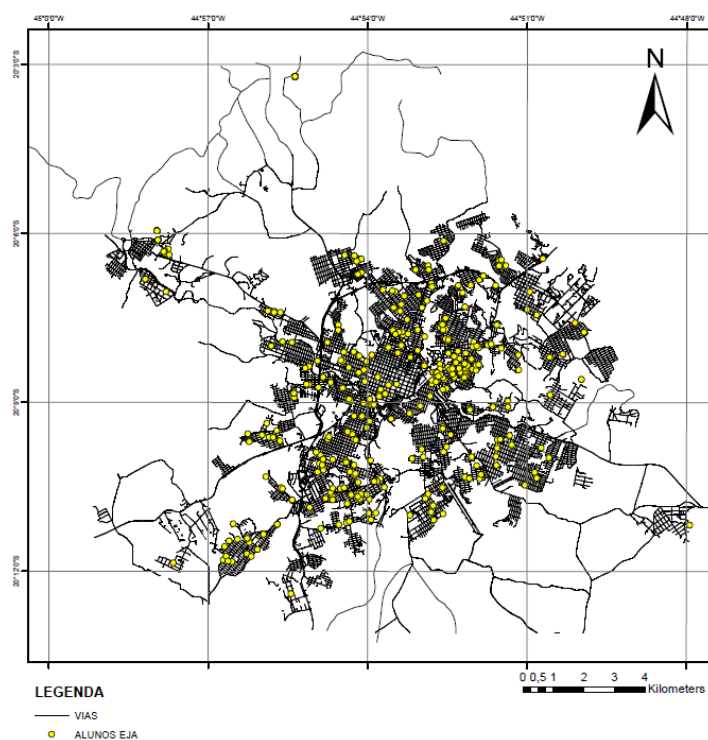


Fig. 1 - Distribuição de Escolas Municipais com EJA



Fig, 2 – Distribuição de estudantes da EJA

Um mapa de atrito foi produzido, de modo a proporcionar uma distribuição das dificuldades de mobilidade no território. Através de revisão da literatura e entrevista com especialistas, foi decidido tomar como variável, para construir esta síntese em mapa, a combinação de inclinação; capilaridade das vias, a presença de linha de ônibus e a presença de grande curso de água que produz barreiras em Divinópolis. Essas variáveis foram combinadas em uma Análise Multicritério utilizando-se a média ponderada de acordo com a importância dada pelos peritos que conhece a cidade e sua realidade, e esta síntese resultou em um mapa de atrito.

O mapa mais importante nesta síntese foi a rota de linhas de ônibus, porque eles são considerados o principal modo de transporte utilizado pelos alunos. Foi definido um *buffer* de 100 metros das rotas, considerado essa situação como ideal, e outro *buffer* de 300 metros, considerando-se uma condição aceitável. O segundo mapa mais importante foi o de capilaridade das ruas e estradas, construídas com o interpolador de densidade de Kernel. Foram produzidos o mapa de declividade e o mapa dos rios. O mapa de atrito foi gerado pelo agrupamento de todos os mapas através de uma Análise Multicritério. (Figura 4).

O procedimento de Análise Multicritério é amplamente utilizado em geoprocessamento avançado porque é baseado em lógica básica para a construção de um SIG: seleção de variáveis-chave que caracterizam um fenômeno, conduzida por uma abordagem metodológica para a simplificação da complexidade espacial; representação da realidade de acordo com diferentes variáveis, organizados em camadas de informação; discretização dos níveis de análise em resoluções espaciais apropriada para ambas as fontes de dados, mas também para os objetivos a serem alcançados; promoção de combinação de camadas de variáveis, integradas como um sistema que reflete a complexidade da realidade; finalmente, calibração e a validação do sistema.

Decidiu-se atribuir maior valor para a presença ou ausência de ônibus (50%), a capilaridade (30%) e a inclinação (20%). Após esta primeira combinação, a presença de rios foi considerada para reduzir a condição de mobilidade, mapeando as pontes como áreas com condições e da linha de rio como obstáculos.

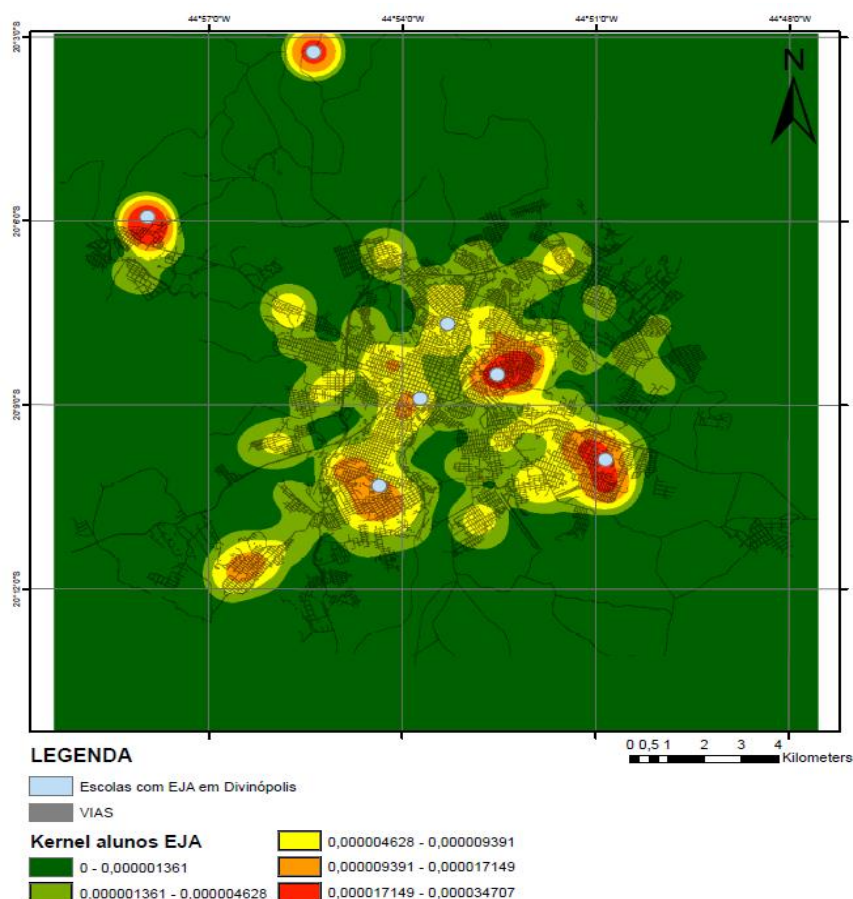


Fig. 3 - Densidade de Kernel de Estudantes da EJA

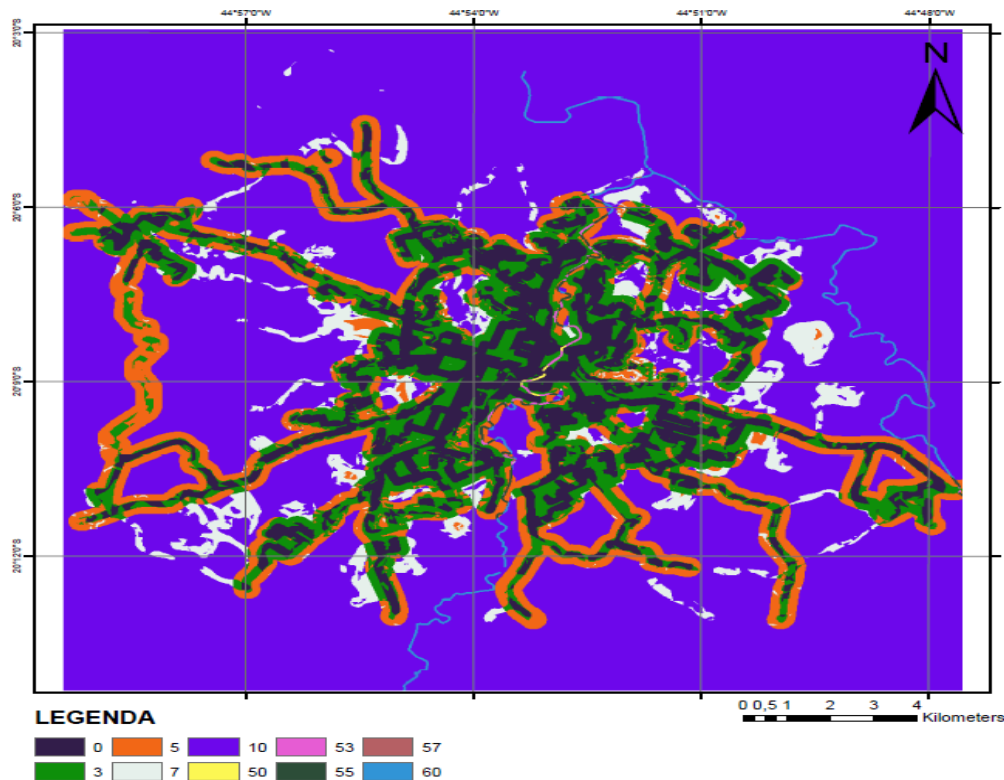


Fig. 4 - Mapa de Atrito

Uma vez produzido o Mapa de Atrito e outros mapas, toda a base de dados foi transferida para o software Saga - Sistema de Análise Geo - Ambiental, desenvolvido pelo Professor Jorge Xavier, o Lageop - UFRJ, onde o modelo de Polígono Voronoi foi aplicado. O princípio do Polígono Voronoi é que, considerando-se um território, há pontos que estão mais perto de uma fonte geradora do que de outra fonte, e o resultado é um polígono cujas distâncias entre a fonte e o ponto são tão pequenas quanto possível. Os polígonos resultantes podem ir além da simples divisão de áreas e ser deformado pelas características ambientais, que são considerados fricção, e pela influência dos valores de massa aplicadas aos pontos de geração, e o modelo tem o poder de organizar o espaço e definir a área de influência do momento.

O modelo desenvolvido pelo professor Jorge Xavier e disponível para usar em software SAGA é um modelo mais robusto do que a aplicação de Voronoi apresentado em outro software. Não é apenas um "Thiessen Polígonos", mas é uma análise espacial baseada no modelo gravitacional que combina a distribuição espacial conformado pelos pontos de irradiação, os pontos de massa, considerando fatores que dão importância ou valores de origem da irradiação, e o atrito em território que funciona como benefícios ou custos (dificuldades ou facilidades para espalhar a influência sobre o espaço). Ela se aplica a lógica matemática:

$$(FZ) \ G_i = MGI / [(Dx \rightarrow G_i) \ Ax \rightarrow G_i] \quad (2)$$

Onde:

(FZ) G_i = Força de zoneamento do ponto G_i ;

MGI = valor Massa do ponto G_i ;

$Dx \rightarrow G_i$ = distância euclidiana entre cada ponto analisado e ponto G_i ; e

$Ax \rightarrow G_i = \sum C_k$ (de 1 a n)

Onde:

n = número de células (pixels) encontrados no caminho entre x e soldado;

C_k = valor de atrito estimada para cada célula (pixel) no caminho entre x e soldado.

Neste estudo, o complexo de Voronoi proposto por Xavier foi utilizado, com a massa determinada pela composição do número de alunos nas escolas e número de professores, determinando um fator usado como valor de massa, levando também em conta o atrito ambiental.

Além do cálculo de Voronoi foi fornecido um mapa de densidade de Kernel, considerando os interesses da população, pois em 2012, a Secretaria Municipal de Educação de Divinópolis fez uma consulta pública para registrar a demanda sobre o programa, o que resultou em uma tabela que apresenta o número de pessoas interessadas por bairros. Este polígono de bairros convertidos em centróides que receberam como valores de massa o número de pessoas que estavam interessados, e uma densidade de Kernel foi aplicada, para promover a visualização da distribuição espacial da concentração de interesses em participar do programa.

Para concluir o estudo, as análises foram realizadas para identificar novas áreas para promover novos polos para o projeto, para verificar a adequação da distribuição espacial das escolas e identificar áreas onde possivelmente os alunos não foram bem atendidos pelos serviços educacionais.

2.2 Análise dos Resultados

O modelo de Voronoi foi aplicado no estudo de área de influência das escolas em Divinópolis, cujo resultado foi comparado com a distribuição dos alunos já matriculados e os interessados em cursar a EJA, de acordo com levantamento feito em 2012 nos bairros de Divinópolis, pela Secretaria Municipal de Educação, verificando-se a adequabilidade da distribuição geográfica e do número de polos da EJA no Município. O objetivo era verificar o grau de atendimento à população. O resultado pode dar apoio à decisão de novas localizações de futuras escolas ou na alocação de vagas.

Analisando os resultados, a grande influência de uma única escola não significa necessariamente que ele tem uma ampla cobertura satisfatória, mas pode significar que não há competição com outra escola no mesmo território, numa subdivisão das áreas de influência. As grandes superfícies devem ser consideradas negativas. Os pequenos territórios apresentados pelas áreas de influência também devem ser considerados negativos, porque eles significam a concentração espacial de oportunidades.

O modelo permite simular possíveis mudanças. Estas alterações podem ser, por exemplo, o aumento de massa (número de possíveis alunos a serem recebidos, combinadas com o aumento do número de professores) e que se cheque o efeito da decisão.

Iniciando a análise pelos mapas de atrito, onde maiores notas são os piores locais, (figura 4), é fácil perceber que as áreas centrais, excetuando os rios, pela sua vasta capilaridade e o atendimento por vias de ônibus é a área de menor atrito. As áreas periféricas, mesmo munidas de linhas de ônibus, sofrem com a menor quantidade de rotas e com o número de vias e acessos reduzidos. A região oeste do município apresenta um atrito maior. Para uma análise mais rica foi sobreposto ao atrito o mapa de Kernel para a averiguação da influência do atrito a distribuição espacial dos alunos (Figura 5). As regiões marcadas pelo círculo mostram que a maioria dos estudantes está em áreas de alta fricção, em que a presença de formas de transporte coletivo geralmente ocorre apenas ao longo de avenidas, resultando em isolamento desses estudantes de suas áreas de residência.

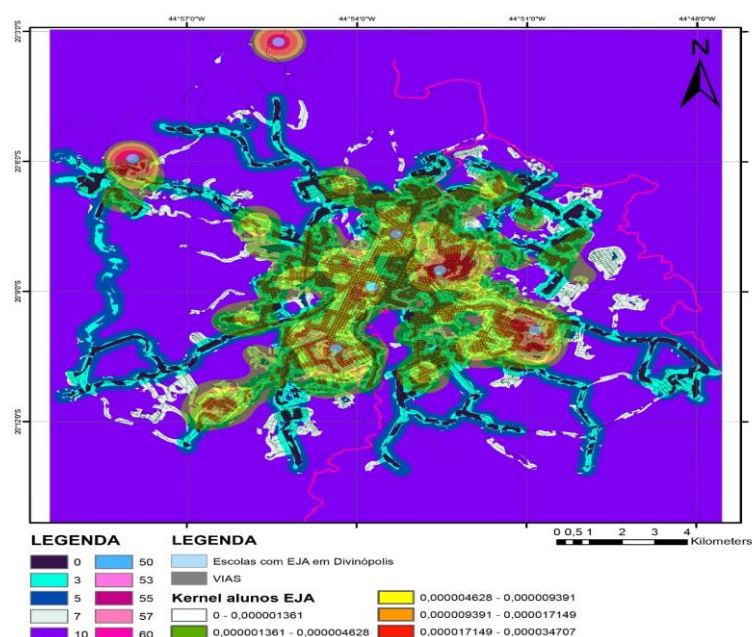


Fig. 5 – Atrito x kernel

Pela metodologia utilizada no mapa de Kernel, percebemos nas comunidades rurais 1 e 2, uma alta densidade de alunos. Apesar do dado estar influenciado pela metodologia, não é falso, pois em se tratando de comunidades rurais de Divinópolis, a distribuição de casas em torno de um núcleo pequeno cria uma grande concentração. Na região um, o núcleo está integrado a um bairro tornando o polo ainda mais adensado. As regiões marcadas pelo círculo mostra que grande parte dos alunos está em áreas de grande atrito, onde a presença de vias de ônibus se dá de maneira geral por uma avenida, configurando um isolamento desses alunos em suas áreas de moradia.

Avançando um pouco mais, é importante a apresentação do mapa de Kernel gerado pela demanda da chamada publica de 2012.

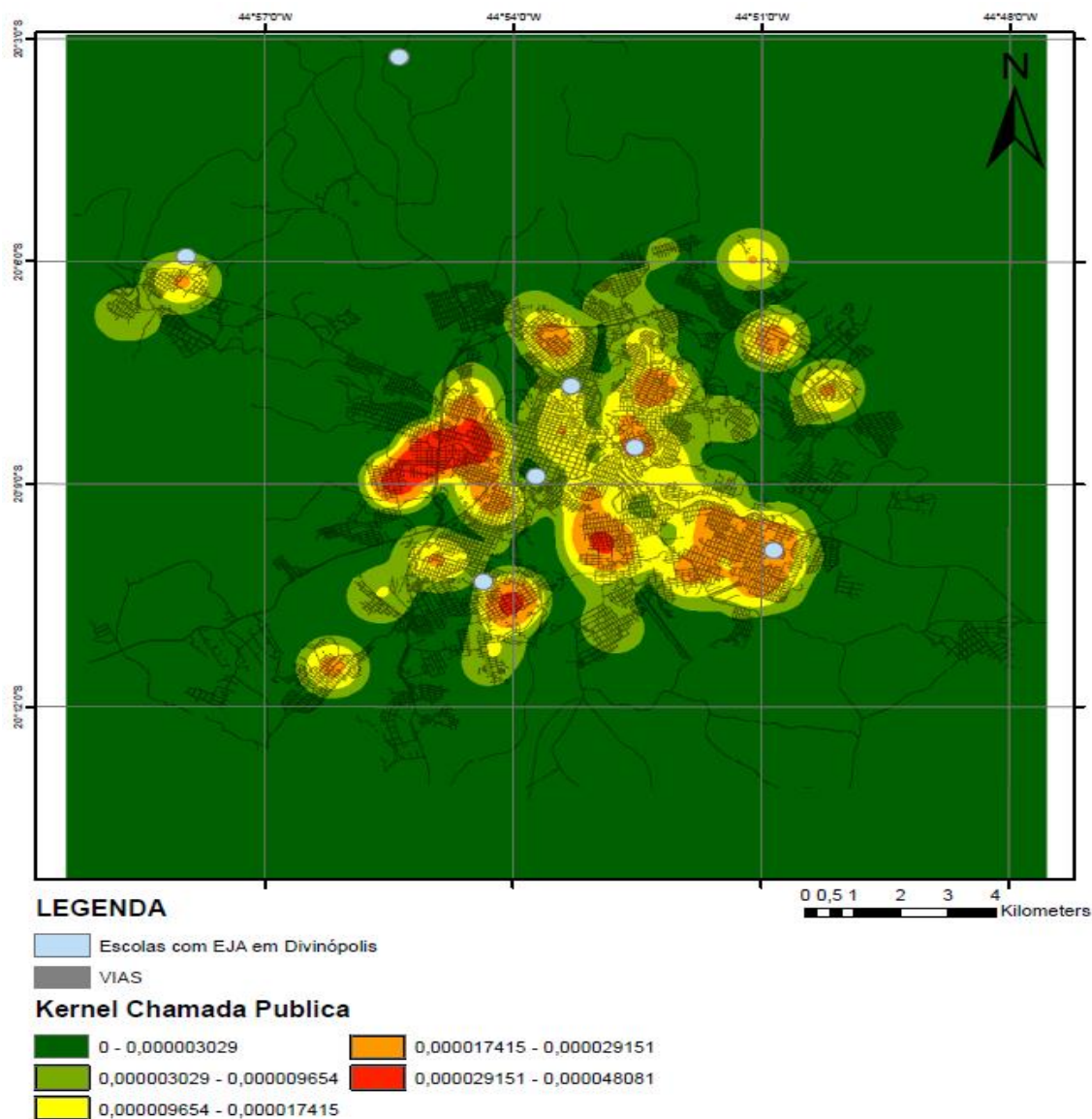


Fig. 6 – Densidade Kernel da Chamada Pública SEMED 2012

Esse mapa demonstra espacialmente a demanda de alunos que desejam cursar o EJA e é possível verificar que a demanda da área central se dilui e a da periferia onde o atrito é maior é demonstrado uma clara necessidade de mais polos de EJA. Nesse sentido, é que entra a importância dos mapas gerados pelo Polígono de Voronoi apresentados a seguir (mapa 06;07;08). O Voronoi Simples (Fig. 7) que, apenas faz a divisão geométrica do espaço entre os pontos componentes do arranjo, sendo o resultado determinado pelo fator de localização;

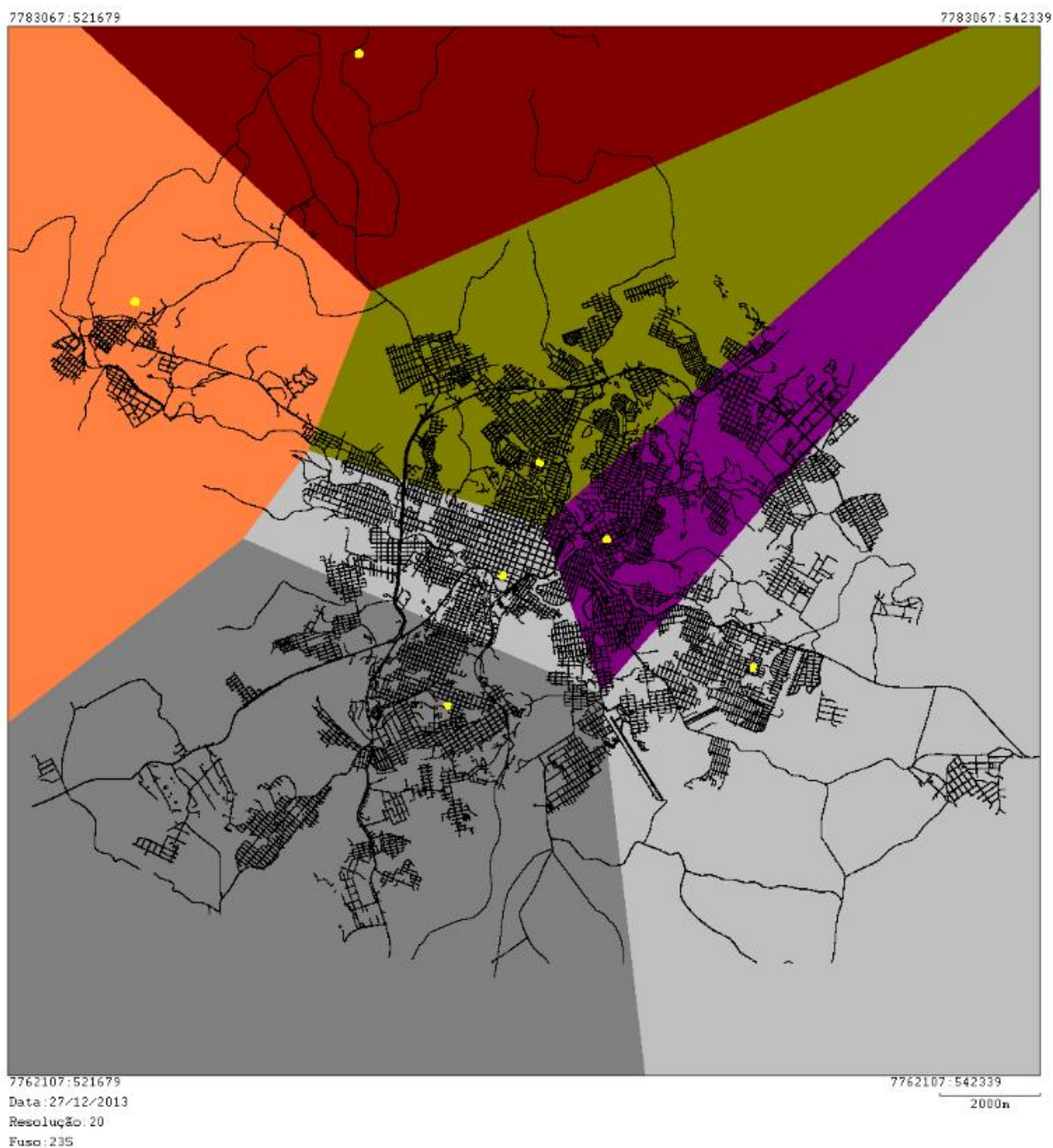


Fig. 7 – Voronoi Simples

É possível perceber ao analisar o mapa que a escola que possui maior massa, a E.M São Geraldo (113 alunos e 5 professores) está mais centralmente localizada e é a que apresenta menor área de influência, fato esse decorrente da concorrência de outras escolas ao seu redor. Essa concorrência não existe em escolas mais periféricas, como por exemplo, a E.M. Professoras Hermínia Gorgozinho, explicando assim a grande área coberta pela mesma.

A Fig. 8, o Voronoi Complexo, que leva em conta a massa demonstra que escolas com fator de massa semelhante (N° de alunos + N° de Professores / 2), mas distribuídas pelo município de forma diferente, têm suas áreas de influência ampliadas ou reduzidas. A escola E.M São Geraldo, que no polígono de Voronoi simples era a menor, agora possui uma área de influencia muito maior decorrente de seu alto valor de massa:

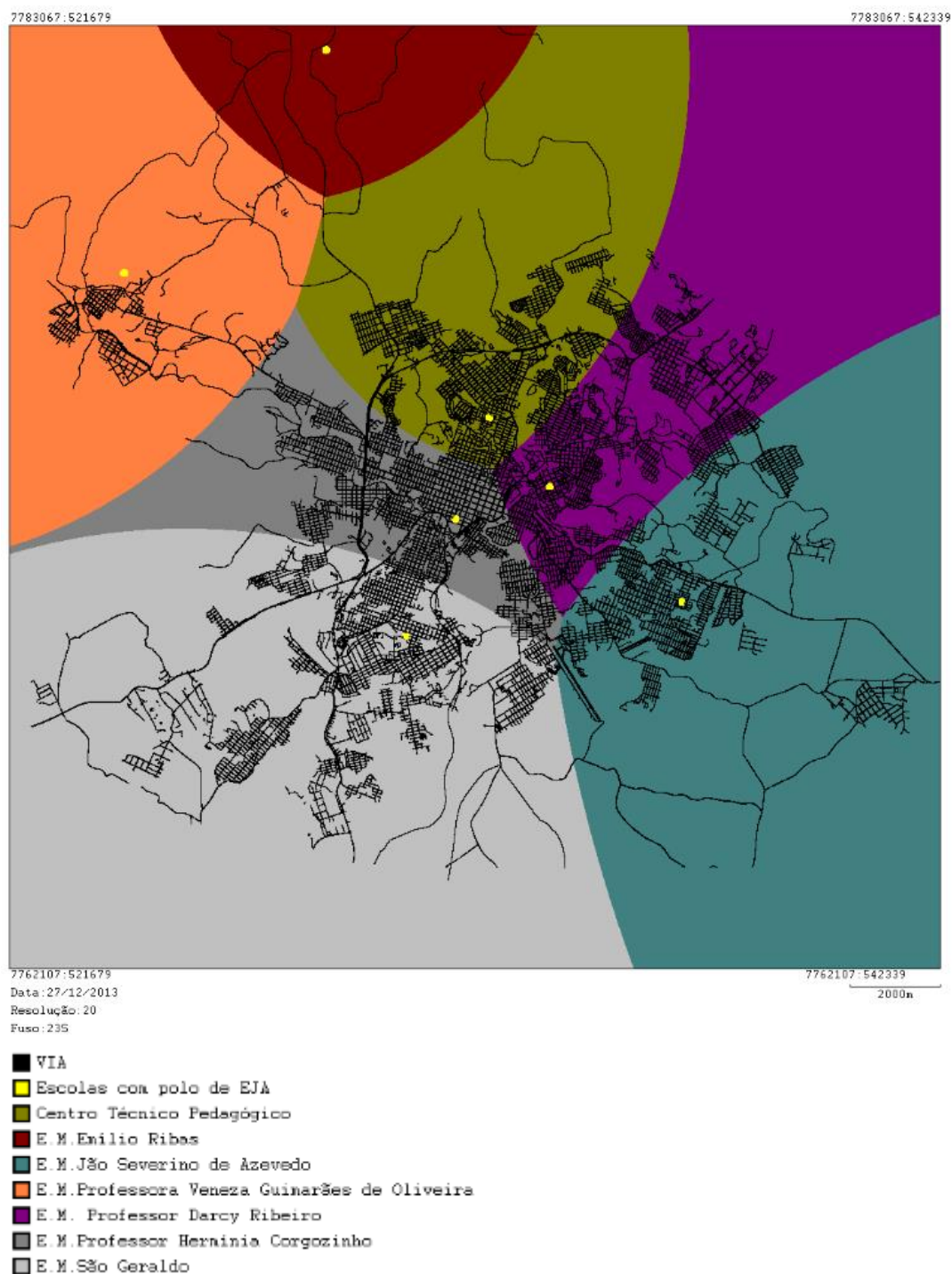


Fig. 8 – Voronoi Complexo (massa)

Tabela 3 - FATOR DE MASSA NAS ESCOLAS MUNICIPAIS COM EJA NO MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS/MG

NOME	Quat. Aluos	Quat. Prof	Fator
Centro Técnico Pedagógico	79	3	41
E.M.Emílio Ribas	22	2	12
E. M. Professor Darcy Ribeiro	93	4	49
E.M. Profª Hermínia Corgozinho	92	4	48
E. M. Profª Veneza Guimarães de Oliveira	46	5	26
E.M. São Geraldo (Centro)	113	5	59
EM. Benjamin Constant	16	5	11
E.M. João Severino de Azevedo	75	4	40

Fonte: própria

Finalmente foi executado o Voronoi complexo levando em consideração o fator de massa e o atrito (Fig. 9). Nesse as áreas de influencia diminuem ou aumentam de acordo com grau de dificuldade de acesso que a malha urbana e as características físicas do local proporcionam.

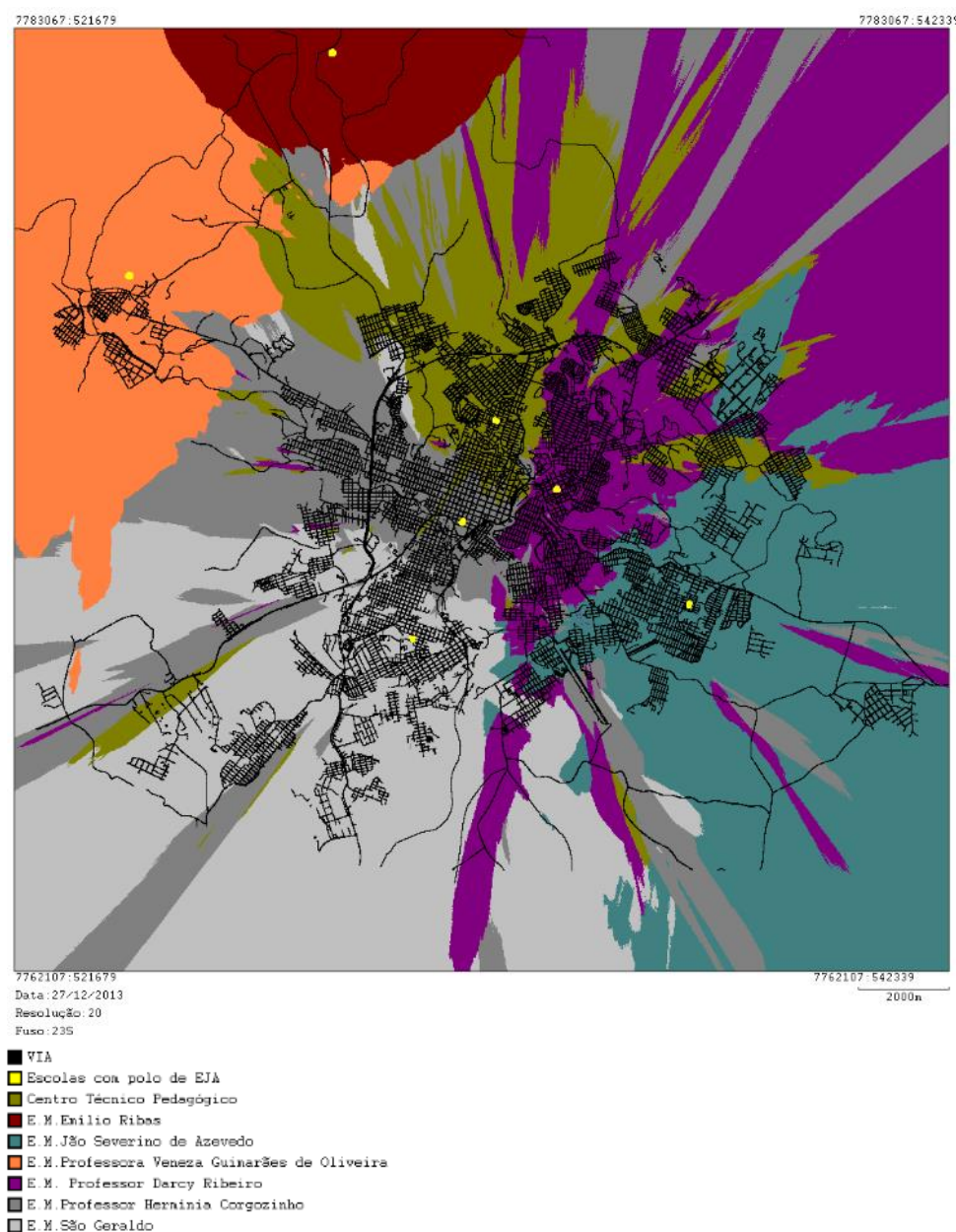


Fig. 9- Voronoi complexo (massa+atrito)

Observa-se ao analisar o mapa que a E.M São Geraldo, por exemplo, apresenta influência em várias áreas antes pertencentes a outras escolas, por sua facilidade de acesso, já que essa se encontra no centro de Divinópolis. Por fim, foi feita uma sobreposição entre o Voronoi complexo (massa + atrito), com o mapa de Kernel dos interessados em cursar EJA (Fig. 10), para podermos analisar para quais escolas seria melhor enviar os alunos interessados.

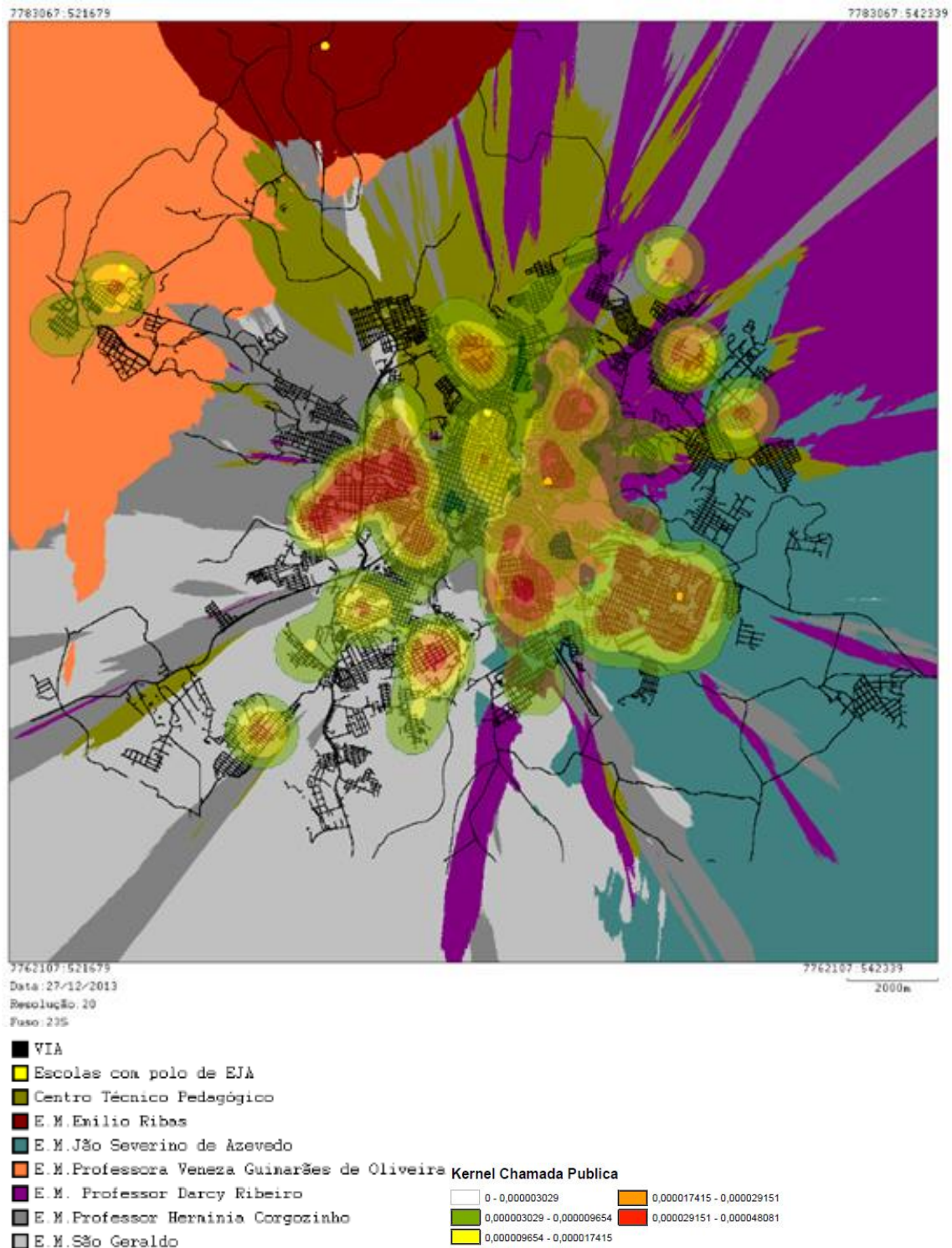


Fig. 10 – Voronoi complexo x Quernel chamada publica

3 CONCLUSÕES

O objetivo do presente artigo é analisar o replanejamento e a gestão de polos do Projeto Experimental da EJA - Educação de Jovens e Adultos - no município de Divinópolis, utilizando-se a Análise de Multicritérios e os polígonos de Voronoi em estudos urbanos, como recursos para embasar as decisões quanto ao atendimento da EJA. Concluímos

que Divinópolis necessita de mais polos do Projeto Experimental EJA. A demanda por vagas nos polos da EJA é grande e a importância maior ainda, tendo em vista que o déficit na educação no município é maior que a média nacional. A necessidade do aumento de vagas e polos não se faz apenas pelo grande número de pessoas que desejam cursar o projeto, mas também para que esse funcione dentro de suas premissas de flexibilidade e adequabilidade, para que os educandos possam ser integrados na sociedade e nas atividades do território. (Figura 11 e Figura 12).

Tendo em vista essa necessidade de expansão e através da análise do mapa de Kernel sobre a demanda da chamada pública realizada pela Secretaria de Educação de Divinópolis em 2012, percebe-se uma necessidade da expansão de vagas e docentes nas escolas E.M. São Geraldo e na E.M. Professora Hermínia Gorgozinho. A primeira por apresentar uma grande demanda em seu entorno e por possuir em termos de resistência ambiental, o menor valor. A segunda escola por apresentar uma demanda muito grande em seu entorno e por estar bem localizada na região oeste/sudoeste, em relação a transporte e capilaridade.

Para a criação dos novos polos de EJA foram analisadas as escolas municipais que poderiam receber a modalidade. Foram também observados a demanda de 2012 e as áreas de influência gerados pelo Polígono de Voronoi. Concluiu-se assim pela necessidade da criação de mais cinco polos distribuídos em escolas municipais: EM Padre João Bruno, E.M. Joaquim Rodrigues, E.M. Otávio Olímpio de Oliveira, E.M. Sidney José de Oliveira, E.M. Professor Bahia.

Essas escolas foram escolhidas por estarem próximas a grandes demandas e dividirem de maneira mais favorável as suas áreas de influência. Para averiguar foram realizados novos Polígonos de Voronoi, simulando um novo cenário, com o Polígono de Voronoi Simples, o Complexo com massa e o Complexo com massa e atrito, com a presença dos novos polos de EJA.

Por fim, esclarecemos que a proposta foi baseada na média de fatores das escolas que hoje possuem um polo de EJA. Essa média foi igual a 35 e a nova distribuição de polos de EJA mostrou-se mais adequada à demanda e às áreas de influência menores e coerentes.

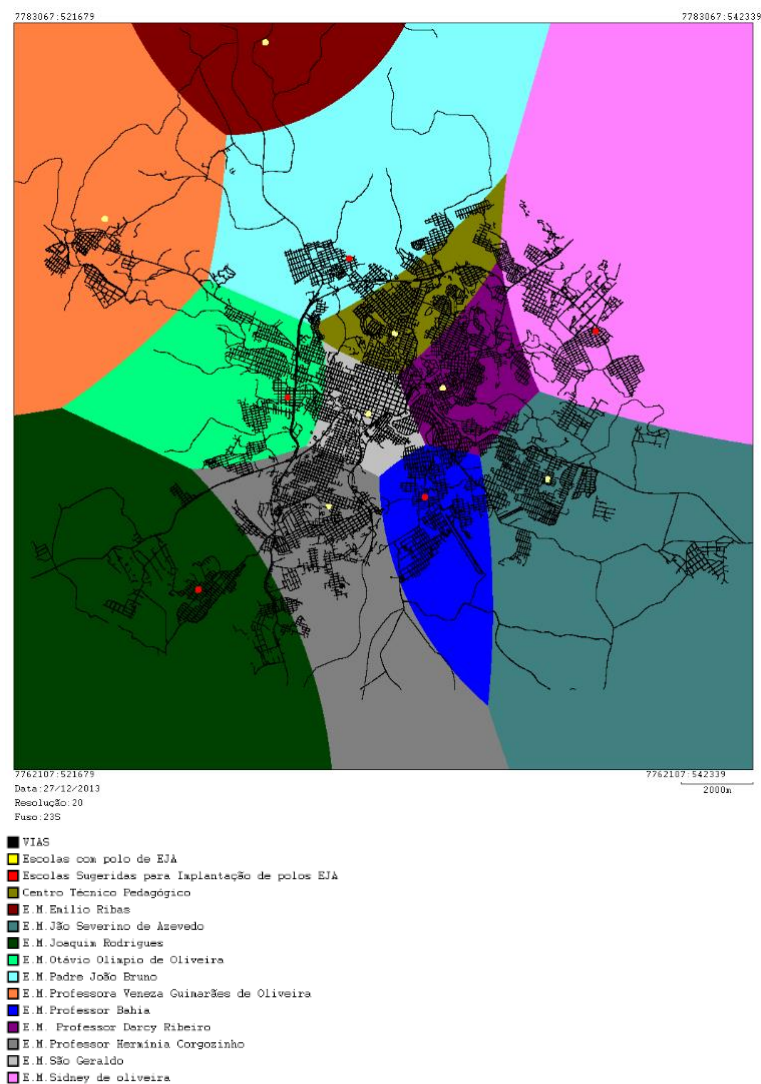


Fig. 11 – Voronoi complexo (massa) proposto

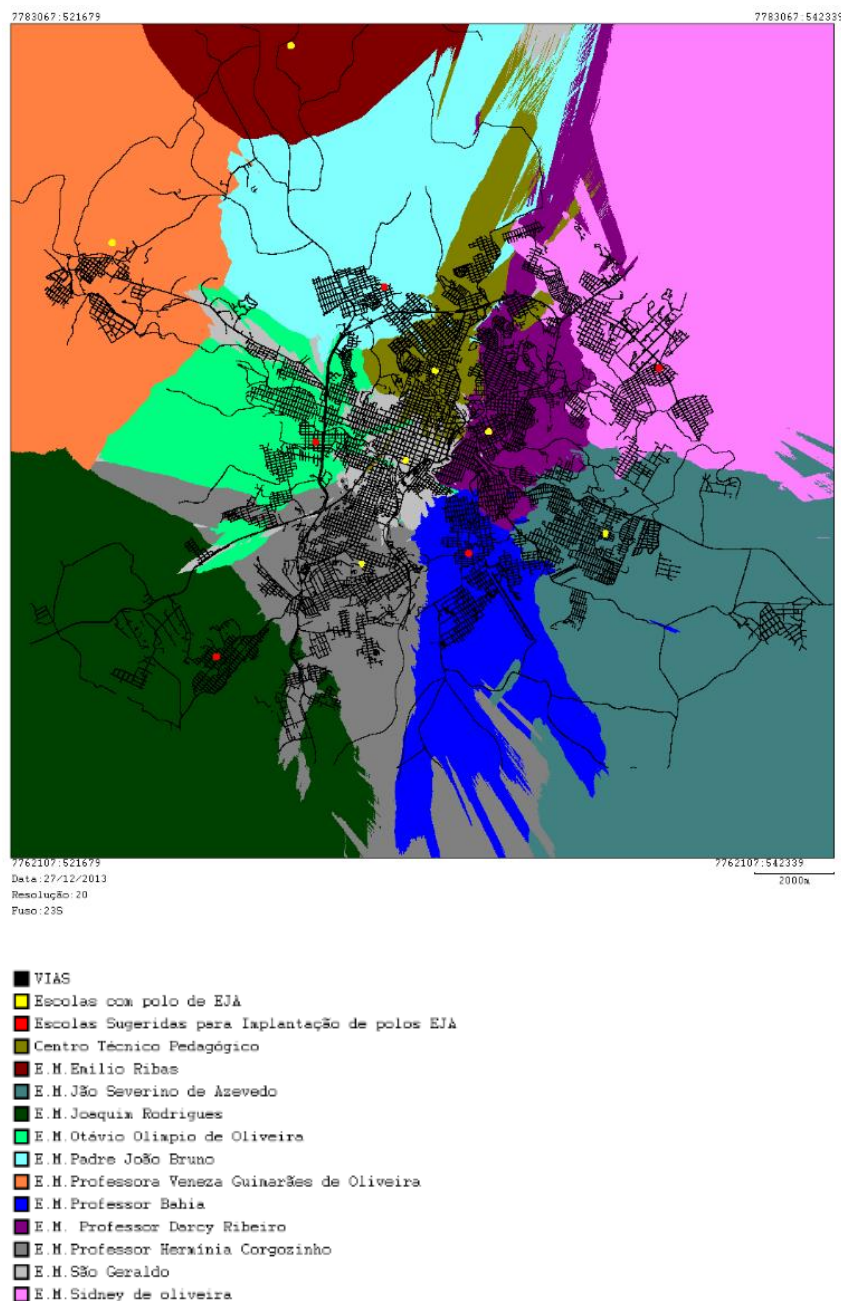


Fig. 12 - Voronoi complexo (massa+atrato) proposto

AGRADECIMENTOS

Contribuição para o Projeto "Parametric Modeling de Territorial Ocupação: proposta de novos recursos de geotecnologias para representar e planejar o território urbano ", com o apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Chamada MCTI / CNPq / MEC / CAPES N ° 43/2013, Processo: 405664/2013- O autor agradece o Ministério das Cidades para a bolsa "PROEXT".

Agradecemos a contribuição do professor Claudio Guadalupe, coordenador do Projeto experimental da EJA de Divinópolis/MG, pela contribuição na leitura e contribuições na leitura do artigo.

Os autores agradecem a Fapemig pelo apoio financeiro à participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos - ENABER, 8, São Paulo, Brasil. **Discussões metodológicas para aplicação do modelo de Polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência fenômenos em ocupações urbanas – estudo de caso em Ouro Preto – MG.** FEA/USP, Setembro 2009, p. 9-11;

FUNEDI TERRITORIAL DE DIVINÓPOLIS. **Diagnóstico base para elaboração do Anteprojeto de - Fundação Educacional de Divinópolis. A configuração da Lei do Projeto Diretor Participativo de Divinópolis.** Divinópolis, Brasil, 2013;

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Esperança: Um reencontro com a Pedagogia do Oprimido.** Notas de Ana Maria Araújo Freire. São Paulo: Editora Paz e Terra, 6ª Edição, 1999;

NETO, Jair Rodrigues Pereira N. **Utilização do geoprocessamento para verificar a existência de áreas de conflito entre apiários.** VIII Curso de Especialização em Geoprocessamento 2005. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, Dezembro de 2005;

IBGE. Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 novembro; 2013;

IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>;

INSTITUTO PAULO MONTENEGRO. INAF Brasil 2011: **indicador de alfabetismo funcional: principais resultados.** São Paulo, 2011;

BRASIL. Ministério da Educação. **O Plano de Desenvolvimento da Educação: razões, princípios e programas.** Brasília, DF: MEC, 2007. Disponível em: [http:// portal.mec.gov.br/arquivos/livro/index.htm](http://portal.mec.gov.br/arquivos/livro/index.htm). Acessado em 04/01/ 2013;

Secretaria de Educação de Divinópolis. **Chamada Pública da EJA.** 2012, Divinópolis, Brasil, 2012.