



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Matemática

Bacharelado em Estatística

**ABORDAGEM GEOESTATÍSTICA E
DE CLUSTER PARA A ANÁLISE
DO CONSUMO RESIDENCIAL DE
ÁGUA POTÁVEL EM
UBERLÂNDIA-MG.**

Matheus Ferreira Do Amaral

Matheus Ferreira Do Amaral

ABORDAGEM GEOESTATÍSTICA E DE CLUSTER PARA A ANÁLISE DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA POTÁVEL EM UBERLÂNDIA-MG.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à coordenação do curso de
bacharelado em estatística como
requisito parcial para obtenção do grau
de bacharel em estatística.

Orientador: Prof Dr Ednaldo Carvalho
Guimarães



**Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Matemática**

Coordenação do Curso de Bacharelado em Estatística

A banca examinadora, conforme abaixo assinado, certifica a adequação deste trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de Bacharel em Estatística.

Uberlândia, _____ de _____ de 20 _____

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Ednaldo Carvalho Guimarães

Profª Drª Aurélia Aparecida de Araujo Rodrigues

Profª Drª Maria Imaculada Souza Silva

Agradecimentos

Por trás desses anos de distância muitas pessoas passaram por minha vida e logo contribuíram para que isto acontecesse.

Agradeço, primeiramente, a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, não somente nestes anos como universitário, mas em todos os momentos pela força e saúde.

À minha mãe Jacira Sebastiana Ferreira, pelo amor, incentivo e apoio, por todo o esforço investido na minha educação e por acreditar que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

Meus agradecimentos sinceros aos meus amigos que me ajudaram nesta jornada e de verdade eu quero que saibam que reconheço tudo que fizeram por mim, a perseverança para não desistir e que me ajudaram a relaxar nos momentos difíceis e me colocaram para cima quando mais precisei.

Agradeço a esta universidade, ao curso de Estatística e seu corpo docente, por me proporcionar além de conhecimento uma incrível experiência que foi realizar minha tão sonhada mobilidade internacional.

O meu orientador, Ednaldo Carvalho Guimarães, pelo sua dedicação e paciência durante esses cinco anos de parceria, seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado deste trabalho.

RESUMO

A água é um recurso natural responsável pela origem da vida e sua sustentação no nosso planeta Terra. É considerada fundamental para o exercício das atividades econômicas como a agricultura e a indústria, exercendo também importância crucial na qualidade de vida das populações, especialmente, no que se refere ao abastecimento de água e a coleta e tratamento de esgotos, que têm forte impacto sobre a saúde pública. Assim para um melhor controle desse recurso, é necessária uma maior compreensão espacial e temporal do consumo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento espacial do consumo médio diário de água potável na cidade de Uberlândia-MG, ao longo dos meses, para o ano de 2015 e também agrupar os bairros da cidade de acordo com a similaridade de consumo ao longo do ano. A análise da dependência espacial foi feita por meio dos semivariogramas, que foram utilizados na interpolação por krigagem e no mapeamento do consumo residencial de água. A análise de agrupamento foi feita pela técnica multivariada de análise de cluster. Os resultados permitiram concluir que a variável estudada, apresenta dependência espacial; o modelo que melhor se ajustou aos dados pertence à família Gaussiana, com um grau moderado de dependência; a análise de cluster indicou a formação de três grupos diferentes de bairros para o consumo de água residencial; em relação a distribuição espacial, observa-se predominância de maior consumo de água residencial na região central da figura representativa da área de estudo. As técnicas estatísticas aplicadas apresentaram resultados satisfatórios quanto a descrição do comportamento do consumo de água potável nas residências da cidade de Uberlândia-MG.

PALAVRAS-CHAVE: Água tratada. Dependência espacial. Geoestatística. Cluster.

DISTRIBUTION OF TREATED RESIDENTIAL WATER CONSUMPTION IN UBERLÂNDIA-MG CITY: STUDY OF CASES FOR THE MONTHS OF 2015 YEAR.

Water is a natural resource responsible for the origin of life and your support on our Earth planet. It's fundamental considered for the economic activities exercise such as agriculture and industry, also doing crucial importance of population life quality, especially, in what it mentions to water supply and the sewer treatment and collection, which has strong impact over the public health. So for a better control of this resource, is necessary a bigger spatial understanding and temporal of consuming. In this way, the objective of this article was study spatial behavior of the daily middle consumption of potable water in Uberlândia- MG city, along the months, for the 2015 year and also group the city's neighborhoods according to the similarity of consuming throughout the year. The spatial dependence analysis was made through semivariogram, which were used in the interpolation by kriging and consumption mapping of residential water. The cluster analysis was done by the multivariate cluster analysis technique. The results allowed to conclude that the variable studied, shows spatial dependence; the model which fits better to the data belongs to Gaussian family, with an average level of dependence the cluster analysis indicated the formation of three different groups of neighborhoods for residential water consuming in relation of spatial distribution, it is observed predominance of bigger residential water consuming in the central area of the representative figure from the study area. The applied statistical techniques presented satisfactory results as to the description of the water consuming behavior in the Uberlândia-MG city.

Keywords: Treated water; Spatial dependence; semivariogram; Geostatistics

SUMÁRIO

Lista de figuras	8
Lista de tabelas	9
Lista de abreviações	10
1. Introdução	11
2. Material e métodos	12
2.1 Caracterização da cidade de Uberlândia e da variável de análise	12
2.2 Análise geoestatística.....	15
2.3 Análise de Cluster	17
3 Resultados e discussão	18
4 Considerações Finais.....	28
5 Referências Bibliográficas	30

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Localização geográfica da cidade de Uberlândia – MG.....	13
Figura 2.2 – Esquema do semivariograma experimental	16
Figura 3.1 - Semivariogramas experimentais com modelos gaussianos ajustados por mês para o ano de 2015.	20
Figura 3.2 - Mapeamento por krigagem da variável consumo residencial de água tratada na zona urbana da cidade de Uberlândia – MG, nos meses de janeiro a dezembro de 2015.	22
Figura 3.3 - Dendograma referente ao consumo de água da cidade de Uberlândia-MG, para o ano de 2015: a) dendograma inicial b) dendograma com 3 grupos.....	24
Figura 3.4 - Mapeamento do consumo residencial de água tratada da cidade de Uberlândia-MG com os respectivos grupos formados pela análise de cluster.....	27

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Relação dos setores (bairros) de medição do consumo residencial de água tratada, no município de Uberlândia, no ano de 2015, de acordo como o DMAE.....14

Tabela 3.1 - Análise descritiva do consumo diário de água tratada (m^3), nas residências da cidade de Uberlândia-MG, referente ao ano de 2015. (Fonte dos dados primários: DMAE-Uberlândia) 18

Tabela 3.2 – Estimativas dos parâmetros: Efeito pepita (Co), Contribuição (C) e alcance (a), para os modelos gaussianos e grau de dependência (GD) do consumo de água tratada nas residências da zona urbana de Uberlândia - MG, por mês para o ano de 2015..... 21

Tabela 3.3 - Tabela referente aos clusters formados do consumo residencial de água dos 161 bairros (setores) da cidade de Uberlândia-MG, para o ano de 2015..... 25

Tabela 3.4 - Estatística descritiva e teste de Tukey para os grupos formados pela análise de clusters..... 28

Lista de Abreviações

Q1 = 1º quartil

Q3 = 3º quartil

Min = mínimo

Max = máximo

S = desvio padrão

CV = coeficiente de variação

S_k = coeficiente de assimetria

K = coeficiente de curtose

C0 = Efeito pepita

C = Contribuição

a = alcance

GD = grau de dependência

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Uberlândia – MG tem experimentado grande desenvolvimento econômico e social nas últimas décadas [7], colocando-a como uma das maiores cidades do estado de Minas Gerais, e com isso ocorreu aumento significativo da população e, conseqüentemente, ocorreu também aumento da demanda de água tratada para o consumo residencial.

A água é um recurso natural que exerce papel fundamental no desenvolvimento da vida e está associada a todas as atividades humanas. Entretanto ressalta-se que sua distribuição no planeta e sua disponibilidade para a população não é uniforme, sendo que existe uma tendência de agravamento de crises hídricas no planeta. A crise hídrica resulta de um conjunto de componentes de origem social, econômica e ambiental, e é um assunto em pauta, por limitar as condições de vida de grande parte da população mundial.

Por muito tempo, este que foi considerado um recurso natural infinito de pouco ou nenhum valor econômico, teve no seu uso perdulário um dos principais motivos geradores da redução em sua oferta [11]. Atualmente se debate sobre a gestão dos recursos hídricos e a necessidade de melhor gerenciamento dos mesmos, no que se refere à quantidade e qualidade. Neste contexto, há a necessidade de repensar a atual utilização da água, bem como criar novos comportamentos e atitudes que contribuam para a minimização dos problemas relacionados a esse recurso.

Segundo [16] apontam que apesar da grande quantidade de água existente no planeta somente uma pequena parcela está facilmente acessível e própria para o consumo, estando localizado nos rios, equivalendo a 0,3%, dos 2,5% de água doce presente na superfície terrestre. Portanto, o planejamento do consumo e o uso racional da água devem ser pensados em qualquer setor da sociedade.

Para contribuir com o conhecimento do comportamento do uso de água e, conseqüentemente, para um melhor gerenciamento desse recurso, pode-se utilizar os modelos e técnicas estatísticas de análise de dados. Dentre as diversas metodologias estatísticas de análise de dados, com possível aplicação em variáveis relacionadas ao uso da água, tem-se a análise geoestatística que visa caracterizar a distribuição espacial do consumo e a análise multivariada de cluster que visa agrupar elementos com características semelhantes, mas sem considerar a localização geográfica.

De acordo com [1] enfatizaram que o estudo da variabilidade espacial, por meio da geoestatística, tem se mostrado de grande utilidade em várias áreas do conhecimento humano, contribuindo com a tomada de decisões, do ponto de vista

prático, por parte dos gestores.

Aplicada às variáveis relacionadas ao consumo de água tratada, a metodologia geoestatística permite fazer a análise dos dados, destacando a modelagem da dependência espacial entre as observações e com isso possibilita realizar a interpolação por krigagem e o mapeamento do consumo. Neste mapeamento podem-se destacar, visualmente, as regiões da cidade de maior e de menor consumo, ou seja, permite que ações pontuais possam ser tomadas por parte dos gestores.

Na literatura científica pode-se observar a aplicabilidade da análise geoestatística em diversas áreas de conhecimento como, por exemplo, na meteorologia,[14]; na agricultura,[8]; na hidrologia e meio ambiente, [6] entre outras aplicações.

A análise de agrupamento (clusters), descrita em [9], também apresenta grande potencial de utilização na descrição do consumo de água de uma localidade. Trabalhos disponíveis na literatura destacam a aplicabilidade da análise de cluster em diversas áreas do conhecimento. Dentre eles, [17], utilizou essa metodologia para compreender o comportamento geral de outro insumo de grande importância para a qualidade de vida da população, que é a energia elétrica.

Neste sentido, objetivo geral deste trabalho foi o de utilizar técnicas geoestatísticas e a análise de cluster para descrever o comportamento do consumo residencial de água potável, na cidade de Uberlândia-MG. E, como objetivos específicos tem-se: analisar e modelar a dependência espacial do consumo médio diário de água tratada, nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2015, por meio de semivariogramas; utilizar os modelos ajustados para construir, por meio de interpolação por krigagem, os mapas de consumo que descreveram a distribuição espacial do consumo na cidade; utilizar a metodologia da análise de cluster e realizar os agrupamentos dos bairros da cidade de Uberlândia em função do consumo mensal de água potável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da cidade de Uberlândia-MG e da variável de análise

A cidade de Uberlândia-MG está situada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais (Figura 2.1), na latitude de 18° 55' 25''S e longitude de 48° 17' 19''W.

De acordo com a classificação climática de [13], o clima da região é do tipo

Aw, ou seja, apresenta um inverno seco e um verão chuvoso, onde há predominância de sistemas intertropicais e polares, que são responsáveis pela variação sazonal entre as duas estações, conforme afirmam [15] e [5]

O período chuvoso de Uberlândia corresponde aos meses de novembro a março enquanto que o período seco abrange os meses de abril a outubro.

Em termos populacionais é a segunda cidade mais populosa do estado. A população estimada no ano de 2015 era de 669.672 habitantes segundo [12]

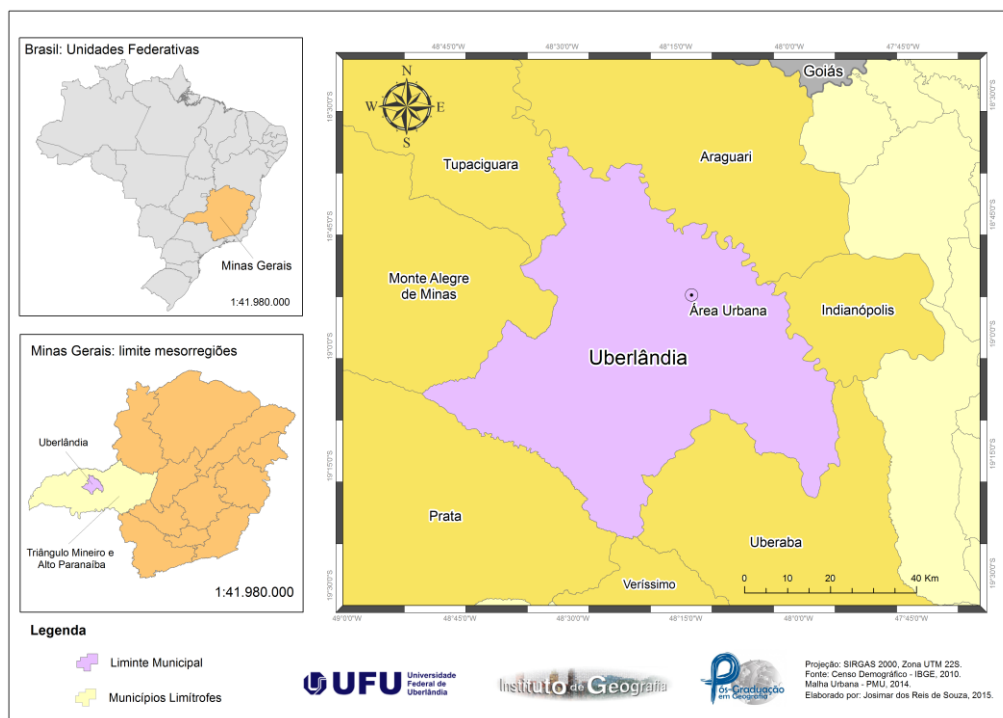


Figura 2.1 – Localização geográfica da cidade de Uberlândia – MG.

Fonte: [23]

A variável em análise neste trabalho foi o consumo médio diário (m^3) de água tratada, nas residências da zona urbana da cidade, sendo esta média avaliada para cada mês do ano de 2015. Os dados foram obtidos junto ao DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto, do Município de Uberlândia - MG.

As informações foram disponibilizadas como o consumo de água total por bairro em cada mês, associadas ao número de ligações de água por bairro no mês, sendo o consumo médio diário no mês obtido pela relação entre consumo total e número de ligações. Os bairros ou setores selecionados para a avaliação do consumo de água na cidade, usados neste estudo, são baseados na descrição apresentada pelo DMAE e são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Relação dos setores (bairros) de medição do consumo residencial de água tratada, no município de Uberlândia, no ano de 2015, de acordo como o DMAE.

Código	Setor do DMAE	Código	Setor do DMAE	Código	Setor do DMAE
1	Aclimação	41	Jardim Botânico II	81	Morada Nova III
2	Aeroporto	42	Jardim Brasília	82	Morada Nova IV
3	Alegria	43	Jardim Califórnia	83	Morada Nova V
4	Alto Umuarma II	44	Jardim Canaã	84	Morada Nova VI
5	Alto Umuama III	45	Jardim Celia	85	Morada Nova VII
6	Bandeirantes	46	Jardim Das Hortênsias	86	Morada Nova VIII
7	Bela Vista I	47	Jardim Das Palmeiras	87	Morumbi
8	Bela Vista II	48	Jardim Das Palmeiras II	88	Morumbi II
9	Belo Horizonte	49	Jardim Europa	89	Morumbi III
10	Bom Jesus	50	Jardim Florida	90	Nossa Senhora Aparecida
11	Bonanza	51	Jardim Ipanema I	91	Nossa Senhora das Graças
12	Bosque Dos Buritis	52	Jardim Ipanema II	92	Nova Uberlândia
13	Boulevard Mineiro	53	Jardim Itália	93	Novo Umuarama
14	Canaã II	54	Jardim Leticia	94	Oliveira
15	Carajás	55	Jardim Metrôpole	95	Ordem
16	Chaves	56	Jardim Nosso Recanto	96	Pacaembu
17	Cidade Jardim I	57	Jardim Ozanan	97	Pacaembu II
18	Cidade Jardim II	58	Jardim Parque Do Sabia	98	Pacaembu III
19	Condomínio Decisão	59	Jardim Patrícia	99	Pampulha
20	Cruzeiro Do Sul	60	Jardim Patrícia II	100	Pampulha II
21	Custodio Pereira	61	Jardim Prosperidade	101	Parque Das Paineiras
22	Daniel Fonseca	62	Jardim Sucupira	102	Parque Das Seringueiras
23	De Lourdes	63	Jardim Umuarama	103	Parque Dos Eucaliptos
24	Disciplina	64	Jardim Umuarama II	104	Parque Dos Eucaliptos II
25	Dona Maria Rezende	65	Joana Darc	105	Parque Guarani
26	Dona Zumira	66	Lagoinha	106	Parque Guarani II
27	Dos Buritis	67	Laranjeiras	107	Parque Guarani III
28	Eduardo Rende	68	Leão XIII	108	Parque Guarani IV
29	Esperança	69	Luizote De Freitas	109	Parque Maravilha
30	Fluminense	70	Luizote de Freitas II	110	Parque Resid. Do Camaru
31	Granada	71	Luizote de Freitas III	111	Parque São Gabriel
32	Granjas Rosa Maria	72	Mansour	112	Parque São Jorge
33	Higino Guerra	73	Mansour I	113	Parque São Jorge II
34	Industrial	74	Maravilha	114	Parque São Jorge III
35	Itapema Sul	75	Marta Helena	115	Parque São Jorge IV
36	Jaguará	76	Minas Brasil	116	Parque São Jorge V
37	Jardim América I	77	Minas Gerais	117	Parque Trianon
38	Jardim América II	78	Moinho de vento	118	Patrimônio D'Abadia
39	Jardim Aurora	79	Morada Nova I	119	Planalto
40	Jardim Botânico	80	Morada Nova II	120	Planalto I

Continuação tabela 2.1

Cod	Setor do DMAE	Cod	Setor do DMAE	Cod	Setor do DMAE
121	Quintas Do Bosque I	135	Santa Rosa I	149	Tibery
122	Quintas Do Bosque II	136	Santa Rosa II	150	Tocantins
123	Residencial Aruanan	137	Santa Rosa III	151	Tocantins II
124	Resid. Dom Almir	138	Santo Antônio	152	Tocantins III
125	Resid. Jardim Brasília I	139	São Jorge I	153	Valle
126	Resid. Jardim Brasília II	140	São Jose	154	Vila Ana Angélica
127	Residencial Liberdade	141	São Lucas	155	Vila Carneiro
128	Residencial Nossa Lar	142	Segismundo Pereira	156	Vila Correia
129	Residencial Viviane	143	Tabajaras	157	Vila Maria
130	Rezende	144	Taiaman	158	Vila Povia
131	Santa Luzia	145	Taiaman II	159	Vila Satélite
132	Santa Monica	146	Talismã	160	Vila Vasco Gifone
133	Santa Monica II	147	Tancredo Neves	161	Village Karaiba
134	Santa Monica III	148	Thomaz Rezende		

A caracterização geral do consumo médio diário por mês na cidade de Uberlândia-MG foi feita por meio da análise exploratória dos dados e teve a finalidade de verificar o comportamento geral da variável, no período avaliado. Nesta fase de análise foram calculadas as estatísticas (médias, quartis, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação). Esta análise foi realizada após a verificação inicial das inconsistências do banco de dados.

2.2. Análise geoestatística

A dependência espacial foi avaliada por meio do cálculo das semivariâncias dos valores observados, conforme descrito em [25] e [22], que geraram os semivariogramas utilizados na análise da estrutura de dependência espacial. As semivariâncias foram obtidas pelo estimador de Matheron que é dado pela equação 1:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância para uma distância h ; $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ são os pares de observações da variável Z nas posições x_i e x_{i+h} e $N(h)$ o número de pares na distância h .

Os resultados das semivariâncias médias para cada distância h foram plotados em um gráfico denominado semivariograma e, com base nestes resultados, foram definidos os modelos teóricos que descrevem o comportamento da dependência espacial da variável.

Para adequação do modelo, foi utilizada a técnica *Eyefit* do programa de domínio público geoR [19], que consiste em ajustar um modelo inicial e alterar os valores de efeito pepita (C_0), contribuição (C) e alcance (a), que são os parâmetros que caracterizam o modelo, até encontrar uma curva que se aproxime melhor dos dados. Dependendo do ajuste obtido, se pode ou não redefinir o modelo, até a obtenção de um ajuste que seja considerado satisfatório [2], sendo que a seleção do modelo foi baseada na técnica de validação cruzada.

O modelo geoestatístico utilizado para o consumo médio diário de água tratada na cidade de Uberlândia-MG, utilizando a técnica de validação cruzada para a seleção do melhor modelo, foi o Gaussiano, definido pela equação 2.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h^2}{a^2}\right) \right] \quad (2)$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância para uma distância de separação entre pontos h , a é o alcance da dependência espacial, C_0 o efeito pepita ou variação não estruturada no espaço, C é a contribuição da dependência espacial ou variação estruturada e $C_0 + C$ é o patamar do modelo. Na Figura 2.2 é apresentado um semivariograma próximo ao esperado mostrando o que se espera dos dados amostrais de superfície continua.

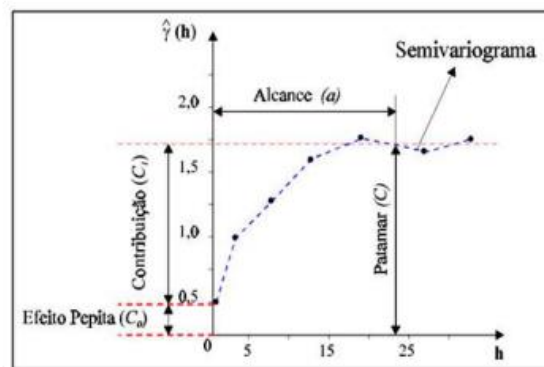


Figura 2.2 – Esquema do semivariograma experimental

Fonte: [3]

O grau de dependência espacial dos modelos ajustados foi calculado por meio da relação entre C_0 e C_0+C , conforme descrito em [4] em que são considerados: de dependência espacial forte, os semivariogramas que têm efeito pepita (C_0) menor que 25% do patamar; de dependência espacial moderada quando o efeito pepita (C_0) está entre 25 e 75% em relação ao patamar e de dependência espacial fraca, quando o efeito pepita(C_0) for maior 75% do patamar.

Definido o modelo do semivariograma, passou-se para a fase de interpolação dos dados. A técnica de interpolação utilizada foi a krigagem. Segundo [20], krigagem é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos a diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento de inferência e o erro associado ao valor estimado.

O estimador de krigagem é dado pela equação 3:

$$Z^*(X) = \sum_{i=1}^k \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

Em que: $Z^*(X)$ é o valor estimado na posição X ; λ_i é o peso atribuído ao valor observado da variável Z na posição x_i ; k é o número de vizinhos usados nas estimativas.

Os resultados finais das interpolações por krigagem foram expressos em forma de mapas representativos da variável consumo de água residencial, para a área de estudo, na cidade de Uberlândia-MG, para cada mês do ano de 2015, que possibilitaram a visualização da distribuição espacial desta variável ao longo do tempo.

Todas as análises geoestatísticas foram realizadas no pacote geoR [19], e software R [18], que são de domínio público.

2.3. Análise de Cluster

No procedimento de análise de *clusters* os objetos de aglomeração foram os bairros da cidade de Uberlândia – MG, definidos conforme critérios do DMAE e as variáveis de aglomeração foram os consumos médios ao longo dos meses.

Foi realizada a seleção da medida de proximidade do método aglomerativo, conforme descrito em [9], tendo sido utilizado o método hierárquico com a distância euclidiana e o método aglomerativo Ward.

O dendograma geral foi construído e os grupos foram definidos considerando-se diferentes pontos de corte, neste dendograma, para a aglomeração dos bairros.

Para cada bairro atribuiu-se o número do cluster a que o mesmo pertencia, ou seja, buscou-se agrupar bairros de acordo com suas similaridades no consumo de água ao longo dos meses do ano de 2015.

Os resultados finais da análise de cluster foram dispostos em uma tabela que associou cada bairro ao seu correspondente cluster e também foi ilustrado por meio de gráfico de dispersão que mostra as localizações dos clusters obtidos no espaço.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3.1 são apresentadas as estatísticas do consumo diário de água tratada, nas residências da cidade de Uberlândia-MG, para os meses de janeiro a dezembro do ano de 2015.

Tabela 3.1 - Análise descritiva do consumo diário de água tratada (m³), nas residências da cidade de Uberlândia-MG, referente ao ano de 2015.

Meses	Média	Mediana	Q1	Q3	Min	Max	S	CV	S _k	K
Janeiro	0,6328	0,6170	0,5420	0,7215	0,3300	0,8980	0,1274	20,1339	0,0773	-0,6287
Fevereiro	0,5734	0,5420	0,4820	0,6490	0,3900	0,8950	0,1218	21,2490	0,7415	-0,1760
Março	0,5930	0,5755	0,5095	0,6617	0,4080	0,8790	0,1145	19,3045	0,5390	-0,4620
Abril	0,5870	0,5550	0,4870	0,6630	0,4000	0,9000	0,1287	21,9235	0,7404	-0,4428
Maio	0,6004	0,5780	0,5150	0,6710	0,4050	0,8980	0,1196	19,9254	0,6817	-0,2151
Junho	0,5873	0,5675	0,5038	0,6560	0,4000	0,8790	0,1162	19,7787	0,6179	-0,3650
Julho	0,6132	0,5905	0,5245	0,6847	0,4050	0,8930	0,1205	19,6477	0,5398	-0,3851
Agosto	0,6554	0,6390	0,5790	0,7435	0,4220	0,8910	0,1097	16,7439	0,1367	-0,6289
Setembro	0,6512	0,6485	0,5787	0,7260	0,4150	0,8970	0,1109	17,0349	-0,0589	-0,6347
Outubro	0,6580	0,6535	0,5645	0,7550	0,4030	0,8900	0,1225	18,6176	0,0253	-0,8232
Novembro	0,6389	0,6320	0,5460	0,7250	0,3800	0,8990	0,1214	19,0092	0,0196	-0,7550
Dezembro	0,6425	0,6390	0,5685	0,7235	0,4000	0,8920	0,1125	17,5061	0,0773	-0,6287

Q1 = 1º quartil; Q3 = 3º quartil; Min = mínimo; Max = Máximo; S = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; S_k = coeficiente de assimetria; K = coeficiente de curtose

Pode-se observar que o mês de outubro se destaca com um maior consumo médio residencial de água e o mês de abril obteve-se o maior coeficiente de variação (CV).

Observa-se ainda por meio da Tabela 3.1, que os valores de média e de mediana para cada mês estão relativamente próximos, que ocorre uma equidistância aproximada do primeiro e terceiro quartil em relação à mediana e que os coeficientes de assimetria estão relativamente próximos de zero. Estes fatos levam a classificar as distribuições do consumo de água como sendo aproximadamente simétricas. Segundo [26] descrevem que a aplicação das técnicas de análise geoestatística não necessitam de normalidade dos dados, entretanto, para o uso do estimador de semivariância de Matheron é recomendado que os dados não apresentem assimetria acentuada.

Em relação à variabilidade, medida pelo CV, nota-se que esta tem comportamento semelhante ao longo do ano, levando a induzir que o consumo de água se afasta da média de consumo de forma semelhante ao longo dos meses. Mas o CV não avalia a dispersão espacial e então, apesar da distribuição em torno da média ser parecida, pode ocorrer comportamento espacial diferenciado para os meses do ano e que deve ser avaliado por meio dos semivariogramas.

A análise do semivariograma para cada mês do ano de 2015 permitiu ajustar o modelo teórico do tipo gaussiano em todas as situações, conforme mostram os gráficos da Figura 3.1. A escolha do modelo, assim como as estimativas dos parâmetros do modelo foi feita com base na técnica de validação cruzada.

A seleção do modelo gaussiano para descrever o comportamento espacial do consumo de água tratada na cidade de Uberlândia-MG, nos meses de janeiro a dezembro, mostra que o padrão espacial é semelhante ao longo do tempo, entretanto, o fato dos modelos ajustados não apresentarem estimativas dos parâmetros semelhantes ou proporcionais entre si não permite dizer que ocorre a estabilidade temporal, ou seja, o comportamento espacial não é afetado apenas pela escala de consumo ao longo do tempo, mas também pelos hábitos de consumo de cada bairro.

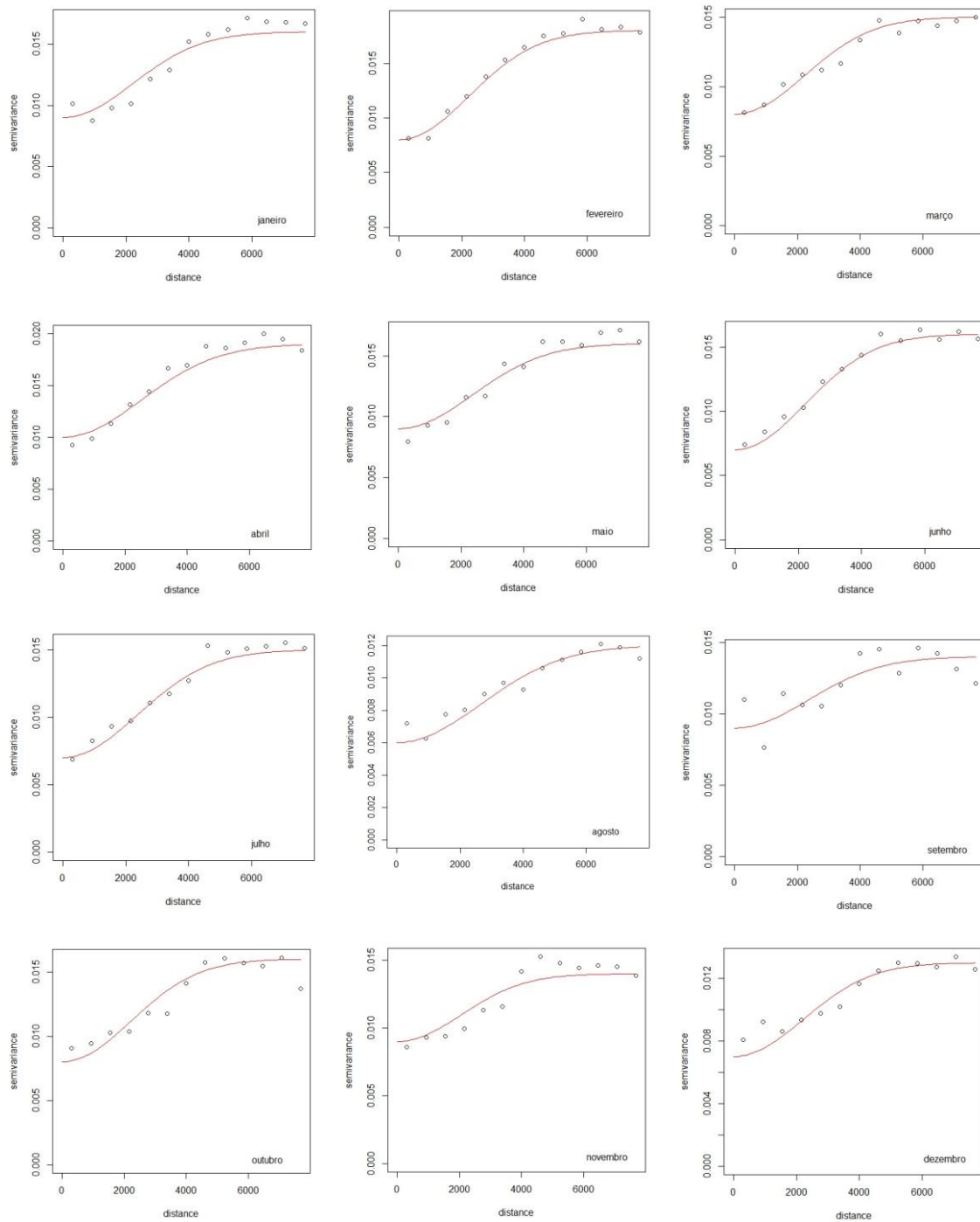


Figura 3.1 - Semivariogramas experimentais com modelos gaussianos ajustados por mês para o ano de 2015.

Na Tabela 3.2 são apresentadas as estimativas dos parâmetros dos modelos gaussianos ajustados assim como os respectivos graus de dependência.

Tabela 3.2 – Estimativas dos parâmetros: Efeito pepita (Co), Contribuição (C) e alcance (a), para os modelos gaussianos e grau de dependência (GD) do consumo de água tratada nas residências da zona urbana de Uberlândia - MG, por mês para o ano de 2015.

Meses	CO	C	a	GD
Janeiro	0,0090	0,0070	5397,2110	0,5625
Fevereiro	0,0080	0,0100	5397,2110	0,4444
Março	0,0080	0,0070	5397,2110	0,5333
Abril	0,0100	0,0090	6116,8333	0,5263
Maio	0,0090	0,0070	5757,0135	0,5625
Junho	0,0070	0,0090	5397,2110	0,4375
Julho	0,0070	0,0080	5757,0135	0,4667
Agosto	0,0060	0,0060	6476,6359	0,5000
Setembro	0,0090	0,0050	5757,0135	0,6429
Outubro	0,0080	0,0080	5397,2110	0,5000
Novembro	0,0090	0,0050	5037,3911	0,6429
Dezembro	0,0070	0,0060	5397,2110	0,5385

A Tabelas 3.2 mostra que, considerando a classificação proposta por [4], ocorreu dependência espacial de grau moderado para todos os meses pois os GD ficaram entre 0,25 e 0,75.

O alcance da dependência mínimo encontrado foi de 5037,391UTM para o mês de novembro e o máximo foi de 6476,6359 UTM para o mês de agosto. Portanto, existe uma correlação espacial, para os consumos de água tratada, entre as residências que se encontram afastadas entre si em círculos com raios que variam na magnitude dos alcances associados a cada mês. Este fato pode contribuir com o planejamento de uso, distribuição e consumo de água por parte dos gestores do DMAE, pois se ocorre a dependência espacial é possível mapear o consumo por região, considerando-se faixas pré-estabelecidas, desta forma pode-se visualizar as regiões onde ocorrem maiores e menores consumos de água.

Com base nos semivariogramas ajustados, as interpolações usando a krigagem ordinária foram realizadas. A metodologia de krigagem ordinária assume que os valores na região de interesse não apresentam tendência que possam afetar os resultados e possibilitaram a confecção dos mapas, para cada mês do ano de 2015. Estes expressam áreas com maior ou menor consumo de água tratada na zona

urbana de Uberlândia-MG, conforme apresentado na Figura 3.2, para a zona urbana da cidade.

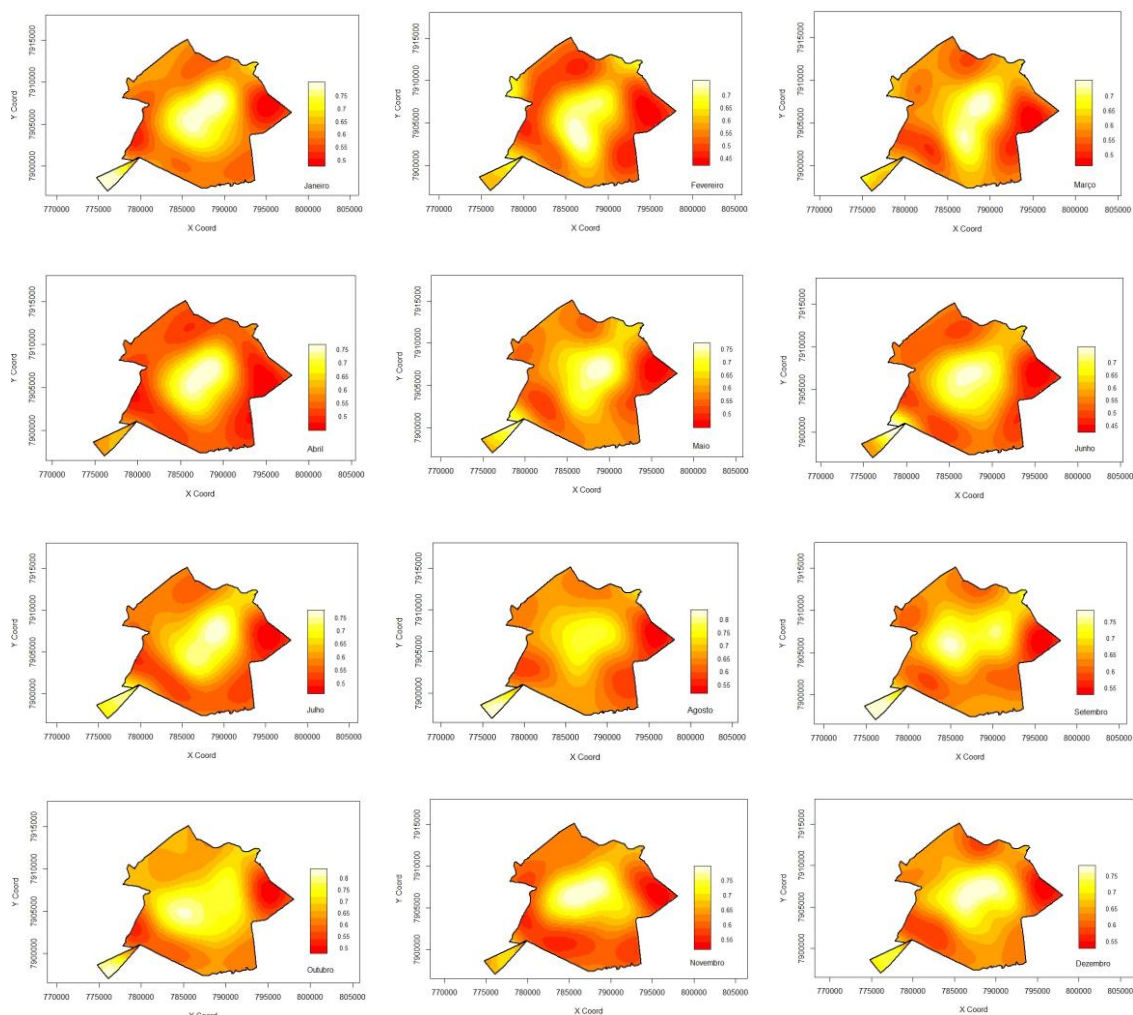


Figura 3.2 - Mapeamento por krigagem da variável consumo residencial de água tratada na zona urbana da cidade de Uberlândia – MG, nos meses de janeiro a dezembro de 2015.

Os resultados da Figura 3.2 apontam uma tendência de padrão de concentração de maior consumo na região central do mapa representativo da área urbana da cidade, sendo que, para a cidade de Uberlândia-MG, esta área representa o bairro denominado Centro e seus respectivos bairros limítrofes.

A expansão urbana da cidade tem ocorrido nas regiões periféricas do mapa representativo e apresenta, no geral, os menores consumos de água. Este fato pode estar associado a conscientização de novos empreendimentos imobiliários em relação a importância do uso desse recurso, fazendo com que se busque

equipamentos domésticos que minimizem o uso da água, assim como formas de reuso da água ou armazenamento de água de chuva para uso em determinadas atividades residenciais.

Observando os mapas gerados para os meses de janeiro a dezembro de 2015, nota-se que o padrão espacial é semelhante para todos os meses. Isto se deve ao fato do ajuste do modelo espacial gaussiano para todos os meses. Entretanto, percebem-se diferenças nas áreas e na disposição das faixas de consumo. Estas diferenças são devidas as variações que ocorreram no alcance e na contribuição da dependência espacial para cada mês. Por exemplo, ao se comparar os mapas dos meses de agosto e novembro, que apresentaram, respectivamente, o maior e o menor alcance da dependência espacial e também graus de dependência diferenciados, nota-se que não há semelhança nas distribuições das faixas de ocorrência de consumo, reforçando a ideia de que os hábitos de consumo de água ao longo dos meses do ano não são semelhantes entre os diversos bairros da cidade.

Um aspecto interessante para a análise de uma variável ao longo do tempo, se refere a estabilidade temporal, ou seja, verificar se a variabilidade espacial da variável em análise é a mesma ao longo do tempo, variando-se apenas a escala dessa variabilidade. Autores como [10] e [21] abordaram aspectos da estabilidade temporal da variabilidade espacial e argumentaram que, se a estabilidade temporal ocorre um modelo de dependência padronizado pode ser utilizado para se fazer as estimativas em qualquer tempo e que para a geração dos mapas os valores obtidos na interpolação devem ser multiplicados pelo fator de escala de cada tempo. Este fato pode contribuir com a redução no tempo de análise dos dados e facilitar tomadas de decisões, pois faixas com valores relativos maiores ou menores tendem a apresentar este aspecto em qualquer época de análise. Cabe ressaltar que, quando ocorre a estabilidade temporal o fator de escala, que padroniza o modelo de dependência, é dado pela variância dos dados.

Neste estudo, apesar dos modelos ajustados terem sido sempre o gaussiano, verificou-se diferenças nos parâmetros do modelo, ou seja, diferentes alcances e contribuições da dependência espacial, portanto não ocorre estabilidade temporal entre os meses do ano. Um estudo futuro pode ser realizado para verificar se esta estabilidade temporal ocorre para cada mês em anos diferentes.

Trabalhos e estudos científicos que envolvam a ferramenta geoestatística na determinação da dependência espacial e no mapeamento das variáveis de interesse são comuns em áreas de estudos envolvendo agricultura, meio ambiente, mineração, hidrologia, climatologia, dentre outras, entretanto, não se conseguiu

relatos de trabalhos que envolvam abastecimento ou consumo de água tratada em cidades usando essa técnica, impossibilitando a comparação e a discussão dos resultados aqui obtidos com aqueles advindo da literatura.

Considerando a análise multivariada, na Figura 3.3 é apresentado o esboço do dendograma final referente ao consumo residencial de água potável da cidade de Uberlândia-MG, para o ano de 2015, com a distinção de três grupos, cujos setores (bairros) participantes de cada cluster são apresentados na Tabela 3.3.

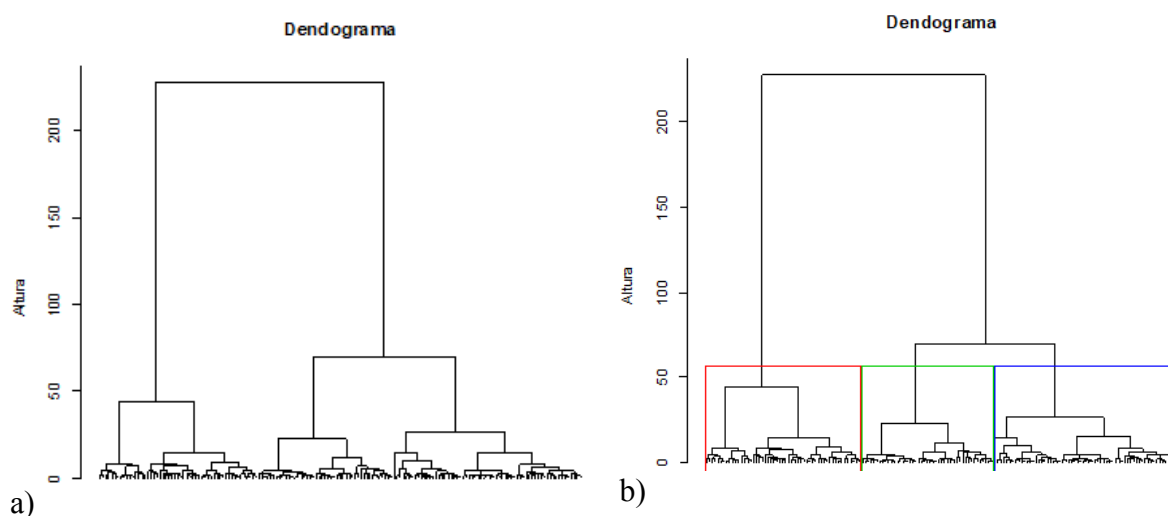


Figura 3.3 - Dendograma referente ao consumo de água da cidade de Uberlândia-MG, para o ano de 2015: a) dendograma inicial b) dendograma com 3 grupos.

Na Figura 3.3 é possível notar que, para uma altura de corte de aproximadamente 50, distinguem-se três grupos de bairros em relação ao consumo de água residencial na cidade de Uberlândia – MG. Esta separação dos três grupos é mostrada na Figura 3.3 b).

A Tabela 3.3 apresenta os setores ou bairros que compõem cada grupo de acordo com a codificação presente na Tabela 1.

Tabela 3.3 - Tabela referente aos clusters formados do consumo residencial de água dos 161 bairros (setores) da cidade de Uberlândia-MG, para o ano de 2015.

Grupo 1 (G1)	Grupo 2 (G2)	Grupo 3 (G3)
Aeroporto	Aclimação	Alegria (Loteamento)
Alto Umuarama II	Bom Jesus	Alto Umuarama III (Loteamento)
Bandeirantes (Conjunto)	Chaves (Loteamento)	Bela Vista (Chácaras)
Belo Horizonte (Loteamento)	Daniel Fonseca	Bela Vista (Loteamento)
Bonanza (Chácaras)	De Lourdes (Loteamento)	Bosque Dos Buritis (Loteamento)
Canaã II	Dos Buritis (Loteamento)	Boulevard Mineiro (Loteamento)
Cidade Jardim	Eduardo Rende (Loteamento)	Carajás
Custodio Pereira	Granada	Cidade Jardim (Setor A)
Dona Zulmira	Higino Guerra (loteamento)	Condomínio Decisão
Esperança (Loteamento)	Jardim Aurora (Loteamento)	Cruzeiro Do Sul (Conjunto)
Fluminense (Loteamento)	Jardim Botânico II (Loteamento)	Disciplina (Loteamento)
Industrial	Jardim California	Dona Maria Rezende (Conjunto)
Itapema Sul (Loteamento)	Jardim Das Palmeiras	Granjas Rosa Maria
Jardim Botânico (Loteamento)	Jardim Ipanema I (Loteamento)	Jaguará
Jardim Brasília	Jardim Nosso Recanto	Jardim América I (Loteamento)
Jardim Leticia (Loteamento)	Jardim Parque Do Sabia	Jardim América II (Loteamento)
Jardim Metrôpole (Loteamento)	Jardim Umuarama	Jardim Canaã
Jardim Ozanan (Loteamento)	Leão XIII (Loteamento)	Jardim Celia (Loteamento)
Jardim Patrícia	Luizote De Freitas	Jardim Das Hortência
Jardim Patrícia II (Loteamento)	Luizote de Freitas II	Jardim Das Palmeiras II
Lagoinha	Mansour	Jardim Europa
Marta Helena	Maravilha	Jardim Florida (Loteamento)
Minas Brasil (Loteamento)	Pacaembu	Jardim Ipanema II (Loteamento)
Moinho de vento (Loteamento)	Pampulha	Jardim Itália (Loteamento)
Morada Nova I (Loteamento)	Pampulha II	Jardim Prosperidade
Morada Nova II (Loteamento)	Parque Guarani	Jardim Sucupira (Loteamento)
Morada Nova III (Loteamento)	Parque Guarani II (Loteamento)	Jardim Umuarama II
Morada Nova IV (Loteamento)	Parque Guarani III (Loteamento)	Joana Darc (Loteamento)
Morada Nova V (Loteamento)	Parque Guarani IV (Loteamento)	Laranjeiras
Morada Nova VI (Loteamento)	Planalto	Luizote de Freitas III
Morada Nova VII (Loteamento)	Planalto I (Loteamento)	Mansour I (Prolongamento)
Morada Nova VIII	Residencial Jardim Brasília I	Minas Gerais
Nossa Senhora Aparecida	Residencial Nossa Lar	Morumbi
Nossa Senhora das Graças	Santa Luzia (Conjunto)	Morumbi (B-Loteamento)
Oliveira (Loteamento)	Santa Monica (Remanejamento)	Morumbi (C-Loteamento)
Parque Maravilha (Chácaras)	Santa Rosa	Nova Uberlândia
Parque São Jorge IV	Santa Rosa II (Conjunto)	Novo Umuarama (Loteamento)
Patrimônio D'Abadia	Segismundo Pereira	Ordem (Loteamento-Fechado)
Quintas Do Bosque I Chácaras)	Tancredo Neves (Loteamento)	Pacaembu II (Loteamento)

Continuação tabela 3.3...

Grupo 1 (G1)	Grupo 2 (G2)	Grupo 3 (G3)
Rezende (Loteamento)	Tocantins (Prolongamento)	Parque Das Seringueiras
Rezende	Valle (Loteamento)	Parque Dos Eucaliptos
Santa Monica (Setor-C)	Vila Satélite (Loteamento)	Parque Dos Eucaliptos II
Santa Monica (Setor-D)	Village Karaiba (Loteamento)	Parque Residencial Do Camaru
São Jose	Tomaz Rezende	Parque São Gabriel (Loteamento)
Tabajaras		Parque São Jorge
Tibery		Parque São Jorge II (Loteamento)
Vila Ana Angélica (Loteamento)		Parque São Jorge III (Loteamento)
Vila Carneiro (Loteamento)		Parque São Jorge V (Loteamento)
Vila Correia (Loteamento)		Parque Trianon (Loteamento)
Vila Maria (Loteamento)		Residencial Aruanan
Vila Povia (Loteamento)		Residencial Dom Almir
Vila Vasco Gifone		Residencial Jardim Brasília II
		Residencial Viviane
		Santa Rosa (Loteamento)
		Santo Antônio (Loteamento)
		São Jorge I (Loteamento)
		São Lucas (Loteamento)
		Taiaman
		Taiaman (Prolongamento)
		Talismã (Loteamento)
		Tocantins II (Loteamento)

Na Figura 3.4 encontra-se a representação gráfica dos grupos formados pela análise de cluster para o consumo de água, dos 161 bairros da cidade de Uberlândia-MG, para o ano de 2015, de acordo com o posicionamento geográfico desses bairros.

Nota-se concentração maior do grupo1 (G1) na região central da cidade, entretanto pode-se verificar a presença dos demais grupos também nesta região da cidade. Este fato se destoa um pouco dos resultados obtidos nos mapas gerados pela geoestatística que, no geral, apresentaram uma distinção mais clara de consumo entre a área central e as áreas periféricas. Entretanto, cabe ressaltar que na análise de cluster foram utilizados apenas 3 grupos de consumo, sendo que, um possível maior detalhamento em mais grupos, possa levar a uma similaridade maior entre os mapas gerados pelas duas técnicas.

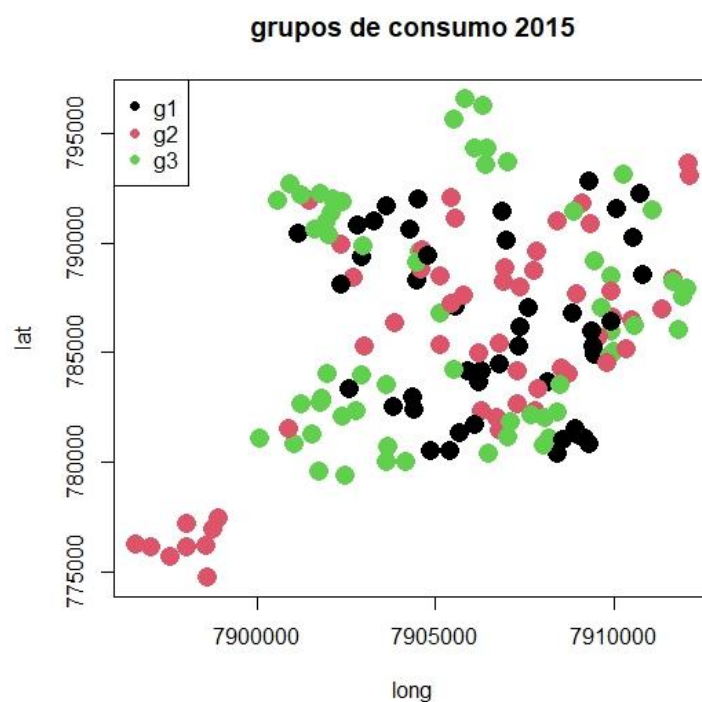


Figura 3.4 - Mapeamento do consumo residencial de água tratada da cidade de Uberlândia-MG com os respectivos grupos formados pela análise de cluster.

É necessário também destacar que na análise geoestatística considera-se as associações espaciais entre os bairros, fato que não se considera na análise de cluster.

Na Tabela 3.4 são apresentadas as estatísticas descritivas do consumo de água residencial para cada grupo formado pela análise de clusters.

A aplicação de uma análise de variância para verificar a suposição de diferenças significativas entre os grupos, resultou em $p\text{-valor} < 0,001$, portanto, verifica-se que ocorreram diferenças significativas entre os consumos médios dos grupos.

Ainda na Tabela 3.4 as letras associadas às médias mostram as diferenças entre os grupos pelo teste de Tukey. Nota-se que todos os grupos diferem entre si, portanto, a separação dos bairros em 3 grupos foi eficiente para explicar as faixas de consumo na cidade.

Tabela 3.4 - Estatística descritiva e teste de Tukey para os grupos formados pela análise de clusters.

GRUPOS	ESTATÍSTICAS		
	Média*	Mediana	Desvio Padrão
G1	0,6144b	0,6080	0,0259
G2	0,7078a	0,7033	0,0456
G3	0,5431c	0,5449	0,0301

* Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Os setores com o maior consumo médio de água para uso residencial são aqueles pertencentes ao grupo 2 e que representa 28% dos setores de medição; seguido pelo consumo médio do grupo 1 que contem 33% dos bairros e, o consumo médio de menor magnitude ocorre no grupo 3 que representa 39% dos bairros avaliados.

Nota-se ainda variabilidade relativamente baixa dos consumos dentro de cada grupo, com coeficientes de variação de 4,2%; 6,4% e 5,5%, respectivamente, para os grupos 1, 2 e 3.

Na comparação geral dos resultados obtidos na análise geoestatística (Figura 3.2) com os obtidos na análise de cluster (Figura 3.4), percebe-se, visualmente, que os menores consumos ocorrem nas zonas periféricas da cidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ressalta-se a eficiência da geoestatística voltada para o estudo da variável analisada, pois foi observada a dependência espacial em todas as situações estudadas. Portanto, os mapas gerados por meio de técnicas geoestatística irão produzir estimativas mais precisas do que aqueles gerados por técnicas de interpolação que não consideram a dependência espacial descrita pelo semivariograma.

A geoestatística consiste em uma ferramenta inovadora, por permitir a espacialização dos dados e impor uma maior precisão aos estudos relacionados a esse tema, pois além de considerar o valor do consumo em si, considera também a distribuição no espaço e seu grau de relação com os vizinhos.

O mapeamento feito por meio da krigagem, quando comparado com outros tipos de interpoladores, permite realizar estimativas com maior precisão e desta forma irá produzir um panorama mais realístico do consumo de água tratada na cidade de Uberlândia – MG.

A análise de agrupamento (análise de cluster) também se mostrou uma técnica eficiente para fazer a distinção entre o consumo de água entre os bairros da cidade. Esta técnica pode apresentar aplicabilidade satisfatória para a separação dos bairros em grupos de consumo quando não se considera a posição geográfica dos elementos a serem agrupados.

Os mapas gerados, tanto pela técnica geoestatística quanto pela análise de cluster, no ano de 2015, indicaram que a região central da cidade de Uberlândia-MG e suas adjacências, no geral, apresentaram consumos médios mais altos quando comparados com os setores localizados nas periferias,

Estudos podem ser realizados para outros anos utilizando essas metodologias para a verificação da estabilidade temporal do consumo ao longo dos anos.

Essas técnicas de análises estatísticas, assim como outras, podem contribuir com o DMAE em relação a gestão desse recurso na cidade de Uberlândia-MG, como, por exemplo, a conscientização do uso desse recurso tão precioso para a humanidade.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, M. F. C.; GUIMARÃES, E. C.; CARVALHO, D. F.; ARAÚJO, L. B. Precipitação pluviométrica mensal no Estado do Rio de Janeiro: sazonalidade e tendência. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p.90-100, ago. 2009.
- [2] CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CAMARA, Gilberto; MEDEIROS, J. S. de. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Cap. 5. p. 1-36.
- [3] CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfície. Brasília: Embrapa, 2004.
- [4] CAMBARDELLA, C.A.; Moorman, T.B; Novack, J.M; Parkin, T.B; Karlen, D.L; Turco R.F.; Knopka, A.E. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal, Medison**, v.58, p.1240-1248, 1994.
- [5] CARRIJO, B.R.; BACCARO, C.A.D. Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 2, n. 1, p. 70-83, 2000.
- [6] CASTRO JUNIOR, R. M.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros de qualidade da água (IQA-NSF) para a sub-bacia hidrográfica do Rio Castelo (ES) usando sistema de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Ouro Preto, v. 59, n. 3, p.241-253, 2007.
- [7] CEPES: Centro de Estudos, Pesquisas e Projetos Econômicos-socias. **Uberlândia - Painel de Informações Municipais 2018**. Uberlândia-MG: Centro de Estudos, Pesquisas e Projetos Econômico-sociais/Instituto de Economia e Relações Internacionais/Universidade Federal de Uberlândia, agosto 2018. 93 p. Disponível em: <http://www.ie.ufu.br/CEPES>. Acesso em: 05/12/2018
- [8] FARIA, N. M. X.; FACCHINI, L. A.; FASSA, A. G.; TOMASI, E. Trabalho rural e intoxicações por agrotóxicos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, n. 5, p. 1298-308, set./out. 2004

- [9] FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras: Editora UFLA, 2008.
- [10] GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, A. P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 155-164, 1999.
- [11] HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – Uma visão realista. In: REBOUÇAS, A. et al (org.) **Águas Doces no Brasil**. (São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, 1999.
- [12] IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Minas Gerais: Uberlândia, MG, 2016.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>>. Acesso em: 05/12/2018
- [13] KÖPPEN, W. klassifikation der klimate nach temperatura, niederschlag und jahreslauf. Peter manns. Geographische Mitteilungen, Gotha, V.64 p 193-203, 1918.
- [14] LOUREIRO, G. E.; FERNANDES, L. L.. Variação da precipitação por método de interpolação geoestatística. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 2, p.77-87, 2013.
- [15] MENDES, P.C. **A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia (MG)**. 2001. 237 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.
- [16] PINTO, W. de P.; LIMA, G. B.; ZANETTI, J. B. Análise comparativa de modelos de séries temporais para modelagem e previsão de regimes de vazões médias mensais do Rio Doce, Colatina - Espírito Santo. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p.1-11, ago., 2015.
- [17] PRADO, J. R. **Métodos Estatísticos no monitoramento da potência elétrica**. Tese: Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária, UFLA, 159 p., 2015.
- [18] R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

- [19] RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R News**, London, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- [20] RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros de solo**. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- [21] SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MOREIRA, N. B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição de armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1434-1447, 2012.
- [22] SOARES, A. **Geoestatística Para as Ciências da Terra e do Ambiente**, IST Press, 232 p., 2014.
- [23] SOUZA, J. R. **Trilhando por cidades saudáveis: contribuição metodológica de índice e aplicação em Uberlândia, MG**. (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- [24] UBERLÂNDIA (município). DMAE: Departamento Municipal de Água e Esgoto. **O DMAE**. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae>. Acesso em: 10/02/2020.
- [25] VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, **51**(3):1-75, 1983.
- [26] YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.

