



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



CAMILA DOURADO MACHADO



Campo Grande, MS.
2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

CAMILA DOURADO MACHADO

**GEOESTATÍSTICA APLICADA À ESTIMATIVA E
ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS DE VAZÃO**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Tecnologias Ambientais. Área de concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves

Aprovado em: 02 de setembro de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves
Orientador PGTA- UFMS

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos
Filho
instituição UFMS

Prof. Dr. Edwaldo Henrique Bazana
Barbosa
instituição UEMS

Prof. Dr. Alisson André Ribeiro
instituição UFMS

Prof. Dr. Hugo Koji Suekame
instituição UFMS

**Campo Grande, MS.
2022**

AGRADECIMENTOS

A Deus por cuidar de tudo tão bem.

A minha família por estar sempre ao meu lado. Em special a minha mãe, Wilcelene.

Ao Fábio Veríssimo, muito mais que um orientador. Você me ensinou a acma de tudo ser humana na vida acadêmica.

Aos meus amigos que sempre acreditaram em mim.

Ao PGTA, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001 e da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil.

Vocês tornaram este trabalho real!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	4
LISTA DE TABELA	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO GERAL	9
OBJETIVO GERAL	10
ÁREA DE ESTUDO.....	11
CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL	11
CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS.....	14
1.1 INTRODUÇÃO	17
1.1.1 O PAPEL DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	17
1.1.2 A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	20
1.1.3 O PROBLEMA DAS BACIAS SEM DADOS E AS TÉCNICAS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES	21
1.1.4 A KRIGAGEM COMO INSTRUMENTO DE PREDIÇÕES DE VAZÕES.....	24
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
1.2.1 CÁLCULO DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA	28
1.2.2 INTERPOLAÇÃO GEOESTATÍSTICA	30
1.2.3 PROCESSO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	32
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
1.3.1 ANÁLISE DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS	62

LISTA DE FIGURA

Figura 1 -	Área de Estudo – Estado de Mato Grosso do Sul (MS).....	12
Figura 2 -	Área de Estudo – Estado de Goiás (GO).....	15
Figura 3 -	Histogramas e relatório estatístico para vazões q95. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	40
Figura 4 -	Histogramas e relatório estatístico para vazões qmlp. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	41
Figura 5 -	Histogramas e relatório estatístico para vazões q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	42
Figura 6 -	Campo Geométrico dos dados. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	43
Figura 7 -	Semivariograma experimental para valores de q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	44
Figura 8 -	Semivariograma experimental para valores de qmlp. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	44
Figura 9 -	Semivariograma experimental para valores de q95. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	45
Figura 10 -	Semivariograma teórico para valores de q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	46
Figura 11 -	Semivariograma teórico para valores de q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	46
Figura 12 -	Semivariograma teórico para valores de q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	47
Figura 13 -	Coeficientes de correlação obtidos através da validação cruzada para q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO...	48
Figura 14 -	Coeficientes de correlação obtidos através da validação cruzada para qmlp. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO.....	49
Figura 15 -	Coeficientes de correlação obtidos através da validação cruzada para q95. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO...	50
Figura 16 -	Rendimentos específicos Máximos (q5) para o estado de MS.....	51
Figura 17 -	Rendimentos específicos Máximos (q5) para o estado de GO.....	51
Figura 18 -	Rendimentos específicos Médios (qmlp) para o estado de MS.....	52
Figura 19 -	Rendimentos específicos Médios (qmlp) para o estado de GO.....	52
Figura 20 -	Rendimentos específicos Mínimos (q95) para o estado de MS.....	53
Figura 21 -	Rendimentos específicos Mínimos (q95) para o estado de GO.....	53
Figura 22 -	Desvios de Interpolação para rendimentos específicos máximos (q5) para o estado de GO.....	54
Figura 23 -	Desvios de Interpolação para rendimentos específicos máximos (q5) para o estado de MS.....	55
Figura 24 -	Desvios de Interpolação para rendimentos específicos médios (qmlp) para o estado de GO.....	55
Figura 25 -	Desvios de Interpolação para rendimentos específicos médios (qmlp) para o estado de MS.....	56

Figura 26 -	Desvios de Interpolação para rendimentos específicos mínimos (q95) para o estado de GO.....	56
Figura 27 -	Desvios de Interpolação para rendimentos específicos mínimos (q95) para o estado de MS.....	57

LISTA DE TABELA

Tabela 1 -	Estudo Hidrológico para o estado de Mato Grosso do Sul.....	35
Tabela 2 -	Estudo Hidrológico para o estado de Goiás.....	37
Tabela 3 -	Parâmetros do Semivariograma Teórico para rendimentos específicos máximos q_5	45
Tabela 4 -	Parâmetros do Semivariograma Teórico para rendimentos específicos médios q_{mlp}	46
Tabela 5 -	Parâmetros do Semivariograma Teórico para rendimentos específicos mínimos q_{95}	47

RESUMO

Frente à necessidade do conhecimento de parâmetros que definam a qualidade e a quantidade de água disponível em determinado corpo d'água, o grande problema para hidrólogos e demais profissionais que trabalham com recursos hídricos é quanto à obtenção de dados de vazão. Resolver este problema da ausência de dados não é uma tarefa simples, principalmente devido às grandes diferenças de comportamento entre regiões hidrológicas. As técnicas de regionalização incluem diversos tipos de metodologias, desde modelos matemáticos, estatísticos, regressões multivariadas com variáveis explicativas, até modelos geoestatísticos que consideram a proximidade espacial como referência. Não só a predição de dados para locais sem informações é necessária, mas quando falamos em agilidade e confiabilidade, a sistematização de dados em mapas de vazões é de grande valia. Através da geostatística podemos realizar não só a regionalização para locais sem dados, mas também a espacialização dos dados. Esta pesquisa se justifica na necessidade de se resolver o problema da falta de dados de vazão e criar ferramentas confiáveis e que apresentem agilidade para se estimar e visualizar espacialmente estas informações. Propomos aqui uma nova abordagem sobre o estudo da utilização da krigagem como metodologia de regionalização de vazões e ferramenta de espacialização de dados. Focaremos este trabalho em estudar o comportamento deste estimador para gerar mapas de rendimento específico, para vazões máximas, mínimas e médias, tendo como objetivo principal a elaboração de mapas que sirvam como ferramenta de apoio e suporte à decisão na gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Krigagem ordinária, mapeamento de vazões, regionalização de vazões.

ABSTRACT

Given the need to know the signatures that define the quality and quantity of water available in each water body, the great problem for hydrologists and other professionals who work with water resources is the obtaining of flow data. Solving this problem of lack of data is not a simple task, mainly due to the great differences of behavior between hydrological regions. The regionalization techniques include several types of methodology, from mathematical and statistical models, multivariate regressions with explanatory variables, to geostatistical models that consider spatial proximity as a reference. Not only is the prediction of data for locations without information necessary, but when we speak of agility and reliability, the systematization of data in flow maps is of great value. Through geostatistics we can perform not only the regionalization for locations without data, but also the spatialization of the data. This research is justified in the need to solve the problem of the lack of flow data and to create reliable and agile tools to estimate and spatially visualize this information. We propose here a new approach on the study of the use of kriging as methodology of regionalization of flows and tool of data spatialization. We will focus this work on studying the behavior of this estimator to generate specific yield maps, for maximum, minimum and average flows, with the main objective being the elaboration of rasters that serve as a tool for support and decision support in the management of water resources.

Key-words: Ordinary kriging, flow mapping, flow regionalization.

INTRODUÇÃO GERAL

A obtenção de dados de vazão se configura em um desafio para hidrólogos e demais profissionais que trabalham com recursos hídricos, tendo em vista a relevância em conhecer parâmetros que definam a qualidade e a quantidade de água disponível em determinado corpo d'água.

Resolver este problema da ausência de dados não é uma tarefa simples, principalmente devido às grandes diferenças de comportamento entre regiões hidrológicas. As técnicas de regionalização incluem diversos tipos de metodologias, desde modelos matemáticos, estatísticos, regressões multivariadas com variáveis explicativas, até modelos geoestatísticos que consideram a proximidade espacial como referência. Não só a predição de dados para locais sem informações é necessária, mas quando falamos em agilidade e confiabilidade, a sistematização de dados em mapas de vazões é de grande valia.

Através da geostatística podemos realizar não só a regionalização para locais sem dados, mas também a espacialização dos dados. Esta pesquisa se justifica na necessidade de se resolver o problema da falta de dados de vazão e criar ferramentas confiáveis e que apresentem agilidade para se estimar e visualizar espacialmente estas informações.

Focaremos este trabalho em estudar a krigagem como metodologia de regionalização de vazões e ferramenta de espacialização de dados, bem como o comportamento deste estimador para gerar mapas de rendimento específico, para vazões máximas, mínimas e médias, tendo como objetivo principal a elaboração de mapas que sirvam como ferramenta de apoio e suporte à decisão na gestão de recursos hídricos.

OBJETIVO GERAL

Propor uma nova abordagem sobre o estudo da utilização da krigagem como metodologia de regionalização de vazões e ferramenta de espacialização de dados.

ÁREA DE ESTUDO

Os dados selecionados para o estudo foram os dados de vazão das estações hidrometeorológicas que estão distribuídas pelo território estadual de duas regiões distintas do Brasil, sendo estas o estado de Mato Grosso do Sul e o estado de Goiás. Estas estações são mantidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA) do estado de Goiás.

A seguir faremos uma breve descrição de aspectos hidrográficos, climáticos e hidrogeológicos de cada uma das regiões, que pautarão nossas discussões a cerca dos resultados obtidos.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

O Estado de Mato Grosso do Sul, apresentado na figura 1, possui extensão territorial de 357.145,531 km², (IBGE, 2017). De acordo com a Resolução número 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) de 2003, (BRASIL, 2003), o Estado contém em seu território duas das doze Regiões Hidrográficas do Brasil, sendo estas a Região Hidrográfica do Paraguai, ou Bacia do Rio Paraguai, e Região Hidrográfica do Paraná, ou Bacia do Rio Paraná.

Figura 1 – Área de Estudo – Estado de Mato Grosso do Sul (MS) (MACHADO, 2020)



A Bacia do Rio Paraguai ocupa uma área de aproximadamente 187.636 km², correspondendo a 52,54% do território estadual, e está dividida em seis Unidades de Planejamento e Gerenciamento (UPG's), (MATO GROSSO DO SUL, 2010). Já a Bacia do Rio Paraná ocupa uma área de aproximadamente 169.489 km², correspondendo a 47,46% do território estadual, estando dividida em nove UPG's. As duas Bacias citadas, possuem diferenças significativas em seus escoamentos, sendo que a Bacia do Rio Paraguai possui menor escoamento devido à baixa capacidade de drenagem do Pantanal, que recebe as vazões do Planalto e retém grande parte do volume de água diminuindo as vazões que passam para jusante, caracterizando a variabilidade sazonal significativa, (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Podemos elencar também, como outros fatores que influenciam nas diferenças de escoamentos das bacias e sazonalidade de vazões disponíveis nos cursos hídricos, os aspectos climatológicos, as precipitações e evapotranspirações. Segundo Abrahão Filho (2007), o clima no Estado pode ser dividido de acordo com as 5 regiões descritas a seguir. Na

porção Norte estadual está presente o clima Equatorial, marcado pela presença das massas úmidas da Amazônia, com temperaturas bem elevadas e grandes índices pluviométricos no verão. A porção central é caracterizada pelas estações de verão com altos índices pluviométricos e o inverno muito seco e quente, marcando assim o domínio do clima tropical alternado. A porção Oeste está marcada por um clima quente e úmido e um inverno ameno, com estabilidade da umidade, altas temperaturas e poucos ventos. Por fim, as regiões sul e leste são caracterizadas pelo clima tropical, com presença marcante do inverno quente e seco.

Em termos de evapotranspiração, os valores disponíveis no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) foram obtidos através de interpolações de dados das normais climatológicas obtidas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (CEMTEC/MS), (MATO GROSSO DO SUL, 2010). A Evapotranspiração é um dos fatores que mais influencia na quantidade de água disponível nos leitos d'água, sendo mais acentuada no estado na região do Pantanal e tendo valores reduzidos nos meses de junho e julho.

A respeito da precipitação nestas bacias, temos na Bacia do Rio Paraná os índices pluviométricos mais elevados e há também maior homogeneidade dos eventos de chuva, ocorrendo uma grande redução destes, no período de junho a agosto, demarcando assim a estação seca. Já na Bacia do Rio Paraguai, a maior variação dos índices pluviométricos ocorre na UPG Taquari, e o período de seca se estende de abril a setembro, (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Quanto aos aspectos geológicos, o Estado encontra-se situado sob duas grandes planícies sedimentares, a Bacia Sedimentar do Pantanal, que ocupa 27% do território e a Bacia Sedimentar do Paraná, ocupando 65% do território. O restante do território, 8% está situado sobre um embasamento cristalino composto por rochas metamórficas e ígneas, (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

Ainda com base no Plano, os aquíferos aflorantes no Estado são oriundos de duas grandes províncias geotectônicas. A província Cráton Amazônica dá origem às rochas que constituem os aquíferos fraturados, e as Bacias Fanerozóicas dão origem às rochas que constituem os aquíferos porosos. A Região Hidrográfica do Paraguai é a que possui maior diversidade de afloramentos, uma vez que os aquíferos nesta área não estão sobrepostos. Merece destaque neste espaço o Sistema Aquífero Cenozóico, que está presente em 51% da região, aflorando em todas as UPG's. É um sistema poroso e livre, constituído de sedimentos arenosos finos, pouco compactados provenientes da Bacia do Pantanal. Na Região Hidrográfica do Paraná, é o Sistema Aquífero Bauru que se destaca, composto este por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, aflorante em todas as UPG's da região. É um dos mais importantes da região uma vez que é responsável pela manutenção dos Rios Pardo, Verde, Sucuriú, Quitéria e Santana.

Quanto ao relevo, o Estado possui quatro fisionomias distintas, sendo as menores altitudes presentes na calha do Rio Paraguai, e as maiores no Sul do município de Ladário, na região da Morraria do Urucum, (MATO GROSSO DO SUL, 2010). Na parte oriental do Estado, pode se perceber um relevo alçado, constituído em sua maior parte por planaltos, patamares e chapadões inseridos na Bacia Sedimentar do Paraná. Já a parte ocidental é marcada por uma vasta superfície rebaixada, recoberta por sedimentos quaternários, e é onde se encontram a Região do Pantanal Mato-grossense e a Depressão do Alto Paraguai. (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS

O Estado de Goiás, apresentado na figura 2, possui uma extensão territorial de 340.106,492 km², (IBGE, 2017). Em termos da divisão hidrográfica nacional o estado

apresenta em seu território porções da Bacia Hidrográfica do Paraná, Bacia Hidrográfica do Tocantins/Araguaia e Bacia Hidrográfica do São Francisco, (BRASIL, 2003). Abriga em seu território três grandes rios fundamentais para o desenvolvimento do setor elétrico sendo estes os Rios Paranaíba, Tocantins e Araguaia, (GOIÁS, 2015).

Figura 2 – Área de Estudo – Estado de Goiás (GO) (MACHADO, 2020).



Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Goiás (PERH/GO), em termos do contexto geológico o estado contém em seu território três províncias geológicas, sendo estas as Províncias do Paraná e do Tocantins, e em uma pequena área a Bacia Sanfraciscana, Quanto à geomorfologia, o estado possui em um relevo com alternância entre planaltos e depressões, apresentando um relevo plano em geral, (GOIÁS, 2015).

Ainda conforme o plano, o estado apresenta uma grande variabilidade das médias de precipitação anuais, variabilidade esta tanto espacial quanto temporal. Os valores médios anuais ficam em torno de 1.500mm, podendo oscilar entre 1.100mm e 2.300mm. Uma característica bem marcante da região é que durante os meses da estação seca há registros de

valores mensais próximos a zero, enquanto que na estação chuvosa as médias mensais podem alcançar até 400mm.

A descrição apresentada acerca dos dois estados que serviram como lócus de pesquisa propiciam embasamento para as considerações advindas da aplicação do método proposto e dos resultados obtidos, fomentando discussão sobre a viabilidade e confiabilidade do mesmo para as regiões em questão.

1.1 INTRODUÇÃO

A água sempre teve papel fundamental para a possibilidade de desenvolvimento de vida e sobrevivência das espécies no planeta. Tanto que quando se cogita a existência de formas de vida em outros planetas, as investigações começam sempre pela presença de água no local. Sua importância vai desde a manutenção de necessidades básicas de sobrevivência, como da dependência social, ambiental e econômica. Se lançarmos um olhar atento à história da origem das civilizações, poderemos perceber que foram às margens dos grandes rios que as principais civilizações se desenvolveram, e a expansão do comércio se deu a partir do início das navegações.

Cada vez mais este recurso entra em evidência no cenário mundial, principalmente nos últimos anos onde a presença de eventos críticos, sejam estes de cheias ou secas prolongadas, vêm acometendo várias regiões do planeta. Hoje, há uma nova abordagem sobre o papel da água, partindo do princípio não só preservacionista, mas também que a reconheça como um insumo propulsor de desenvolvimento econômico e promoção de qualidade de vida, tendo vasto uso como matriz energética, transporte, agronegócio, saneamento básico, entre outros.

1.1.1 O PAPEL DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Com o crescimento elevado da população, a demanda pelo uso da água cresceu levando a situações de completa degradação deste recurso natural. A degradação pode surgir tanto em termos quantitativos, onde o excesso de retiradas leva a um estado mínimo de disponibilidade para manter o ecossistema de uma determinada região, quanto em termos qualitativos, onde a qualidade da água é alterada, tornando-a inadequada para o uso.

Apesar das grandes quantidades de água disponíveis no planeta, há uma grande variabilidade espaço-temporal deste recurso, fazendo com que regiões apresentem quadros de escassez. Estima-se que aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas vivem em locais que são considerados como regiões de estresse hídrico, ou seja, a demanda de água é maior que a oferta (OKI; KANAE, 2006). O foco do problema encontra-se na alocação desses recursos, onde podemos perceber que grandes centros populacionais e produtivos se encontram em regiões com pouca quantidade de água doce disponível para uso. Essa baixa disponibilidade pode decorrer tanto em função da quantidade em si, como também da qualidade que essa apresenta.

Bakker (2012), em seu trabalho, aponta uma mudança na pesquisa sobre recursos hídricos, na qual o tema segurança hídrica ganhou atenção de muitos pesquisadores. O assunto é multidisciplinar, uma vez que é necessário olhar não só pela perspectiva ambiental, mas também em âmbito social e econômico. Por exemplo, o elevado crescimento populacional aumenta não só a demanda por água para abastecimento público, mas também a necessidade desta para produção de alimentos, geração de energia, bem como diluição de efluentes gerados pela população.

Estudos recentes chegam a propor a avaliação da segurança do suprimento de água em até oito aspectos, sendo estes hidrológicos, geográficos (disponibilidade), estudos de demandas, econômico, ambiental, social, político e legal, (JAMES; SHAFIEE-JOOD, 2017).

Portanto, a gestão de recursos hídricos se torna cada vez mais desafiadora. Além da necessidade da interdisciplinaridade na tomada de decisão, a quantidade global de água disponível para uso no planeta é sempre a mesma, em decorrência do comportamento cíclico desta, porém a demanda se torna cada vez maior. Falkenmark and Rockstrom (2006) apontam uma estimativa que para erradicar a fome da população mundial até o ano de 2030 há a necessidade de dobrar o uso consuntivo de água.

Assegurar o desenvolvimento econômico, a produção de alimentos, satisfazer as necessidades básicas de vida e garantir o acesso à água às gerações atuais e futuras, é incitador, pois temos um comportamento inverso entre a disponibilidade e a demanda de água. Cabe então aos gestores trabalhar não só com a gestão de disponibilidade, mas também com a gestão das demandas.

Ao tratar a gestão da demanda, cabe cada vez mais o incentivo às formas de produção eficientes, ou seja, que tenham alta produção e baixo consumo de água, seja este consumo de forma direta ou indireta. Quando tratamos de disponibilidade, podemos trabalhar sobre duas óticas. A primeira delas seria através de alocar os sistemas produtivos em regiões que tenham maior disponibilidade de água, como feito nas primeiras formas de desenvolvimento dos núcleos populacionais na antiguidade. Uma segunda abordagem se daria em torno de buscar novas fontes de recursos hídricos para produzir. Estas fontes podem ser águas de reuso ou de pluvial. A alternativa de reciclagem e reuso de águas cabe bem no uso industrial, temos por exemplo o Japão, que cerca de 80% da água utilizada em suas indústrias provém de reuso, (OKI; KANAE, 2006).

Analisando o panorama nacional, estamos inseridos em um país que se destaca pela elevada quantidade de cursos hídricos, sendo estes tanto superficiais quanto subterrâneos, porém ao longo do território sua distribuição se dá de forma irregular. As regiões com elevada disponibilidade de água possuem baixa densidade demográfica, e em contra partida os maiores centros urbanos além de possuírem menor quantidade de cursos hídricos, ainda estão acometidos por problemas de contaminação e degradação qualitativa destes.

Em termos de proteção e conservação de recursos hídricos, temos uma política recente, sendo que a Lei das Águas (Lei Federal nº 9433), (BRASIL, 1997) primeira referência para gestão foi instituída em 1997, reforçando premissas estabelecidas na constituição Federal de 1988. Sendo parte integrante do meio ambiente, que é um bem de uso

comum ao povo, (Brasil, 1988), a água possui dominialidade inerente, não podendo ser apropriada por ninguém, cabendo assim ao poder público realizar o gerenciamento, visando sempre garantir o bem comum da sociedade.

Os principais princípios trazidos na Política Nacional de Recursos Hídricos, (BRASIL, 1997), é a promoção do uso racional das águas, garantindo acesso a este bem tanto pelas gerações atuais quanto futuras. Cabe ao poder público, através de fiscalizações, regulações e demais instrumentos de gestão garantir os usos múltiplos, minimizando conflitos entre setores usuários e também a manutenção dos ecossistemas. Assim a gestão se dá através da utilização dos instrumentos através das prerrogativas pautadas na legislação.

1.1.2 A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Para poder realizar a gestão de recursos hídricos, é necessário tomar conhecimento de parâmetros que definam a qualidade e a quantidade de água disponível em determinado corpo d'água. Se tratando de cursos hídricos superficiais para representar a quantidade de água disponível é adotada uma vazão de referência ou vazão característica para um determinado ponto que representa o exutório da bacia hidrográfica em análise. As vazões de interesse podem ser vazões máximas na bacia, quando o interesse se dá em torno de prevenção de eventos críticos de cheias e inundações por exemplo. Há também o interesse pelas vazões médias e vazões mínimas de estiagem.

As vazões mínimas acabam ganhando maior destaque quando falamos sobre gestão de disponibilidade, uma vez que nos períodos de estiagem surgem os maiores conflitos pelo uso da água, visto que a disponibilidade diminui muito dependendo do regime de fluxo em uma determinada região. Estes dados de vazões são obtidos através de monitoramento e

tratamento de dados obtidos. O monitoramento se dá através de estações fluviométricas ou medições in loco, podendo obter séries de dados diárias, semanais ou mensais.

Através destes dados, são aplicados modelos estatísticos, como por exemplo a criação da curva de permanência, e assim pode-se transformar os dados em índices que representam determinada região. Quando analisamos espacialmente e temporalmente os dados de vazão podemos perceber uma alta variabilidade destes. Esta variabilidade se dá por vários fatores, merecendo destaque a topografia e geologia local, condições climáticas, uso e ocupação do solo e algumas ações antrópicas, (SOUZA; SANTOS, 2013).

O grande problema para hidrólogos e demais profissionais que trabalham com recursos hídricos é quanto a obtenção de dados de vazão. As estações fluviométricas possuem um alto custo de instalação, e estão inseridas principalmente em grandes bacias hidrográficas. No Brasil, por exemplo, a rede hidrológica foi instalada primeiramente nas grandes bacias, principalmente aquelas voltadas aos aproveitamentos hidro energéticos, (SILVA JUNIOR *et al.*, 2003), e devido à grande extensão territorial do País e alto custo de estações fluviométricas, ainda encontramos uma rede fluviométrica carente de pontos de informação.

Além disso, quase sempre existem falhas temporais ao longo das medições, além de vários locais com pouca ou nenhuma informação disponível. Para suprir essa deficiência de dados é necessária a utilização da regionalização de dados, processo este que consiste na transferência de informações de um local com dados para outro, desde que estes locais sejam semelhantes hidrologicamente, (TUCCI; CLARKE, 2003).

1.1.3 O PROBLEMA DAS BACIAS SEM DADOS E AS TÉCNICAS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

Resolver o problema da ausência de dados não é uma tarefa simples, principalmente devido às grandes diferenças de comportamento entre regiões hidrológicas. A

International Association of Hydrological Sciences (IAHS) dedicou uma década de pesquisas (2003-2012) à iniciativa *Predictions in Ungauged Basins* (PUB) que buscava solucionar o problema da falta de dados em bacias hidrográficas e minimizar a incerteza associada às predições, (BLÖSCHL, 2016).

Os hidrólogos, ao trabalhar com modelos hidrológicos, estão restritos a testar modelos associados à incertezas ou erro significativo, e pode-se afirmar que nenhum modelo está correto em sentido absoluto, portanto, não se torna razoável procurar por um único modelo verdadeiro, mas sim aquele que se torna útil para uma determinada região, (NEARING; GUPTA, 2015).

Segundo Blöschl (2016), o método exato para estimar o escoamento em qualquer caso depende de muitos fatores, incluindo a disponibilidade de dados, natureza da bacia de captação e a natureza do problema. Ainda conforme o autor, modelos abrangentes e complexos são difíceis de serem usados de forma realista, pois é muito complexo entender o comportamento geral de um sistema e as diferentes combinações de parâmetros em fenômenos de larga escala. Inclusive, Gupta e Nearing (2014) em seus estudos observaram que há uma tendência que modelos baseados em observações de informações parecidas em geral expressam melhores resultados que modelos paramétricos. Fato este pode se justificar uma vez que uma maior quantidade de parâmetros, que também possuem incertezas associadas, acaba aumentando a incerteza do modelo em si.

Quando pesquisamos metodologias de regionalização que vêm sendo usadas pela comunidade científica encontramos trabalhos que se debruçaram em torno de três temas principais, como técnicas para delimitação de regiões homogêneas hidrológicamente, aplicação de modelos matemáticos e regionalização de curvas de permanência, e discussões em torno das incertezas associadas a cada modelo.

As técnicas de definição de regiões homogêneas se baseiam em utilizar atributos físicos das bacias hidrográficas para agrupá-las em regiões. Esta parte acaba sendo a etapa mais complicada do trabalho no processo de regionalização. Beskow *et al.*, (2016) utilizaram inteligência artificial (lógica difusa e algoritmos genéticos) para delimitação de regiões homogêneas no sul do Brasil, e posteriormente aplicação de modelos matemáticos para regionalização de Q_{90} . Hsu & Huang, (2017), utilizaram como metodologia a análise de componentes principais e análises de clusters. Neste estudo chegaram a conclusão que existe uma estrita ligação entre a hidrologia e condições geográficas do local. Entretanto, não se pode generalizar, pois nem sempre critérios geográficos serão representativos, (CASALHO, *et al.*, 2017).

Para essa delimitação de regiões homogêneas é necessário possuir dados de variáveis físicas que caracterizem a bacia hidrográfica, como por exemplo área de drenagem, comprimento do talvegue, elevação, uso e ocupação do solo. E assim como dados de vazão, em muitas regiões temos a ausência de informações para poder aplicar a metodologia. Essas variáveis fisiográficas também são utilizadas nos casos de regressão multivariada, técnica bastante utilizada para a predição de vazões em si. A incerteza nos dados de entrada afeta a confiabilidade da predição em si, e não só a incerteza do modelo matemático utilizado. (WESTERBEG *et al.*, 2016).

Dado a dificuldade da obtenção de dados, alguns pesquisadores passaram a investigar a influência que locais vizinhos exercem em um ponto onde se deseja descobrir a vazão. Swain e Patra (2017) em seus estudos no Sul da Índia, analisaram dados de vazão e características físicas em 32 bacias hidrográficas e chegaram à conclusão que a proximidade espacial tem maior influência na predição de dados do que demais atributos físicos. A utilização da krigagem e do inverso da distância demonstraram desempenho superior do que modelos de regressão.

Qamar *et al.*, (2016) estudaram 124 bacias no noroeste da Itália, utilizando um método paramétrico baseado nas distâncias dos vizinhos mais próximos. Antes de aplicar a regressão, foi criada a matriz de dissimilaridade entre os dados, e como resultados observou-se que os cinco vizinhos mais próximos eram os que exerciam maior influência no processo de regionalização.

Chouaib *et al.*, (2018), tiveram como objeto de estudo a transferência de parâmetros considerando ou não a homogeneidade hidrológica em bacias no leste dos Estados Unidos e concluíram que a proximidade espacial leva a uma similaridade devido aos efeitos de primeira ordem do clima e da topografia local. Para os autores, regiões homogêneas combinam aspectos de proximidade espacial e similaridade física, ou seja, condições climáticas e topográficas estão associadas à latitude e longitude do local.

As técnicas de regionalização incluem diversos tipos de metodologia. Podem ser utilizados modelos matemáticos e estatísticos, regressões multivariadas com variáveis que retratem características locais como geologia, clima, uso e ocupação do solo, e também modelos geoestatísticos que consideram a proximidade espacial como referência. Quando se trabalha com vazões médias, a maioria dos modelos são bem representativos, entretanto, quando passamos a trabalhar com vazões extremas, sejam estas máximas ou mínimas, acabam ocorrendo superestimações, (FIOREZE *et al.*, 2008).

1.1.4 A KRIGAGEM COMO INSTRUMENTO DE PREDIÇÕES DE VAZÕES

Não só a predição de dados para locais sem informações é necessária, mas quando falamos em agilidade e confiabilidade, a sistematização de dados em mapas de vazões é de grande valia. Assim, a utilização da geostatística permite não só a predição para locais

sem dados, servindo como ferramenta de regionalização, mas também a espacialização dos dados.

Dentre os interpoladores geoestatísticos a krigagem é o processo que tem maior aplicação. Inicialmente muito utilizado para mapeamento de solos e trabalhos de mineralogia, atualmente ganhou espaço na estimativa de parâmetros para chuvas intensas (MELLO *et al.*, 2013), níveis de lençóis freáticos (KROLL; VOGEL, 1992; KUMAR, 2007), e estimativas de vazões bem como séries históricas completas (CASTIGLIONI *et al.*, 2011; ARCHFIELD *et al.*, 2013; Laaha *et al.*, 2014; Pugliese, *et al.*, 2014; FARMER, 2016).

A grande vantagem de se trabalhar com a krigagem é a eliminação da necessidade de delimitação de áreas homogêneas hidrologicamente, processo este que além de tomar tempo devido à necessidade de simulações, depende de variáveis explicativas que na maioria dos casos não possuem dados disponíveis. Esta não necessidade decorre da premissa de que para utilizar a krigagem a variável estimada é considerada como regionalizada, ou seja, seus valores dependem da localização geográfica (ANDRIOTTI, 2010).

Dentre os vários tipos de krigagem existentes os mais utilizados nestas predições são a Top-Krigagem e a Krigagem ordinária. A Top-Krigagem considera também nos procedimentos de análise as correlações espaciais dos fluxos de forma explícita e leva em consideração o caminho natural dos leitos (comprimentos e densidade da rede de drenagem), sendo sempre obtidos resultados com erros relativos menores que demais metodologias de regionalização, como por exemplo regressões lineares e modelos chuva-vazão, (CASTIGLIONI *et al.*, 2011; ARCHFIELD *et al.*, 2013; Laaha *et al.*, 2014; Pugliese, *et al.*, 2014).

Outros estudos demonstram que a utilização da krigagem ordinária para predição produz resultados tão satisfatórios quanto a Top-Krigagem, com a vantagem de ser um processo de simulação mais simples e que demanda menor tempo de computação.

(SAUQUET, 2006; SKOIEN; BLÖSH, 2007; FARMER, 2016). Entretanto, a utilização da krigagem deve ser feita com cautela, visto que o modelo pode apresentar limitações em decorrência da heterogeneidade espacial, pouca quantidade de dados disponíveis e qualidade dos dados obtidos. Locais com poucos dados tendem a uma baixa eficiência do modelo, além da limitação imposta pela hipótese de que a similaridade hidrológica é controlada apenas pela proximidade dos locais com dados. (SKOIEN; BLÖSH, 2007).

Podemos observar que apesar da grande utilização de krigagem para predição de curvas de permanência completas os autores relatam a dificuldade em estimar os extremos das curvas. Farmer e Koltun (2017) compararam o uso da krigagem ordinária e top-krigagem para estimativa de não superação de fluxo, e relataram a presença de viés nos extremos das curvas estimadas.

Pugliese *et al.*, 2016 também relataram a presença de resultados pouco eficientes do uso da top-krigagem, ocorrendo superestimação dos baixos fluxos ao realizar a predição de curva de permanência inteira. Além disso, ao utilizar a top-krigagem para prever curvas adimensionais, encontraram resultados não satisfatórios para regiões de periferia na área de estudo, principalmente em bacias com áreas de drenagem extremas, muito pequenas ou grandes. Segundo os autores, a área de drenagem, a posição das bacias hidrográficas e as diferenças climáticas influenciam no modelo.

Como citado acima, além de estimar valores para locais sem dados, a aplicação da krigagem permite a confecção de mapas da variável estudada. A partir do mapeamento é possível obter uma visualização no espaço do fenômeno, além de fornecer de maneira rápida uma estimativa da variável hidrológica de interesse. Liu *et al.*, (2018) realizaram uma pesquisa onde compararam medições *in loco* com valores obtidos através de um mapa de correlação obtido a partir da krigagem, ressaltando que mapas de vazão são um importante instrumento de apoio à gestão de recursos hídricos.

Castellarin *et al.*, (2018) também geraram *shapes* contendo dados de curvas de permanência, a partir de 500 estações na região do Rio Danúbio utilizando uma variação da top-krigagem, método este que apresenta alta precisão para representar curvas de permanência. A top-krigagem utiliza em sua metodologia dados que representam a topologia da rede de fluxo, e por isso, gera um elevado trabalho computacional.

Quanto maior a concentração da rede de monitoramento de dados, menor a variação da krigagem. Entretanto, nas regiões de cabeceira, mesmo com uma alta concentração de rede a krigagem topológica não foi eficaz, (CASTELLARIN *et al.*, 2018). Segundo os autores, dados de baixa qualidade prejudicam o modelo e acabam superestimando as estimativas de vazões mínimas. Para solucionar o problema foram excluídas as medições de baixa qualidade uma vez que os bons resultados foram obtidos independentemente da reamostragem com consequente diminuição de dados de entrada.

Diante do exposto, esta pesquisa se justifica na necessidade de se resolver o problema da falta de dados de vazão e criar ferramentas confiáveis e que apresentem agilidade para se estimar e visualizar espacialmente estas informações. Propomos aqui uma nova abordagem sobre o estudo da utilização da krigagem como metodologia de regionalização de vazões e ferramenta de espacialização de dados.

Assim, estabelecemos como foco deste trabalho estudar o comportamento deste estimador para gerar mapas de rendimento específico, para vazões máximas, mínimas e médias, tendo como objetivo principal ao final do trabalho a elaboração de mapas que sirvam como ferramenta de apoio e suporte à decisão na gestão de recursos hídricos.

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo está estruturada em duas frentes de pesquisa. A primeira parte foi fundamentada em um levantamento bibliográfico sobre o tema, baseado em livros e artigos no campo sobre recursos hídricos, problema de bacias sem dados de referência, regionalização hidrológica e krigagem. A segunda parte da pesquisa contou com trabalho estatístico e computacional que contemplou o processamento dos dados por meio de softwares específicos para interpolação geostatística de dados. Ressaltamos aqui, que os resultados obtidos ao final do trabalho foram disponibilizados ao Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul e à Superintendência de Recursos Hídricos do Estado de Goiás, pois integrarão o sistema online de emissão de outorgas.

1.2.1 CÁLCULO DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA

Neste trabalho foram estudadas vazões máximas, médias e mínimas, para entender e avaliar como a krigagem ordinária se aplica na espacialização de cada uma destas vazões. Para o cálculo destas vazões, foram utilizados dados das estações fluviométricas distribuídas ao longo do território dos dois estados citados acima. Estas estações compõem a Rede Nacional de Monitoramento Hidrológico, mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA), em parceria com outras instituições, e os dados das séries históricas das estações estão disponíveis no portal *hidroweb*.

Um levantamento inicial apontou a existência de 383 estações com dados disponíveis no estado de Mato Grosso do Sul, e 501 estações no estado de Goiás. Foi realizado um levantamento das áreas de drenagem das estações, período de dados disponíveis para selecionar quais estações seriam efetivamente utilizadas na pesquisa. Foram aproveitadas

estações com mais de cinco anos de dados consistidos, recomendação mínima de período de dados para se poder realizar um estudo hidrológico na região, (TUCCI, 2002).

Para todas as estações calculamos as curvas de permanência para obtenção das vazões $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ e $Q_{95\%}$. Temos interesse em estudar essas vazões que representam os pontos extremos da curva e o ponto central. Além disto essas vazões são amplamente utilizadas como vazões de referência para caracterizar a quantidade de água superficial disponível em mananciais, para pautar emissões de outorga, enquadramento de corpos d'água, emissão de licenças ambientais, entre outros. Ainda, foi calculada para cada uma das estações a vazão média de longo período, (Q_{mlp}) através da média dos dados diários de vazões.

Para a construção das curvas de permanência utilizamos os dados diários de vazões e a totalidade de anos observados. Os anos com falhas ou sem valores observados foram descartados para não haver a necessidade de realizar o preenchimento de falhas. A opção pelo não preenchimento de falhas se dá em conformidade com as recomendações de Tucci (2002), uma vez que o preenchimento através de técnicas de regressão podem introduzir incertezas tendenciosas, causando assim um enviezamento do resultado.

Os valores diários de vazões foram então organizados em ordem crescente e para cada valor será calculada a frequência relativa através da eq. (1) (TUCCI, 2002), onde i é o valor da posição que o dado ocupa e n a totalidade de medições da série histórica.

$$F = \left(\frac{i}{n+1} \right) * 100 \quad (1)$$

A permanência é definida como a diferença entre o percentil e a frequência, eq. (2).

$$P = 100 - F \quad (2)$$

Com os valores obtidos através das relações acima, construímos o gráfico representativo da curva de permanência e podemos identificar os valores desejados. Para a aplicação da interpolação geoestatística, os valores de vazões obtidos foram transformados em rendimentos específicos ($q\%$), através da divisão do valor da vazão pela área de drenagem do referido posto fluviométrico, eq. (3).

$$q\% = \frac{Q\%}{A} \quad (3)$$

Esta conversão garante o trabalho com valores mais homogêneos, que caracterizam toda a região da sub-bacia hidrográfica que o posto se encontra, e assim, atenua as diferenças exorbitantes de valores de vazões em função das amplas diferenças entre as áreas de drenagens dos postos utilizados. Sem a conversão, a variação amostral seria maior, acarretando maiores imprecisões no decorrer dos cálculos de interpolação.

1.2.2 INTERPOLAÇÃO GEOESTATÍSTICA

Partindo da premissa de que vazões se enquadram em variáveis regionalizadas, estudamos aqui o uso da krigagem ordinária para mapeamento e estimativa de valores de vazões em locais sem dados. O que difere variáveis regionalizadas de variáveis aleatórias é que as primeiras possuem mais características que as distinguem do segundo grupo, sendo estas características a localização geográfica, o suporte, a continuidade e a presença ou não de anisotropia.

A localização das vazões foi expressa pelas coordenadas geográficas das estações fluviométricas referentes, e como estamos trabalhando com um dado pontual, o suporte é o mesmo. Uma vez que os cursos d'água e bacias hidrográficas possuem continuidade espacial, e os dados de vazão representam um fenômeno característico de uma

determinada bacia hidrográfica, admitimos aqui que o fenômeno estudado possui continuidade espacial, sendo assim, os dados variam de forma contínua e apresentam uma estrutura ou correlação espacial. Quanto maior a distância entre pontos amostrais, menor será a influência entre eles, até se encontrar uma determinada distância onde a influência cessa, (LANDIM, 2006).

Assim, para estimar o valor em um local não amostrado, são atribuídos para cada vizinho do ponto em interesse pesos de influência no resultado que será estimado, sendo que este peso depende da distância entre o vizinho e o ponto de interesse. Para saber a quantidade de vizinhos que serão utilizados na estimativa, é necessário estudar a função semivariograma, também conhecida como hipótese intrínseca ou função intrínseca.

A variância expressa a dissimilaridade entre o espaço amostral, e como se compara a amostra e o vizinho ao invés de se comparar com a média, não ocorre a minimização da variância amostral. Através do semivariograma pode-se observar o grau de dependência espacial entre os dados amostrados, sendo utilizadas para sua construção as diferenças ao quadrado entre um par de vizinhos, conforme a eq. (4) (LANDIM, 2006). Ou seja, o semivariograma é uma medida de variabilidade condicionada pela distância, e esta variabilidade pode ser diferente quando trabalhamos em direções de busca distintas. A este fenômeno de comportamento diferente de variação dos dados em função da direção de busca damos o nome de anisotropia.

$$2\gamma_n = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{xi} - Z_{xi+h})^2}{n} \quad (4)$$

A presença de anisotropia nos dados foi estudada no decorrer da modelagem do semivariograma experimental. Este semivariograma experimental nos ajudou a escolher qual o melhor modelo matemático que se ajusta àquela configuração de dados, para expressar a função semivariograma. Quando utilizamos a krigagem como estimador, estamos escolhendo

um modelo que possui em sua capacidade o reconhecimento desta anisotropia e utilização da mesma nos cálculos de estimativa.

Para modelagem do semivariograma experimental, primeiramente buscamos o par de direções onde se encontra a maior anisotropia dos dados, para a partir desta direção modelar os parâmetros que caracterizam o semivariograma, sendo estes o efeito pepita, a amplitude e o patamar. O efeito pepita é um conceito teórico do valor da variância espacial quando a distância entre os vizinhos tende a zero. A amplitude é caracterizada pela distância máxima onde as amostras possuem dependência espacial entre si, e o patamar é o valor onde a variância espacial se estabiliza.

Uma vez modelado o semivariograma experimental e definido o semivariograma teórico, podemos aplicar o estimador da krigagem, definido pela eq. (5):

$$Z_{xo}^* = \sum_{i=1}^n \delta_i Z_{xi} \quad (5)$$

onde,

Z^* = valor estimado,

δ_i = ponderador (variância)

Z = valor amostrado

Para este trabalho usamos a krigagem ordinária por esta metodologia trabalhar com médias móveis, e assim minimizar a média dos erros, ao contrário da krigagem simples, que em seu procedimento de cálculo soma a média populacional ao estimador, (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

1.2.3 PROCESSO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

O processo de modelagem experimental do semivariograma e cálculo foi realizado através do software Geovisual, que foi desenvolvido para dar suporte ao núcleo de geostatística da Universidade de São Paulo (USP).

Para a realização da modelagem, os dados de rendimentos específicos foram separados seguindo como delineamento da área de estudo o espaço geográfico de cada estado, para a elaboração de mapas e confecção de mapas de rendimentos específicos mínimos, médios e máximos.

Após o estudo básico de estatística dos dados, foi realizada a modelagem do semivariograma experimental, etapa esta de extrema importância para o trabalho, pois o modelo escolhido é fruto do semivariograma experimental, que por sua vez resulta dos dados amostrados. Como dissemos acima, a partir do estudo do semivariograma experimental, obtivemos os parâmetros para definição do semivariograma teórico e aplicação assim do ponderador.

Foram construídos inicialmente semivariogramas para as quatro direções de busca principais de 0° , 45° , 90° e 135° , utilizando como tolerância angular $22,5^\circ$, para encontrar o par de direções ortogonais que possui maior anisotropia. A diferença entre os valores das amplitudes e dos patamares em decorrência das diferentes direções analisadas é que caracteriza os tipos de anisotropia.

A anisotropia geométrica é caracterizada pela presença de um mesmo patamar para as direções, porém amplitudes diferentes. A anisotropia zonal é caracterizada por patamares diferentes e mesma amplitude, que geralmente ocorre em decorrência de populações amostrais diferentes. E por fim, a anisotropia mista é aquela em que as direções possuem patamares e amplitudes diferentes. (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

A correção da anisotropia geométrica se dá de forma mais simplificada, apenas girando o sistema de eixos da elipse de busca, para a região em que o fenômeno possui maior continuidade, ou seja, direção de maior amplitude. Já a correção das anisotropias zonal e mista se dá de maneira mais robusta, através do somatório de estruturas de correção, trabalhando assim com uma estrutura resultante. O comportamento do semivariograma próximo a origem

é que define qual modelo de ajuste que deve ser utilizado para a modelagem. Os mais utilizados são o esférico, o gaussiano e o exponencial. O modelo gaussiano é indicado para um comportamento parabólico na origem, ou seja, a variância é pequena para poucas distâncias. O modelo esférico é indicado para comportamento linear na origem, e o modelo exponencial para fenômenos menos contínuos.

Uma vez estudado o semivariograma experimental definimos o semivariograma teórico que foi efetivamente utilizado no processo da krigagem. Antes da aplicação da krigagem, foi realizada a validação cruzada, cujo objetivo principal é aferir a qualidade do modelo escolhido, definindo assim os parâmetros de vizinhança que foram utilizados, para garantir a representatividade espacial. É considerada uma pré-krigagem, na qual um a um os dados de amostra são retirados e estimados pelo modelo escolhido, e assim faz-se a aferição da fidelidade do modelo ao resultado original.

Os resultados obtidos foram então manipulados no software *Quantumgis*, para melhor visualização e convertidos então em *shapefiles*. Além dos mapas de valores estimados, foi possível obter o mapa das incertezas associadas, sendo estas o desvio padrão de krigagem o desvio padrão de interpolação. Estes valores são úteis para estimar a confiabilidade do valor estimado e a incerteza associada a este valor, servindo como balizador para a tomada de decisão de utilização dos dados obtidos com esta metodologia de estimativa.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.3.1 ANÁLISE DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA

Após análise e consistência dos dados obtidos no portal hidroweb, foram escolhidas 85 estações para representar a hidrologia do estado de Mato Grosso do Sul e 99 estações para o estado de Goiás. Os resultados do estudo hidrológico envolvendo cálculo das vazões de referência para cada estado estão apresentados nas tabelas 1 e 2 abaixo.

Tabela 1 - Estudo Hidrológico para o estado de Mato Grosso do Sul

ESTUDO HIDROLÓGICO MATO GROSSO DO SUL									
ID ESTAÇÕES	AD (km²)	COORDENADAS		VAZÕES (m³/s)			RENDIMENTOS ESPECÍFICOS (l/s.km²)		
		Long	Lat	Q ₉₅	Q _{mlp}	Q ₅	q ₉₅	q _{mlp}	q ₅
60960000	315	-52,594444	-18,689444	5,63	7,45	9,92	17,86	23,64	31,50
60965000	4040	-51,913060	-18,985830	54,00	82,71	134,79	13,37	20,47	33,36
60968000	4700	-51,720833	-19,107500	63,49	95,59	154,07	13,51	20,34	32,78
60970000	5220	-51,533611	-19,139722	64,22	102,10	170,00	12,30	19,56	32,57
62010000	1390	-51,493611	-19,894722	9,84	21,88	49,60	7,08	15,74	35,68
63001000	1250	-53,132500	-18,549722	13,50	27,26	55,50	10,80	21,81	44,40
63001200	3770	-53,018889	-19,056667	47,72	75,84	133,99	12,66	20,12	35,54
63001500	7210	-52,565556	-19,444167	100,00	140,50	215,00	13,87	19,49	29,82
63001600	600	-52,585278	-20,093611	13,89	19,33	31,22	23,15	32,22	52,04
63001750	1080	-52,163889	-19,554444	6,14	14,23	34,11	5,68	13,18	31,58
63002000	17900	-52,219444	-19,965000	228,00	331,38	523,80	12,74	18,51	29,26
63003100	19000	-52,159722	-20,093611	225,25	349,47	572,25	11,86	18,39	30,12
63010000	477000	-51,633056	-20,866667	2759,98	6374,38	13115,53	5,79	13,36	27,50
63250000	2940	-53,571111	-19,377500	27,79	40,64	59,99	9,45	13,82	20,40
63280000	10000	-53,177778	-20,067778	86,77	119,86	178,00	8,68	11,99	17,80
63350100	14500	-52,901667	-20,445000	126,95	189,98	295,61	8,76	13,10	20,39
63390000	20100	-52,355278	-20,088861	146,50	224,10	328,40	7,29	11,15	16,34
63900001	8150	-53,718056	-20,441389	74,64	119,76	191,43	9,16	14,69	23,49
63930000	13200	-53,283056	-20,975278	122,06	179,78	265,88	9,25	13,62	20,14
63950010	2530	-54,507222	-20,994167	17,16	33,47	66,36	6,78	13,23	26,23
63950100	3830	-54,203889	-21,304444	26,93	51,66	98,87	7,03	13,49	25,81
63950150	501	-54,312778	-21,427778	3,76	6,71	13,63	7,50	13,40	27,20
63950250	1460	-53,955000	-21,207500	14,94	23,68	39,38	10,23	16,22	26,97
63950300	2590	-53,618333	-21,411389	21,81	33,53	51,59	8,42	12,95	19,92
63955000	13600	-53,053333	-21,609722	106,18	170,83	271,79	7,81	12,56	19,98

63970000	31000	-52,867500	-21,663333	251,20	395,02	627,35	8,10	12,74	20,24
64575000	676000	-53,172780	-22,713060	4514,79	8710,66	15997,20	6,68	12,89	23,66

ESTUDO HIDROLÓGICO MATO GROSSO DO SUL – CONTINUAÇÃO

ID ESTAÇÕES	AD (km²)	COORDENADAS		VAZÕES (m³/s)			RENDIMENTOS ESPECÍFICOS (l/s.km²)		
		Long	Lat	Q ₉₅	Q _{mlp}	Q ₅	q ₉₅	q _{mlp}	q ₅
64601000	3870	-54,986944	-21,632500	17,64	44,99	100,26	4,56	11,62	25,91
64605000	8910	-54,534167	-21,911111	46,50	108,38	217,00	5,22	12,16	24,35
64610000	9030	-54,228610	-22,068890	60,86	135,44	272,35	6,74	15,00	30,16
64613000	4470	-54,421944	-21,641389	17,96	49,04	115,79	4,02	10,97	25,90
64613800	6500	-53,960833	-21,846667	30,65	65,77	119,17	4,72	10,12	18,33
64614000	28400	-53,767500	-21,956389	150,10	355,05	717,26	5,29	12,50	25,26
64617000	31900	-53,528611	-22,382500	172,12	377,32	744,04	5,40	11,83	23,32
64618000	1190	-54,025000	-22,545556	12,15	18,09	28,22	10,21	15,20	23,71
64700000	1830	-55,216667	-22,933056	18,21	34,94	68,90	9,95	19,09	37,65
64702000	3520	-55,041667	-22,919444	31,42	64,11	129,69	8,93	18,21	36,84
64703000	3770	-54,983056	-22,933056	34,80	61,14	104,00	9,23	16,22	27,59
64715001	7200	-54,563333	-22,971944	62,64	123,40	222,32	8,70	17,14	30,88
64717000	8970	-54,195000	-23,132222	83,33	148,26	254,92	9,29	16,53	28,42
64720000	833	-54,401389	-23,428889	10,58	15,78	25,24	12,70	18,95	30,30
64723000	1060	-55,389444	-23,648060	13,89	23,59	43,39	13,10	22,25	40,94
64725000	7190	-54,539444	-23,733056	72,00	132,85	256,00	10,01	18,48	35,61
64843000	804000	-54,248890	-24,071110	4470,95	10071,37	18429,31	5,56	12,53	22,92
66475000	927	-54,595833	-17,938056	1,54	3,74	8,86	1,66	4,04	9,56
66480000	2840	-55,003611	-17,889167	8,62	32,16	80,90	3,04	11,32	28,49
66490000	3970	-54,832500	-17,610833	44,83	81,98	118,61	11,29	20,65	29,88
66600000	23300	-56,008610	-17,201670	106,20	251,37	505,41	4,56	10,79	21,69
66650000	30000	-56,397220	-17,291670	101,31	301,76	717,61	3,38	10,06	23,92
66710000	95200	-56,774720	-17,365560	423,00	777,47	1264,24	4,44	8,17	13,28
66750000	103000	-56,965000	-17,623333	352,09	698,00	1044,64	3,42	6,78	10,14
66800000	234000	-57,488611	-18,038611	676,59	1227,75	1886,48	2,89	5,25	8,06
66810000	243000	-57,391111	-18,393889	733,92	1641,16	3035,95	3,02	6,75	12,49
66840000	9710	-54,466667	-18,100000	70,34	165,94	347,98	7,24	17,09	35,84
66845000	9740	-54,470278	-18,167500	107,34	174,81	288,53	11,02	17,95	29,62
66849000	7380	-54,578611	-18,730278	37,20	74,68	154,49	5,04	10,12	20,93
66850000	6320	-54,352972	-18,724444	28,06	70,64	135,12	4,44	11,18	21,38
66855000	6330	-54,566944	-18,712500	47,12	79,31	147,26	7,44	12,53	23,26
66860000	448	-54,479444	-19,410278	6,34	8,33	12,50	14,15	18,60	27,90
66865000	498	-54,809444	-18,900278	2,88	7,07	15,95	5,78	14,19	32,02
66870000	27600	-54,761944	-18,507778	156,58	363,01	678,35	5,67	13,15	24,58
66880000	29000	-55,850000	-18,350000	128,91	276,40	533,00	4,45	9,53	18,38
66885000	31200	-56,833333	-18,600000	128,08	253,78	358,68	4,11	8,13	11,50
66886000	2840	-55,174167	-19,318333	10,60	28,86	57,62	3,73	10,16	20,29
66888200	409	-55,008056	-19,250833	2,69	5,56	11,40	6,58	13,58	27,87
66890000	18200	-56,200000	-19,056667	2,51	64,06	194,61	0,14	3,52	10,69
66895000	327000	-57,235278	-19,258333	916,18	1753,01	2620,80	2,80	5,36	8,01

ESTUDO HIDROLÓGICO MATO GROSSO DO SUL – CONTINUAÇÃO									
ID ESTAÇÕES	AD (km²)	COORDENADAS		VAZÕES (m³/s)			RENDIMENTOS ESPECÍFICOS (l/s.km²)		
		Long	Lat	Q ₉₅	Q _{mlp}	Q ₅	q ₉₅	q _{mlp}	q ₅
66900000	11600	-56,091111	-20,761944	22,92	93,92	321,43	1,98	8,10	27,71
66910000	15200	-56,396111	-20,240833	19,11	102,12	95,15	1,26	6,72	6,26
66920000	19200	-56,783333	-19,933333	24,66	77,22	128,02	1,28	4,02	6,67
66926000	6330	-55,090000	-20,155556	34,08	76,54	186,38	5,38	12,09	29,44
66941000	10900	-55,428056	-20,448056	25,38	93,87	227,50	2,33	8,61	20,87
66945000	15700	-55,801389	-20,478056	36,49	124,67	335,62	2,32	7,94	21,38
66950000	17000	-56,281111	-19,697222	39,26	102,82	156,18	2,31	6,05	9,19
66960008	371000	-57,437222	-19,600556	915,89	2095,20	3922,59	2,47	5,65	10,57
67006000	516000	-58,166667	-20,229444	1134,00	2240,42	3328,00	2,20	4,34	6,45
67025000	940	-57,185278	-21,201667	0,26	10,32	49,40	0,28	10,97	52,55
67030000	546000	-57,844167	-21,098611	898,23	2121,39	3706,05	1,65	3,89	6,79
67050000	565000	-57,930556	-21,436111	731,00	2189,06	4406,00	1,29	3,87	7,80
67100000	576000	-57,891111	-21,700278	937,96	2408,45	4406,53	1,63	4,18	7,65
67170000	10200	-57,303889	-22,223611	11,37	84,05	342,33	1,11	8,24	33,56
67175000	2620	-57,254722	-21,941111	0,69	24,71	98,30	0,26	9,43	37,52
67176000	2890	-57,377222	-21,969722	0,71	29,38	120,31	0,25	10,17	41,63

Tabela 2 - Estudo Hidrológico para o estado de Goiás

ESTUDO HIDROLÓGICO GOIÁS									
ID ESTAÇÕES	AD (km²)	COORDENADAS		VAZÕES (m³/s)			RENDIMENTOS ESPECÍFICOS (l/s.km²)		
		Long	Lat	Q ₉₅	Q _{mlp}	Q ₅	q ₉₅	q _{mlp}	q ₅
20050000	11200	-48,673900	-14,977500	41,66	143,02	360,63	3,72	12,77	32,20
20100000	1970	-49,327778	-15,718611	6,91	33,01	90,25	3,51	16,76	45,81
20200000	3700	-49,690833	-15,496111	10,10	60,01	173,82	2,73	16,22	46,98
20250000	10600	-49,551944	-15,275278	35,69	169,17	452,95	3,37	15,96	42,73
20490000	18400	-49,063900	-14,739700	81,02	330,93	875,49	4,40	17,99	47,58
20500000	34600	-49,041700	-14,518600	141,78	562,01	1470,39	4,10	16,24	42,50
20700000	2910	-48,203300	-14,369200	10,20	54,54	179,99	3,50	18,74	61,85
20900000	4680	-48,090740	-14,184038	18,94	84,52	241,55	4,05	18,06	51,61
20950000	878	-47,929338	-13,988537	1,65	16,87	64,47	1,87	19,22	73,42
21050020	57400	-48,137939	-13,532934	99,27	776,44	1998,93	1,73	13,53	34,82
21220000	7210	-47,047222	-14,450833	5,42	59,45	226,98	0,75	8,25	31,48
21300000	3760	-46,490556	-14,476944	25,40	51,58	109,98	6,76	13,72	29,25
21500000	22600	-46,837500	-13,762500	51,26	188,99	616,08	2,27	8,36	27,26
21510000	1020	-46,649828	-13,816506	6,66	14,67	38,46	6,53	14,38	37,71
21560000	2840	-46,780278	-13,498611	21,72	41,85	106,08	7,65	14,74	37,35
21580000	409	-46,469444	-13,551389	6,45	10,34	19,26	15,76	25,27	47,08

21600000	29600	-47,138333	-13,425000	87,76	310,95	1029,33	2,96	10,50	34,77
ESTUDO HIDROLÓGICO GOIÁS – CONTINUAÇÃO									
ID ESTAÇÕES	AD (km²)	COORDENADAS		VAZÕES (m³/s)			RENDIMENTOS ESPECÍFICOS (l/s.km²)		
		Long	Lat	Q ₉₅	Q _{mlp}	Q ₅	q ₉₅	q _{mlp}	q ₅
24050000	2080	-53,217222	-17,301111	29,72	50,74	80,40	14,29	24,39	38,65
24100000	4460	-53,138600	-17,160887	44,25	89,25	174,79	9,92	20,01	39,19
24196000	1770	-52,332222	-16,718611	2,63	26,74	102,52	1,48	15,11	57,92
24200000	18400	-52,549722	-16,200556	90,71	344,25	1017,43	4,93	18,71	55,30
24700000	36800	-52,227778	-15,891389	182,41	648,12	1880,01	4,96	17,61	51,09
24750000	6430	-51,469167	-16,302500	18,38	111,73	379,26	2,86	17,38	58,98
24780000	1360	-51,816389	-16,430556	2,06	27,43	98,05	1,51	20,17	72,10
24800000	12000	-51,852778	-15,889722	29,32	198,40	637,78	2,44	16,53	53,15
24850000	50100	-51,828056	-15,738056	224,28	857,76	2524,95	4,48	17,12	50,40
24900000	2060	-50,996667	-16,512500	8,30	31,76	91,83	4,03	15,42	44,58
24950000	10100	-51,357500	-15,939722	23,02	129,17	419,45	2,28	12,79	41,53
25100000	229	-50,171667	-15,922222	0,34	5,65	23,22	1,47	24,67	101,40
25120000	261	-50,438611	-15,896944	0,24	3,31	10,67	0,93	12,70	40,88
25130000	5310	-50,704722	-15,535833	4,11	76,66	272,15	0,77	14,44	51,25
25200000	76300	-51,081389	-14,912778	290,78	1189,29	3329,73	3,81	15,59	43,64
25500000	1800	-50,521820	-14,649158	0,07	27,21	119,80	0,04	15,12	66,56
25700000	92300	-50,800000	-13,689722	281,40	1342,63	3737,12	3,05	14,55	40,49
25750000	8660	-49,951389	-13,898611	0,62	101,89	401,95	0,07	11,77	46,41
25800000	18300	-50,401111	-13,561389	3,33	189,98	621,59	0,18	10,38	33,97
25950000	117000	-50,585471	-13,210172	324,20	1584,77	4057,09	2,77	13,55	34,68
60020000	4420	-47,159039	-17,029355	15,10	69,31	186,42	3,42	15,68	42,18
60030000	8370	-47,557143	-17,504665	34,25	142,53	377,63	4,09	17,03	45,12
60040000	10700	-47,692145	-18,111560	40,82	178,54	477,42	3,82	16,69	44,62
60050000	922	-47,620745	-18,117160	3,38	15,74	44,01	3,67	17,07	47,73
60200000	3159	-48,177649	-17,973558	10,90	50,57	146,00	3,45	16,01	46,22
60430000	1650	-48,604648	-16,147148	10,10	33,91	83,96	6,12	20,55	50,89
60432000	223	-48,803333	-16,298056	1,49	6,24	17,33	6,66	28,00	77,73
60443000	1090	-48,277645	-16,078248	5,31	17,18	43,90	4,87	15,76	40,28
60445000	7690	-48,089844	-16,364028	46,18	152,07	374,56	6,00	19,78	48,71
60495000	283	-47,691389	-16,431667	0,39	3,81	9,82	1,36	13,45	34,70
60500000	4130	-47,800556	-16,537500	16,30	59,77	140,00	3,95	14,47	33,90
60510000	14800	-47,908244	-16,922953	82,10	275,86	709,00	5,55	18,64	47,91
60510010	15200	-47,941278	-17,036565	65,25	218,95	533,79	4,29	14,40	35,12
60540000	3680	-48,137222	-17,131389	14,65	52,84	129,06	3,98	14,36	35,07
60544000	65,2	-48,639894	-16,652395	0,30	1,06	2,79	4,66	16,19	42,79
60544990	20700	-48,239167	-17,328333	92,35	313,91	743,25	4,46	15,16	35,91
60545000	20700	-48,239048	-17,327655	97,94	341,14	849,03	4,73	16,48	41,02
60564000	3310	-48,506944	-17,533056	14,69	48,15	117,95	4,44	14,55	35,64
60565000	3350	-48,497500	-17,573056	15,20	51,73	127,00	4,54	15,44	37,91
60590000	2360	-48,850153	-17,701055	7,13	31,66	80,30	3,02	13,42	34,03

ESTUDO HIDROLÓGICO GOIÁS – CONTINUAÇÃO

ID ESTAÇÕES	AD (km²)	COORDENADAS		VAZÕES (m³/s)			RENDIMENTOS ESPECÍFICOS (l/s.km²)		
		Long	Lat	Q ₉₅	Q _{mlp}	Q ₅	q ₉₅	q _{mlp}	q ₅
60591000	2410	-48,844167	-17,747778	5,20	30,33	76,54	2,16	12,59	31,76
60600000	33800	-48,830600	-18,248600	147,00	480,35	1217,00	4,35	14,21	36,01
60635000	532,41	-49,494167	-16,346389	1,73	6,71	17,86	3,25	12,60	33,55
60640000	1740,06	-49,279722	-16,613611	5,33	22,28	57,88	3,06	12,80	33,26
60655000	4990	-49,076853	-16,957651	22,25	68,90	160,22	4,46	13,81	32,11
60664800	19,530879	-49,413756	-16,757649	0,07	0,39	1,06	3,48	19,97	54,07
60665000	1250	-49,275000	-17,253611	4,43	19,57	53,79	3,54	15,66	43,03
60670000	6140	-49,222500	-17,409700	18,20	69,45	170,00	2,96	11,31	27,69
60675000	9590	-49,457958	-17,753554	43,00	139,63	334,00	4,48	14,56	34,83
60680000	11500,35	-49,601667	-18,348889	38,02	150,58	384,50	3,31	13,09	33,43
60700000	684	-49,943237	-16,465724	2,00	8,12	22,20	2,92	11,87	32,46
60715000	4640	-49,688333	-17,106944	7,58	48,88	133,33	1,63	10,53	28,74
60750000	2640	-50,289444	-17,079167	3,45	26,12	80,81	1,31	9,89	30,61
60765000	7890	-50,180833	-17,732222	14,07	80,01	221,83	1,78	10,14	28,12
60772000	17300	-50,246944	-17,980833	48,64	194,05	490,47	2,81	11,22	28,35
60774000	1020	-51,075278	-17,359167	7,69	21,18	47,95	7,54	20,77	47,01
60778000	808,09	-50,774167	-17,330833	6,81	15,45	32,03	8,43	19,12	39,63
60781000	5946,7	-50,681944	-17,325833	41,91	104,92	230,82	7,05	17,64	38,81
60785005	1169,83	-50,774167	-17,465833	10,75	21,86	43,29	9,19	18,69	37,01
60790000	8748,15	-50,556389	-17,541111	53,38	141,72	319,60	6,10	16,20	36,53
60798000	12788,86	-50,332500	-17,967778	81,26	210,69	477,31	6,35	16,47	37,32
60805000	30662,81	-50,172164	-18,071138	106,92	392,58	958,11	3,49	12,80	31,25
60805050	380	-48,655556	-16,835833	2,15	8,91	22,05	5,66	23,45	58,03
60810000	1358,77	-50,031389	-18,104722	5,54	19,71	43,51	4,08	14,51	32,02
60870000	1630	-50,528611	-18,498333	8,89	25,14	58,33	5,45	15,42	35,79
60885000	4590	-51,748900	-17,916400	24,50	87,36	231,00	5,34	19,03	50,33
60895000	1280	-51,390473	-17,860833	13,32	26,05	48,72	10,40	20,35	38,06
60900000	2680	-51,146940	-18,300830	23,16	50,42	97,43	8,64	18,81	36,35
60905000	12800	-50,979073	-18,800155	89,40	234,77	509,00	6,98	18,34	39,77
60907000	13600	-50,651071	-19,079657	100,00	233,20	494,00	7,35	17,15	36,32
60910000	638	-52,601389	-17,579444	4,28	12,26	29,51	6,71	19,22	46,26
60920000	10400	-51,280000	-18,711940	107,00	194,15	396,00	10,29	18,67	38,08
60930000	1450	-52,532500	-18,406667	16,90	26,87	42,36	11,66	18,53	29,21
60940000	3190	-52,096389	-18,516111	40,37	59,92	90,21	12,65	18,78	28,28
60950000	6850	-51,149167	-19,100278	66,12	111,50	187,23	9,65	16,28	27,33
60965000	4040	-51,913580	-18,986254	54,00	82,71	134,79	13,37	20,47	33,36
60970000	5220	-51,533611	-19,139722	64,54	102,35	170,69	12,36	19,61	32,70

Para o cálculo da modelagem foram retiradas as estações consideradas outliers para cada modelo. No estado do MS, foram retiradas as estações 63001600 para o cálculo dos modelos relativos à qmlp e q95, e a estação 6096000 para o cálculo da q95. Já para o estado de GO foi retirada as estação 25100000 para o cálculo do modelo referente à q5.

A seguir estão apresentados os histogramas com os resumos estatísticos para cada classe de rendimento específico estudada de ambos estados, MS e GO. A figura 3 apresenta os resultados para os rendimentos específicos de vazões mínimas (q95), a figura 4 para vazões médias de longo período (qmlp) e a figura 5 para as vazões máximas (q5).

Figura 3 – Histogramas e relatório estatístico para vazões q95. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).

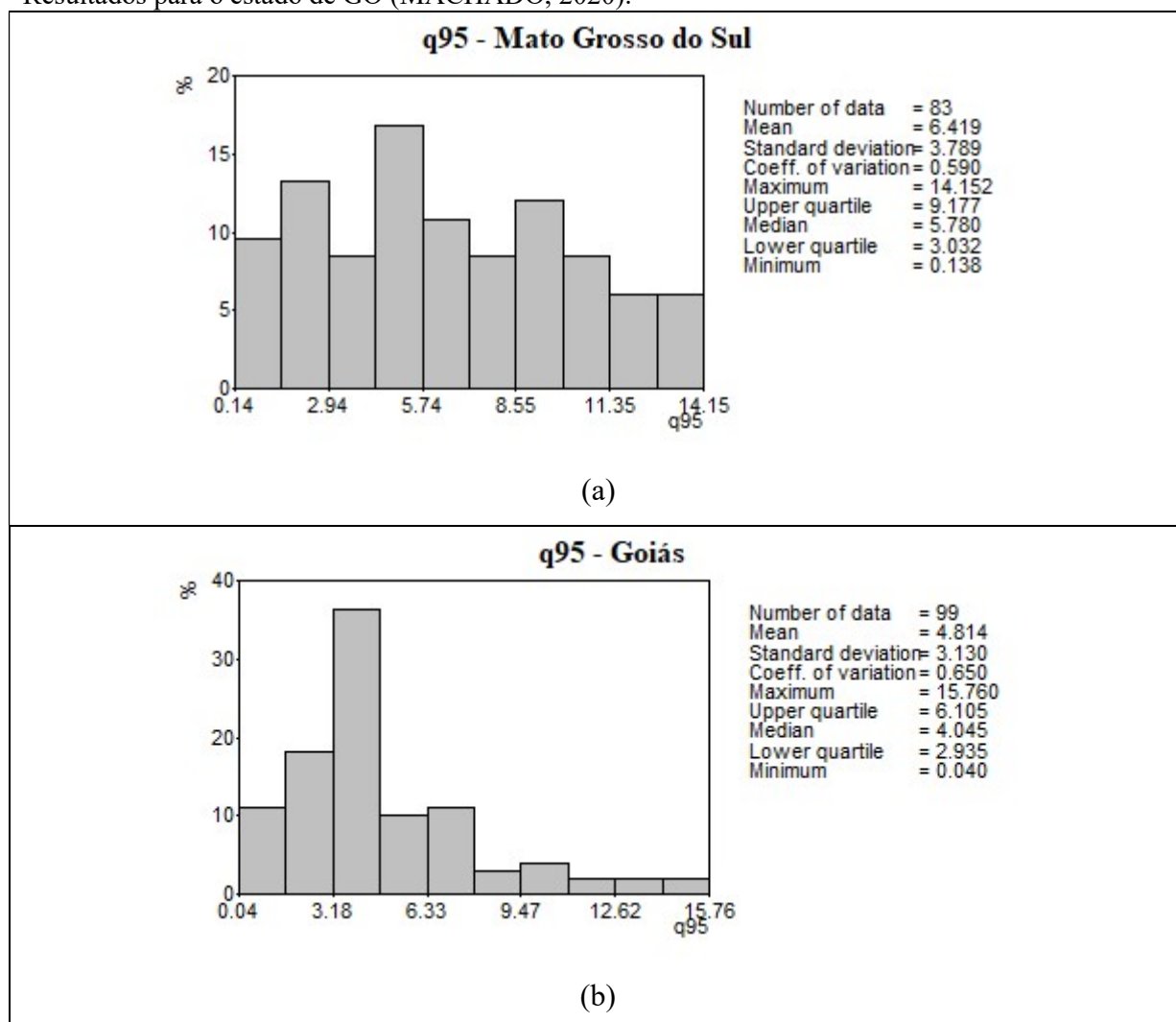


Figura 4 – Histogramas e relatório estatístico para vazões qmlp. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020)

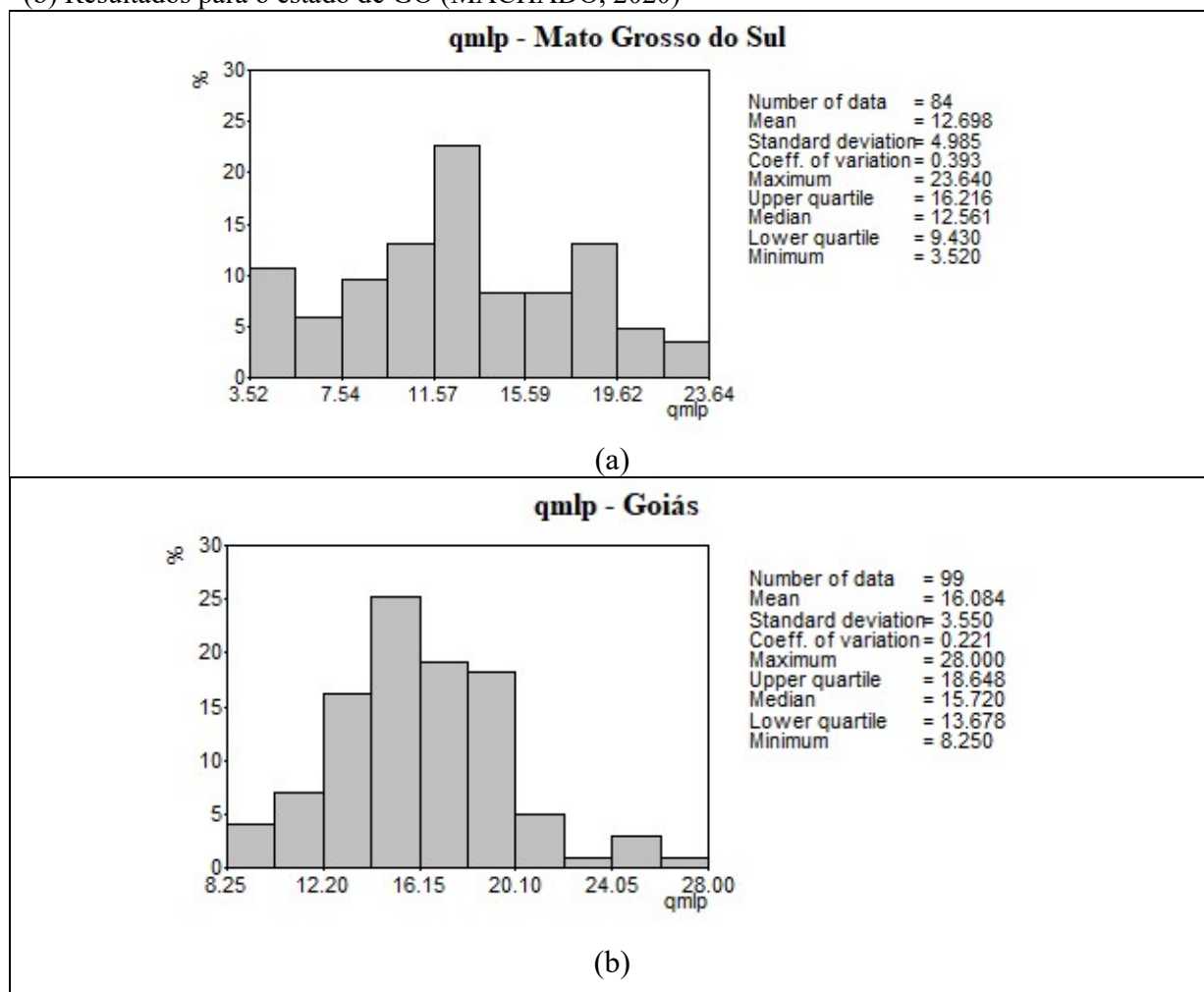
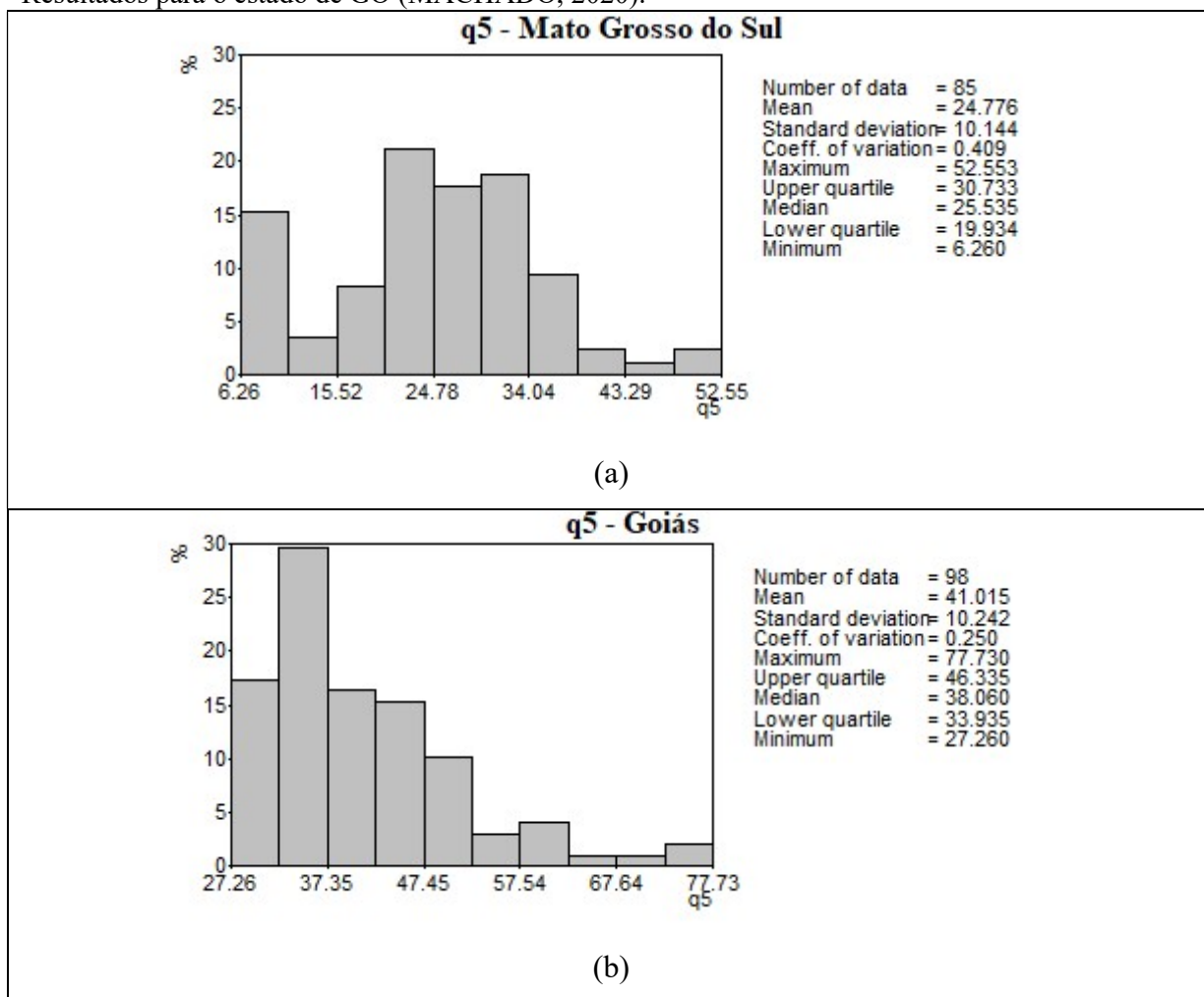


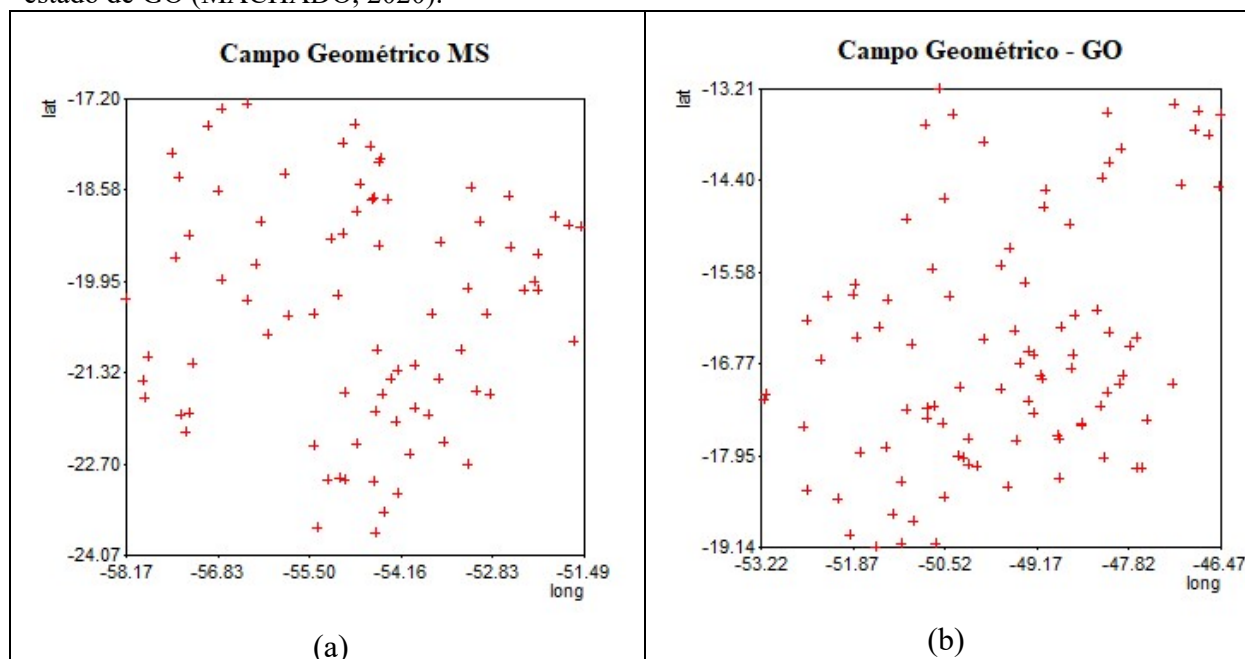
Figura 5 – Histogramas e relatório estatístico para vazões q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Observando os histogramas, podemos notar que os dados do estado de Goiás possuem menor dispersão que os dados do estado de MS, refletindo as condições hidrológicas locais. Essa tendência leva a esperar melhores coeficientes para o modelo. Quanto à simetria, podemos notar a prevalência de assimetria positiva ou ligeira simetria nas amostras, sendo a qmlp do MS a distribuição mais simétrica.

A seguir, a figura 6 apresenta o campo geométrico para os dois estados, que nos permite observar a distribuição das estações fluviométricas utilizadas para a confecção do estudo.

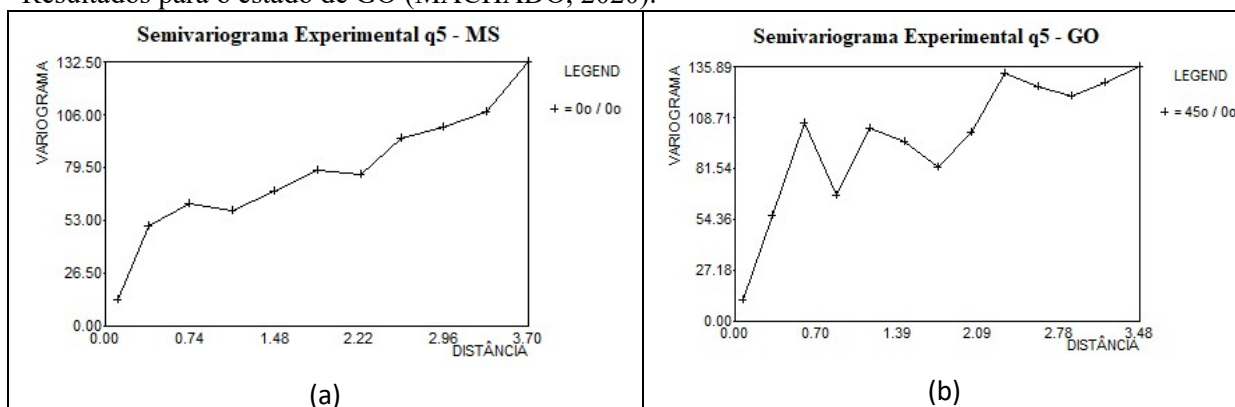
Figura 6 – Campo Geométrico dos dados. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Podemos notar uma irregularidade nas amostras para ambos estados, uma vez que não há o planejamento para instalações de estações fluviométricas, e nem estações suficiente para descartar dados e buscar regularizar a malha. Nas áreas de maior vazio, onde esperamos encontrar os maiores desvios de krigagem podemos trabalhar com os desvios de interpolação para trazer maior precisão ao modelo. Aqui ressaltamos que esta irregularidade de malha e vazios amostrais foram corrigidas ao longo da modelagem dos semivariogramas, através da correção das anisotropias.

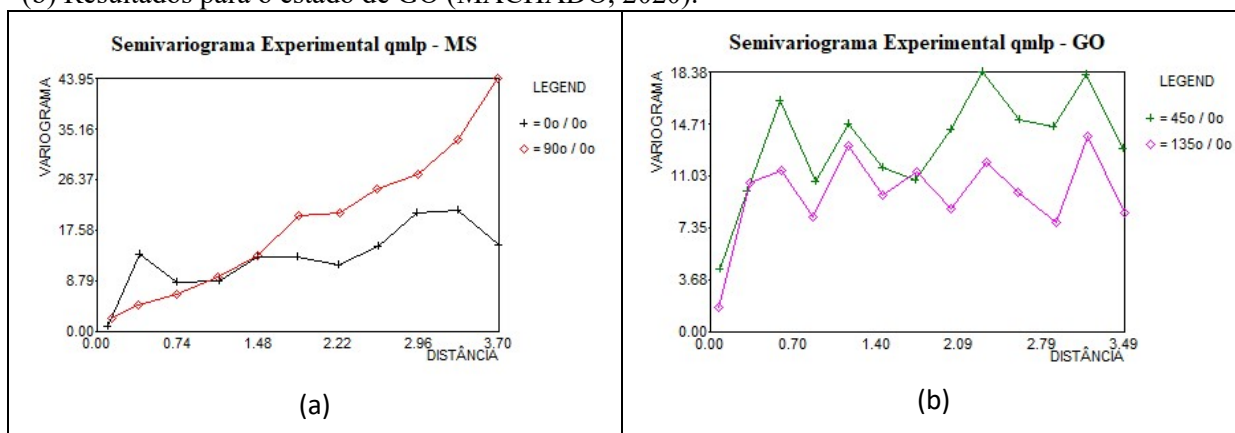
Uma vez delimitado o campo geométrico e definindo as grandezas de modelagem passamos à construção dos semivariogramas. Os semivariogramas para cada caso de estudo estão apresentados nas figuras 7, 8 e 9. Podemos observar que para mesmas classes de rendimentos específicos, obtemos padrões de variações diferentes, que refletem as peculiaridades de cada conjunto de dados.

Figura 7 – Semivariograma experimental para valores de q5. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Na figura 7, analisando inicialmente os dados de rendimentos específicos máximos (q5) podemos observar que os dados de GO apresentam menor estruturação em relação aos dados de MS, mesmo ambos conjuntos de dados apresentando mesma variação em torno da média, representada pelo desvio padrão, e parâmetros bem próximos de campo geométrico, indicando que a distribuição dos dados ao longo do espaço influencia na obtenção do semivariograma. Para os dois casos de estudo trabalhamos com o semivariograma omnidirecional, sem a presença de anisotropia.

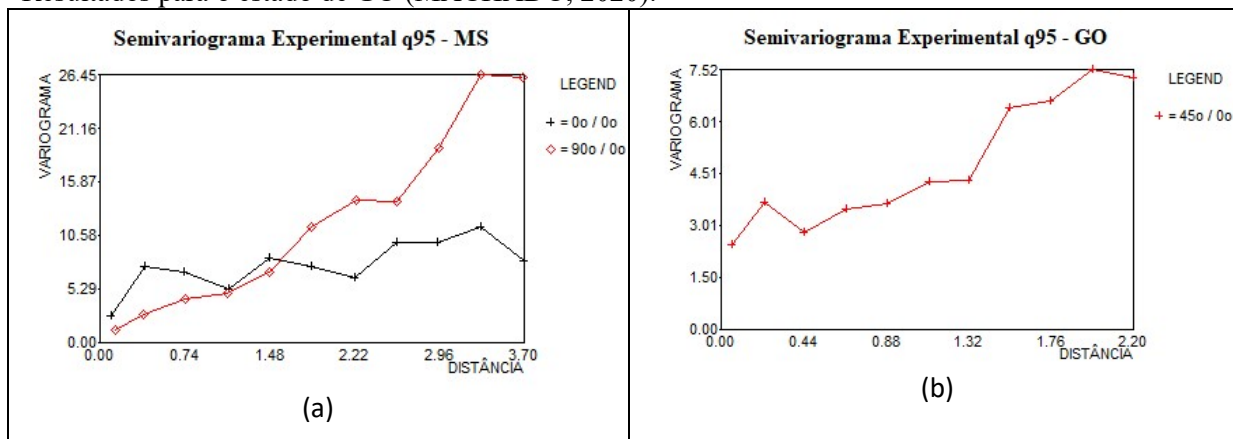
Figura 8 – Semivariograma experimental para valores de qmlp. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



A figura 8 retrata que nos casos do cálculo dos mapas de rendimento específico para qmlp em ambos casos de estudo tivemos a presença de anisotropia e novamente podemos

observar uma perda de estrutura nos dados de Goiás, porém uma estabilização mais perceptível dos patamares do que nos dados do MS.

Figura 9 – Semivariograma experimental para valores de q95. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Já a figura 9, representa que para cada caso de estudo tivemos comportamentos diferentes em se tratando do semivariograma para vazões mínimas. No caso do MS o modelo apresentou anisotropia que foi modelada e ajustada para a construção do semivariograma teórico, enquanto que nos dados que representam o estado de GO conseguimos obter um modelo experimental omnidirecional, porém com pouca estruturação.

Destacamos os parâmetros utilizados para construção do modelo teórico apresentados de forma resumida nas tabelas 3, 4 e 5 abaixo, e os modelos de semiariogramas teóricos estão apresentados nas figuras 10, 11 e 12 que seguem.

Tabela 3 - Parâmetros do Semivariograma Teórico para rendimentos específicos máximos q5

Parâmetros do Semivariograma Teórico q5		
	MS	GO
Estrutura	1	1
Azimuth	0	45°
Modelo	exponencial	Esférico
Variância Espacial	76,956	102
Amplitude Máxima	1,184	0,766
Amplitude Mínima	1,184	0,766

Figura 10 – Semivariograma teórico para valores de q_5 . (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).

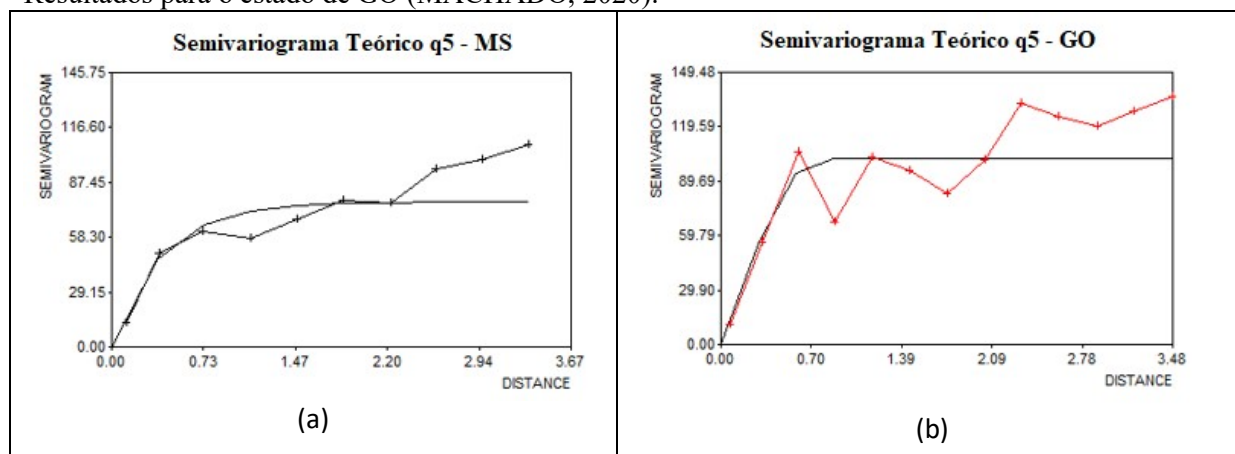


Tabela 4 - Parâmetros do Semivariograma Teórico para rendimentos específicos médios q_{mlp}

Parâmetros do Semivariograma Teórico q_{mlp}				
	MS		GO	
Estrutura	1	2	1	2
Azimuth	0°	90°	135°	45°
Modelo	esférico	esférico	esférico	esférico
Variância Espacial	13,42	7,16	11,422	2,856
Amplitude Máxima	1,88	1,00E+30	0,566	1,00E+30
Amplitude Mínima	1,5	1,88	0,477	0,47

Figura 11 – Semivariograma teórico para valores de q_{mlp} . (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).

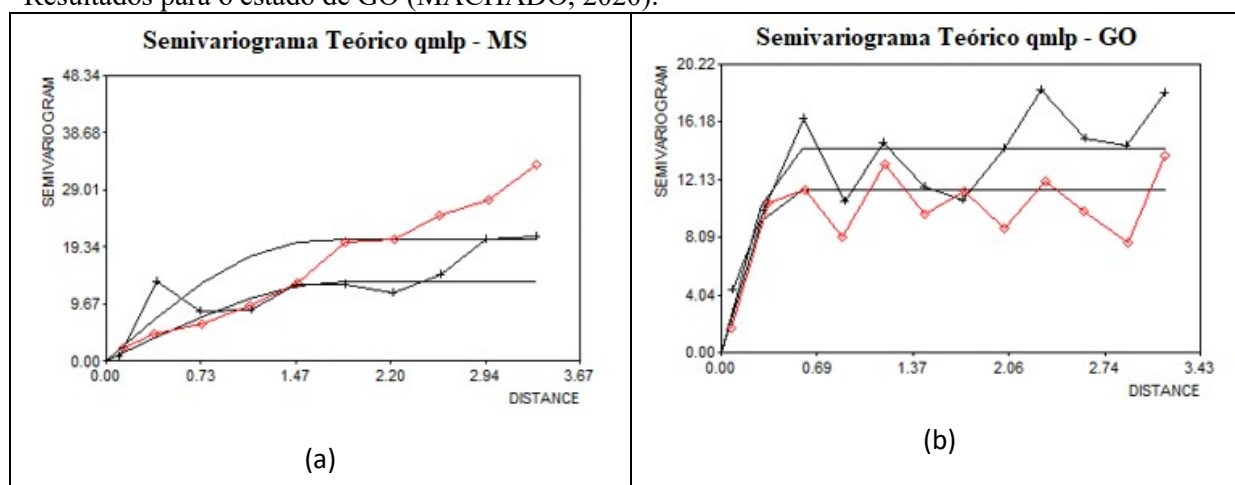
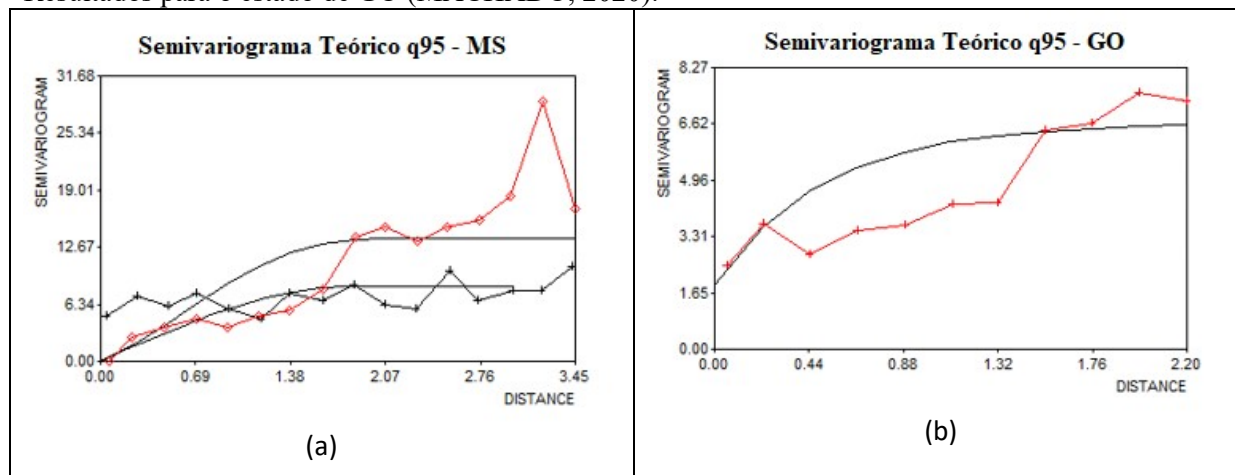


Tabela 5 - Parâmetros do Semivariograma Teórico para rendimentos específicos mínimos q_{95}

Parâmetros do Semivariograma Teórico q_{95}			
	MS		GO
Estrutura	1	2	1
Azimuth	0°	90°	45°
Modelo	Esférico	gaussiano	Exponencial
Variância Espacial	8,34	5,347	4,732
Amplitude Máxima	1,83	1,00E+30	1,54
Amplitude Mínima	1,83	1,83	1,54

Figura 12 – Semivariograma teórico para valores de q_{95} . (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).

Analisando os parâmetros de semivariograma, podemos observar que para os conjuntos de dados dos dois estados os rendimentos específicos de q_{95} apresentaram maior amplitude, mostrando que os dados possuem maior correlação espacial.

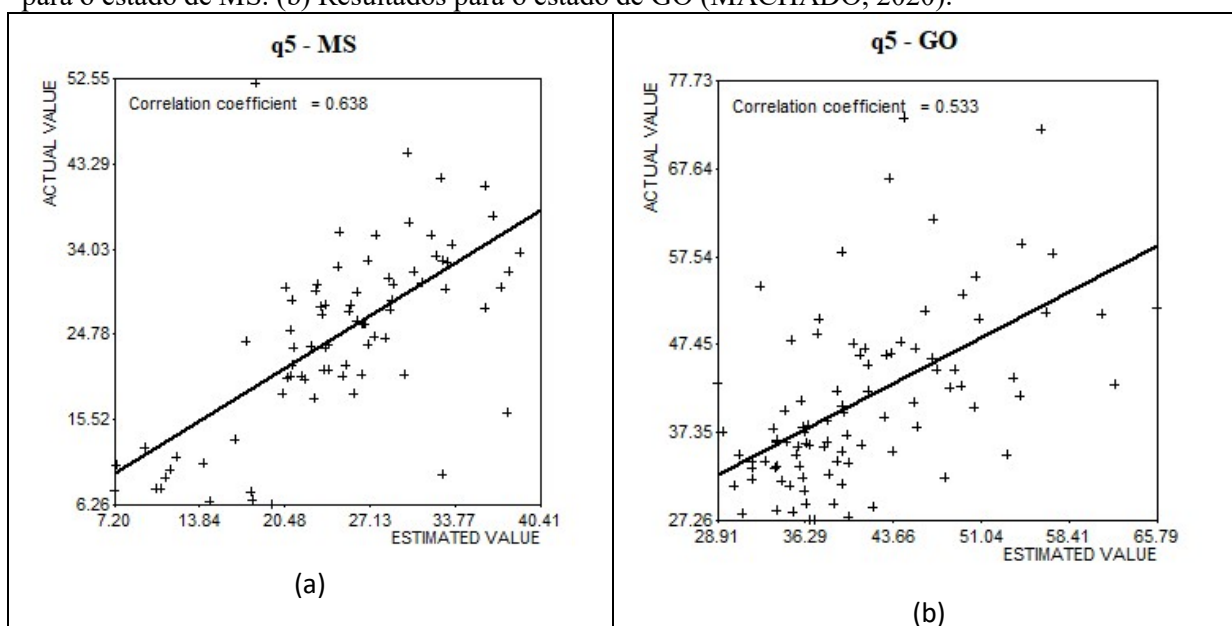
Quanto ao modelo aplicado para o estado de MS nos rendimentos mínimos houve a presecção de anisotropia zonal, caracterizando uma provável diferença populacional dentro da amostra, que sabemos esta ser composta por duas bacias hidrográficas com comportamento hidrológicos muito distintos. Não trabalhamos com os conjuntos de dados separados por bacia hidrológica, uma vez que reduziria a quantidade de dados disponíveis para menos de 50 pontos, influenciando na quantidade de pares de busca e implicando num modelo de pouca representatividade.

Para os modelos de q_5 , apesar da alta variabilidade dos dados, conseguimos encontrar um modelo isotrópico para os dois estados, sendo que o estado de MS apresentou amplitude maior, novamente indicando uma maior correlação espacial dos dados neste estado.

Já para os dados de q_{mlp} , os dois conjuntos apresentaram anisotropia mista, sendo que os dados do estado de GO apresentaram menor amplitude dentre todos os conjuntos de dados, sendo o indicativo de menor correlação espacial. Ressaltamos aqui que este conjunto de dados, q_{mlp} (GO), foi o que apresentou menor valor de coeficiente de variação.

Uma vez ajustados os semivariogramas teóricos pudemos aplicar a validação cruzada para aferir a representatividade do modelo escolhido. Os resultados obtidos se encontram nas figuras 13, 14 e 15 apresentadas a seguir.

Figura 13 – Coeficientes de correlação obtidos através da validação cruzada para q_5 . (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).

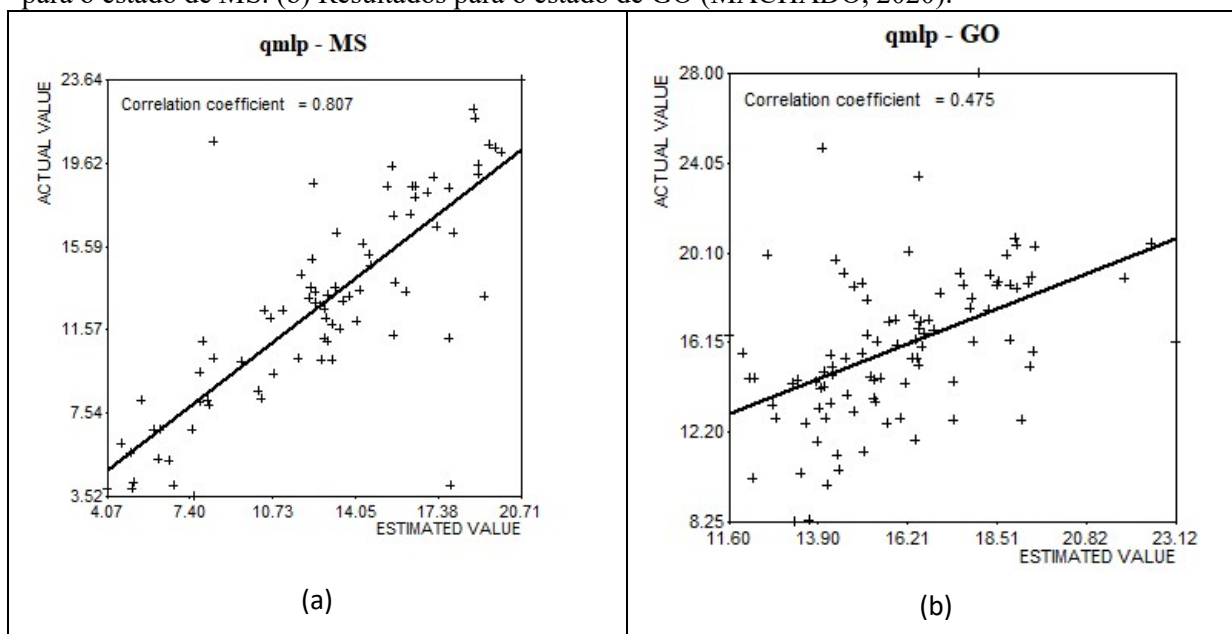


Para ambos os casos de rendimentos específicos máximos, obtemos coeficientes de correlação abaixo de 0,70, indicando que o uso da krigagem não se mostrou tão efetivo para esta classe de vazões. Podemos associar a baixa correlação com espacial com a alta variabilidade dos dados de vazões máxima, uma vez que esta classe de vazão está mais

sujeita a maiores variações devido as especificidades climatológicas de cada região. Neste caso o uso de metodologias que englobem outras características hidrológicas das regiões em estudo poderão levar a resultados mais satisfatórios.

Já no caso dos rendimentos específicos médios, tivemos variabilidade dos coeficientes de validação cruzada. Para o estado do MS, obtivemos uma correlação de 0,81, o que no indica que a krigagem funcionou como um bom estimador para a espacialização deste conjuntos de dados. Entretanto, para o estado de GO, no caso da qmlp obtivemos o menor coeficiente de correlação deste estudo, correspondente a 0,48, indicando que o estimador não reflete a realidade do conjunto de dados para este caso. Vale ressaltar aqui que para estes dados, obtivemos a menor amplitude do estudo, mais um fator que indica a baixa correlação espacial entre os dados. Sendo assim, a escassez de estações fluviométricas prejudicou o modelo.

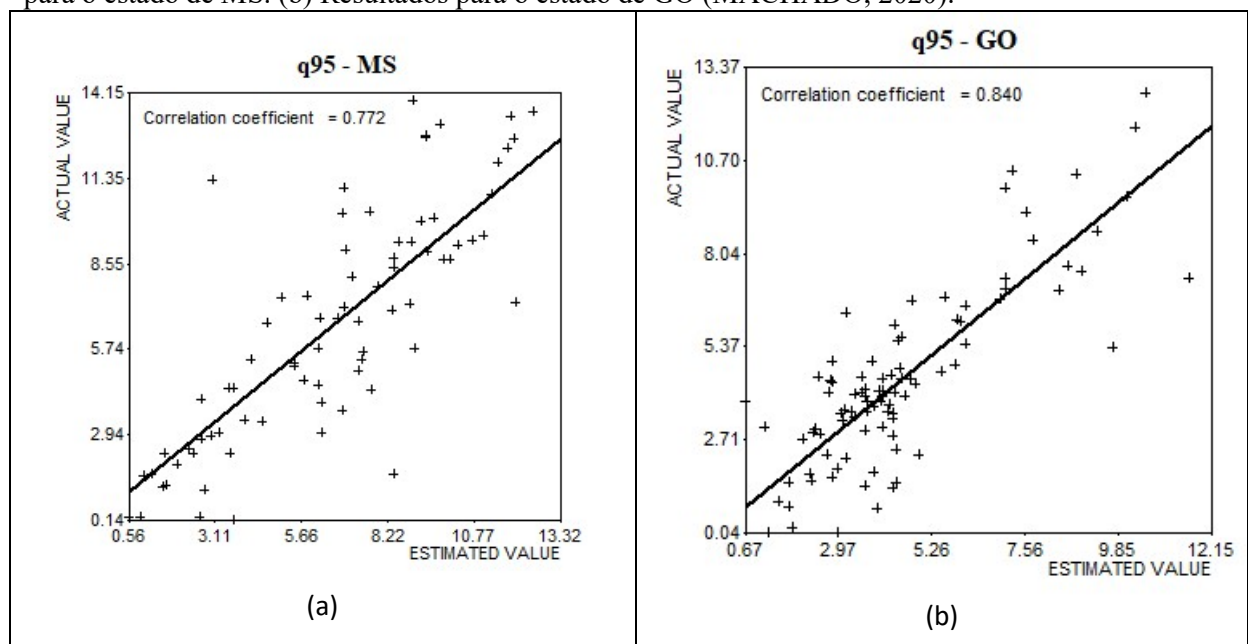
Figura 14 – Coeficientes de correlação obtidos através da validação cruzada para qmlp. (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Por fim, para o conjunto de dados de vazões mínimas, obtivemos os melhores coeficientes de correlação, acima de 0,70, para ambos os casos. Sendo assim, o estimador se

mostrou efetivo para a espacialização desta classe de vazões. Vale ressaltar aqui, que nesta classe de rendimentos trabalhamos com as maiores amplitudes dos nossos casos de estudo, reforçando uma maior interdependência dos valores com o espaço geográfico. Além disto, vazões mínimas estão diretamente correlacionadas com a recarga de subsolo, e os estudos em torno da krigagem, mostram que este método interpolador se aplica muito bem às variáveis geológicas.

Figura 15 – Coeficientes de correlação obtidos através da validação cruzada para q_{95} . (a) Resultados para o estado de MS. (b) Resultados para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Enfim, após o processo de aplicação do método e levantamento de todos os dados disponíveis e necessários, concluímos a etapa apresentando os mapas de rendimento específicos gerados para cada um dos casos de estudo, objeto maior desta pesquisa.

Figura 16 – Rendimentos específicos Máximos (q_5) para o estado de MS (MACHADO, 2020).

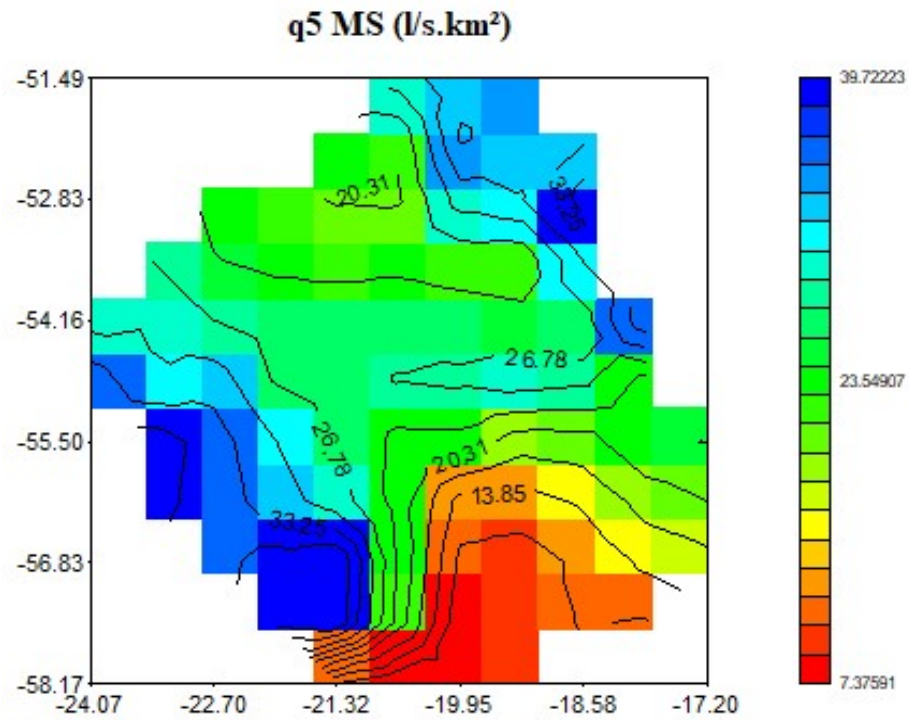


Figura 17 – Rendimentos específicos Máximos (q_5) para o estado de GO (MACHADO, 2020).

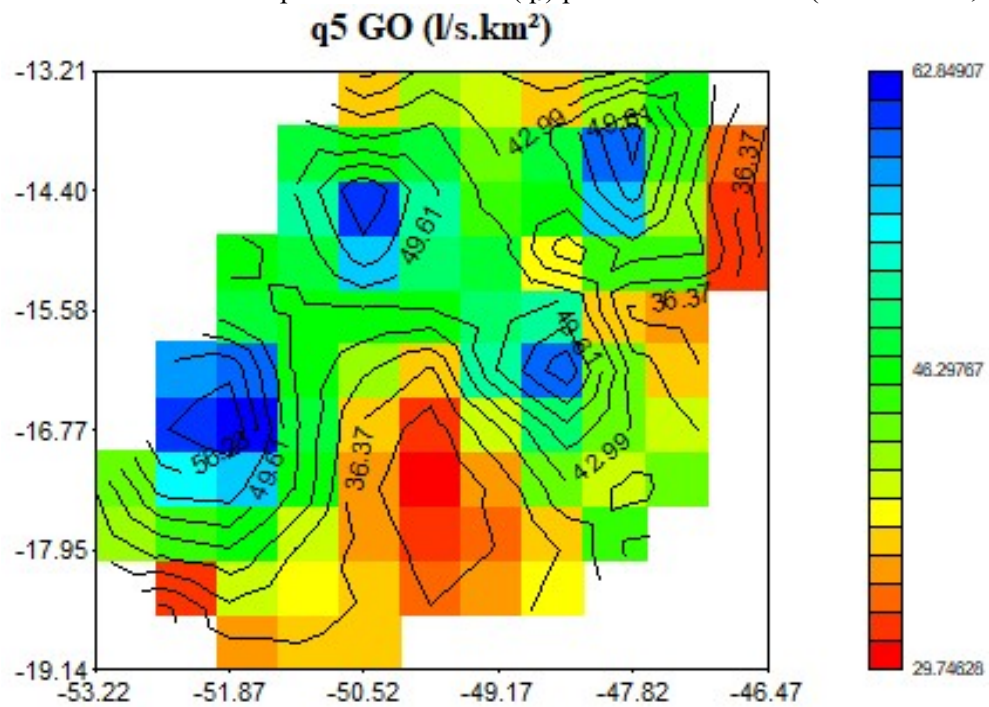


Figura 18 – Rendimentos específicos Médios (q_{mlp}) para o estado de MS (MACHADO, 2020).

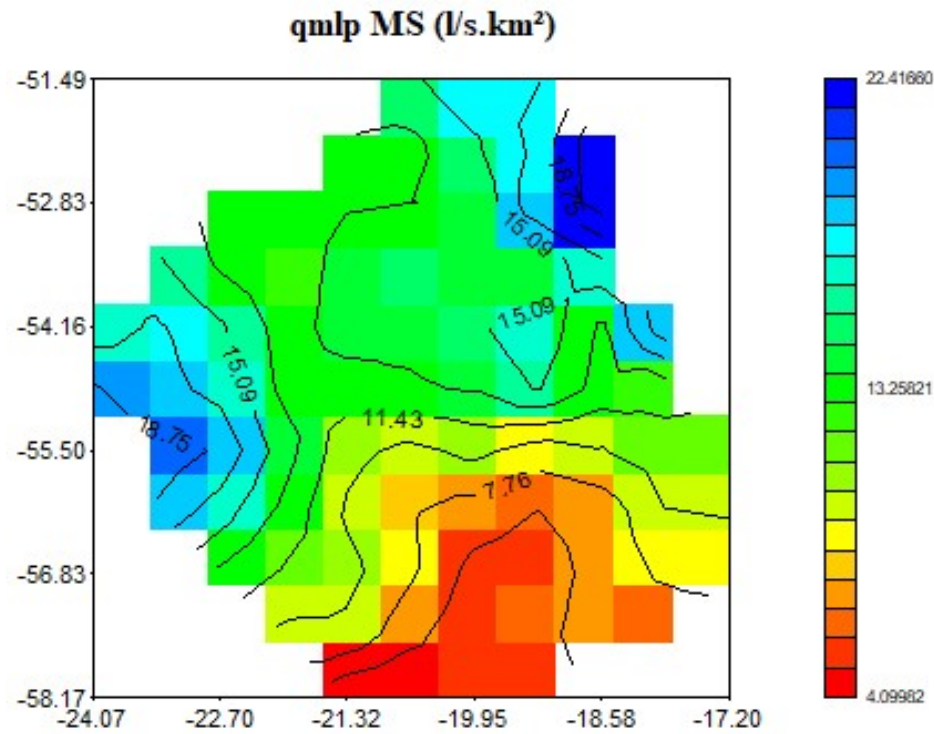


Figura 19 – Rendimentos específicos Médios (q_{mlp}) para o estado de GO (MACHADO, 2020).

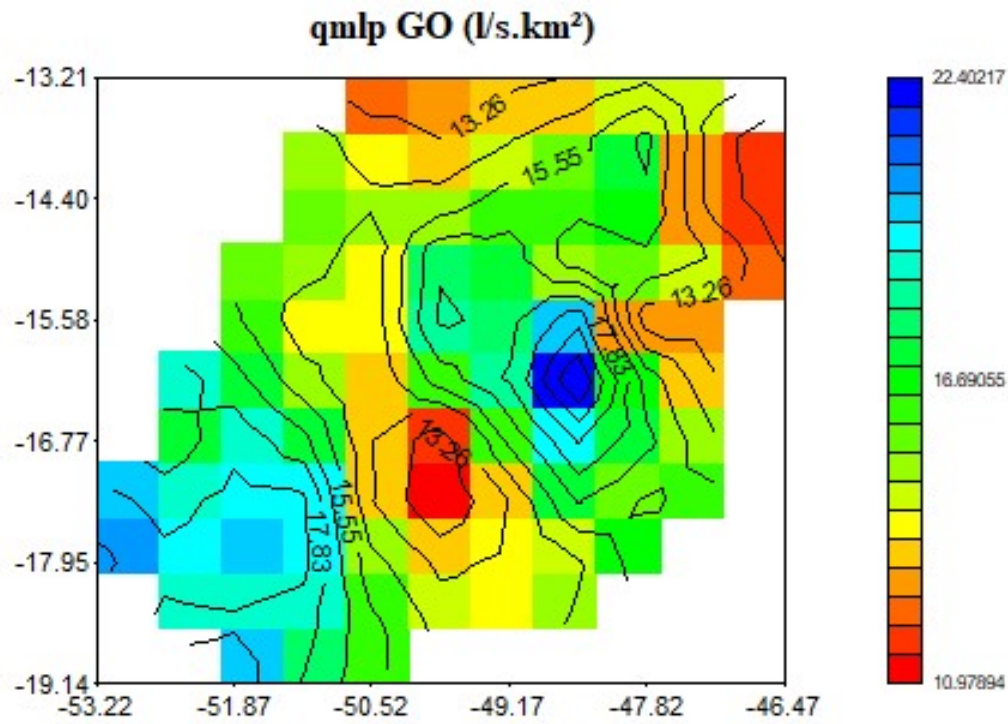


Figura 20 – Rendimentos específicos Mínimos (q_{95}) para o estado de MS (MACHADO, 2020).

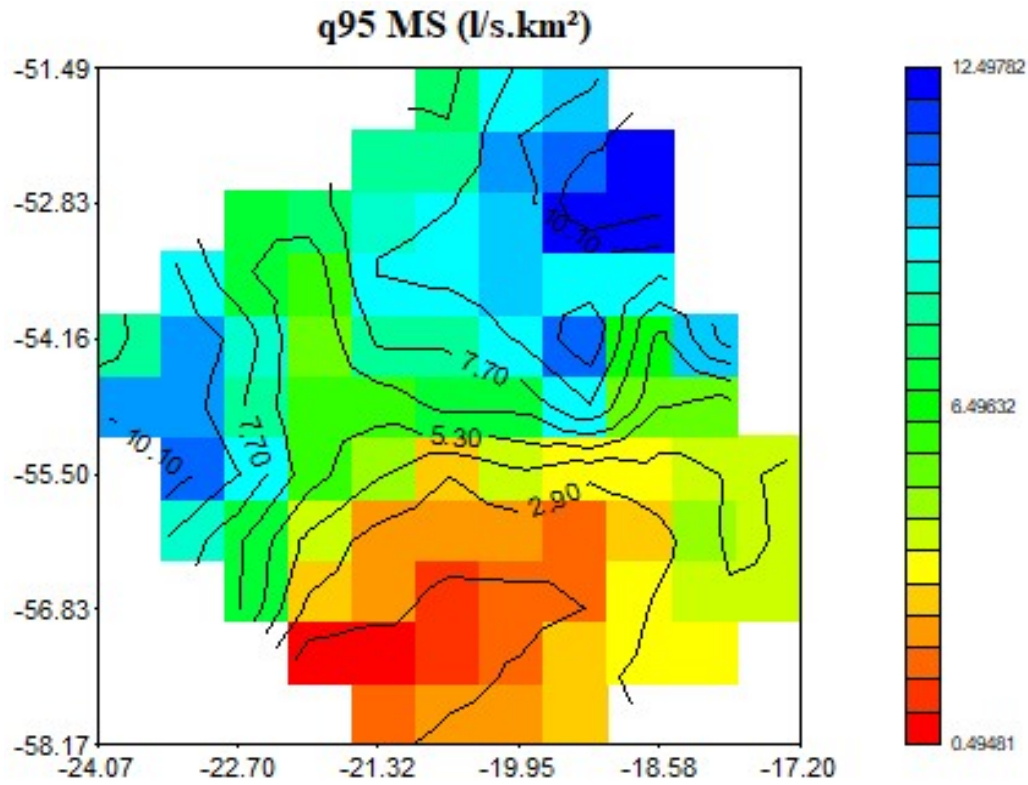
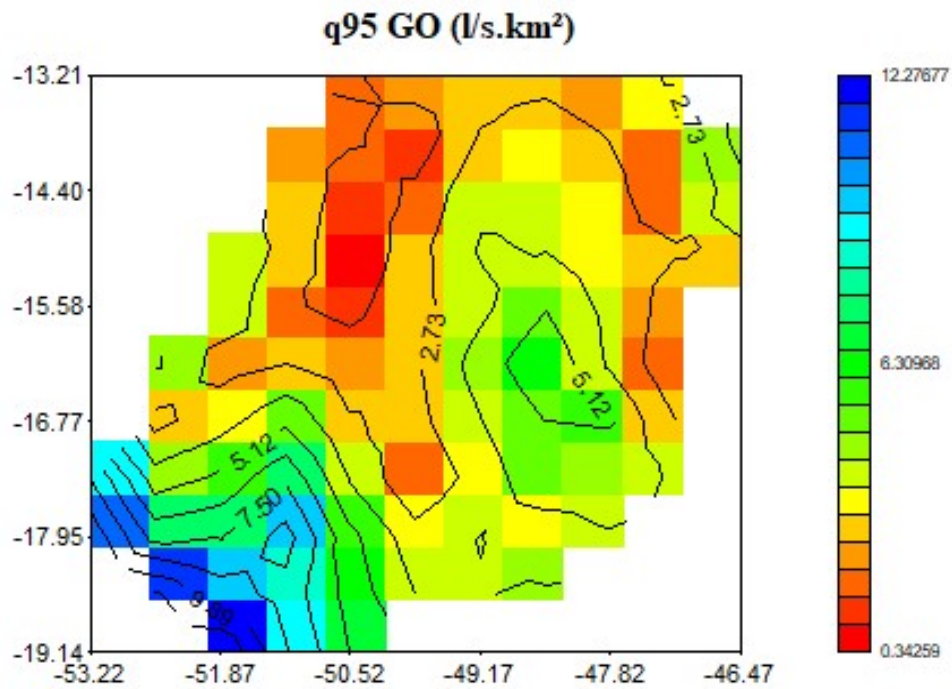


Figura 21 – Rendimentos específicos Mínimos (q_{95}) para o estado de GO (MACHADO, 2020).



Os mapas apresentam a espacialização dos dados de vazão, bem como a inferência de valores para locais não amostrados. O fato de trabalharmos com rendimentos específicos, permite que este valor seja multiplicado pela área de drenagem de qualquer bacia hidrográfica, cujo o exultório seja representado por uma coordenada geográfica e inserido em um mecanismo de busca.

Os resultados obtidos também nos levam a considerar o que podemos chamar de erros ou desvios de interpolação, essa informação deve ser agregada como auxílio na tomada de decisão das situações de gerenciamento dos recursos hídricos. Dessa forma, apresentamos abaixo, os mapas de desvios de interpolação gerados pelo estudo.

Figura 22 – Desvios de Interpolação para rendimentos específicos máximos (q_5) para o estado de G (MACHADO, 2020).

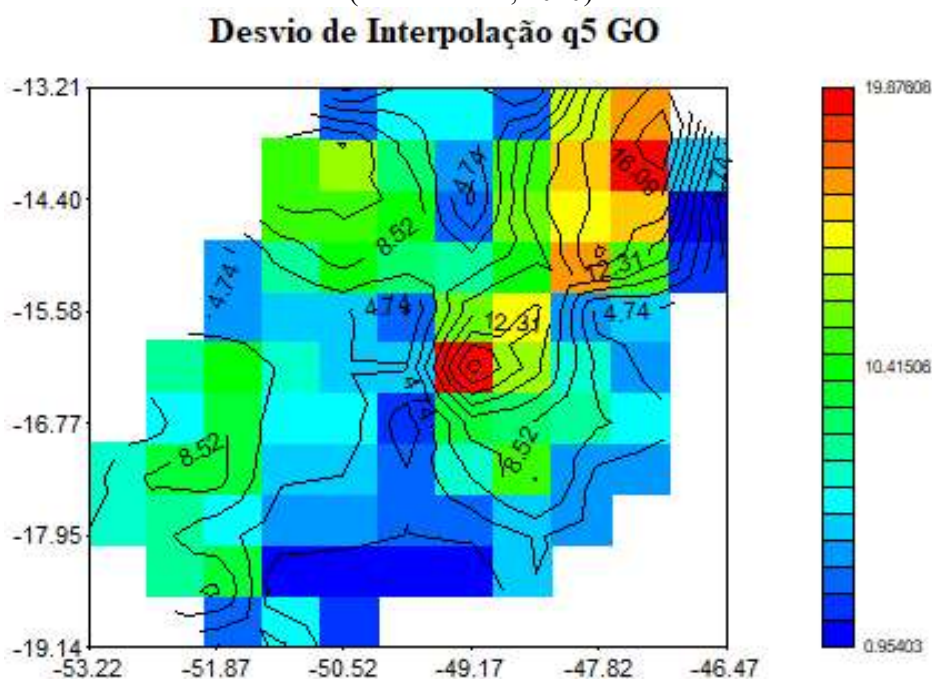


Figura 23 – Desvios de Interpolação para rendimentos específicos máximos (q_5) para o estado de M (MACHADO, 2020).

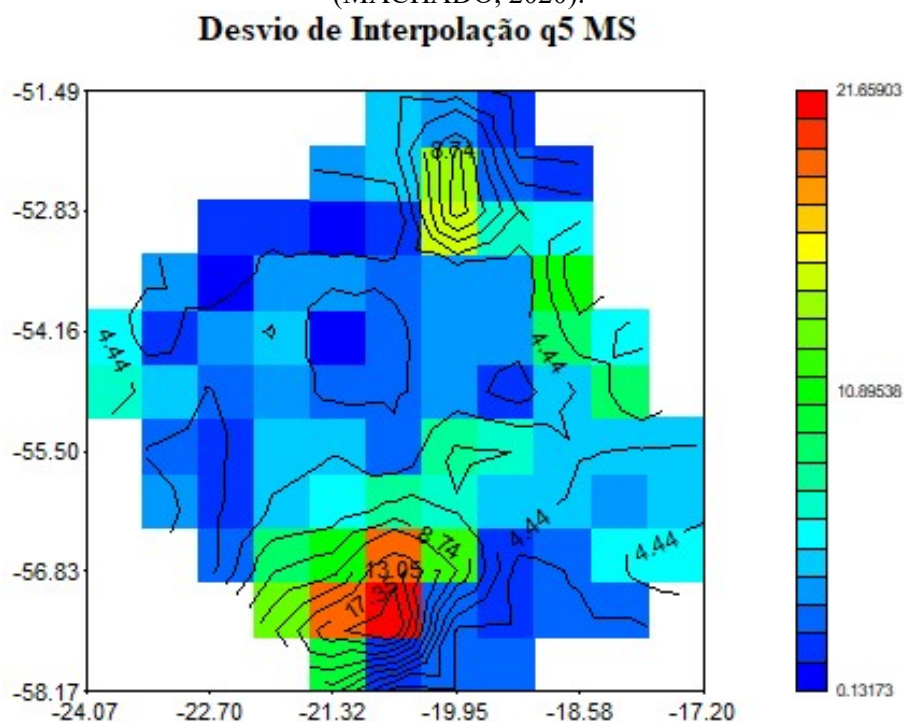


Figura 24 – Desvios de Interpolação para rendimentos específicos médios (q_{mlp}) para o estado de GO (MACHADO, 2020).

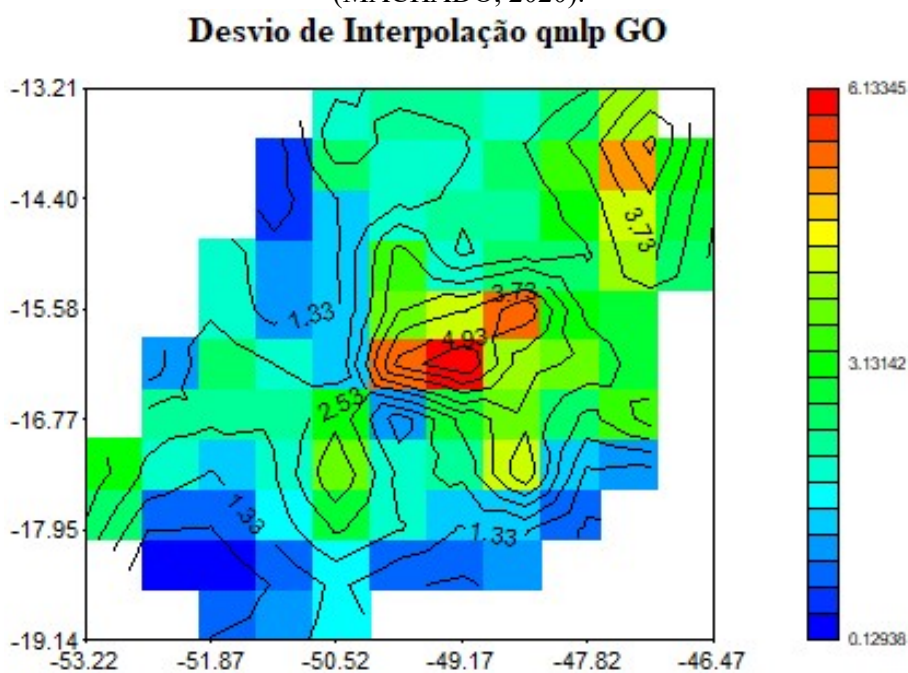


Figura 25 – Desvios de Interpolação para rendimentos específicos médios (q_{mlp}) para o estado de MS (MACHADO, 2020).

Desvio de Interpolação q_{mlp} MS

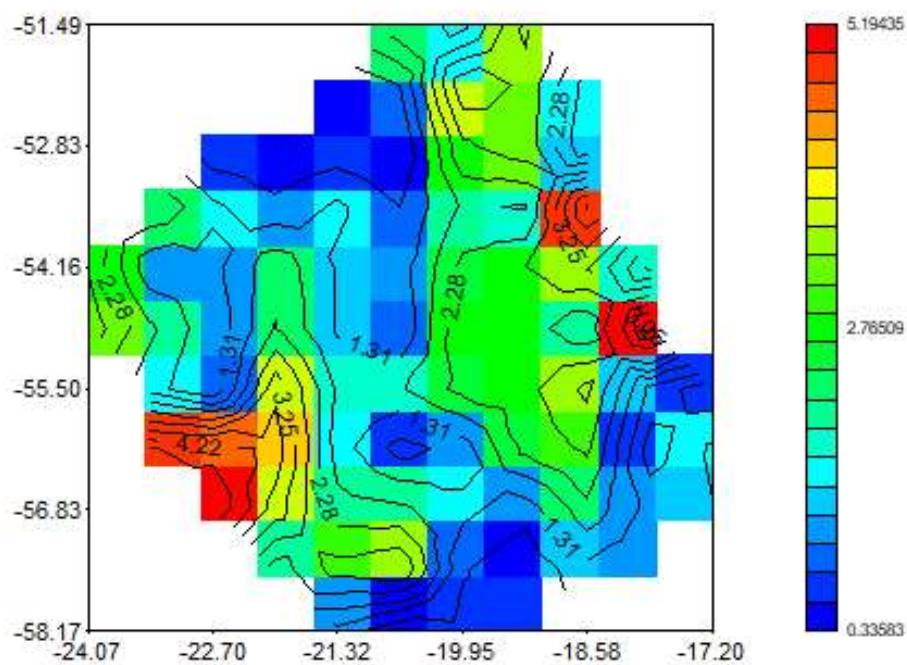


Figura 26 – Desvios de Interpolação para rendimentos específicos mínimos (q_{95}) para o estado de GO (MACHADO, 2020).

Desvio de Interpolação q_{95} GO

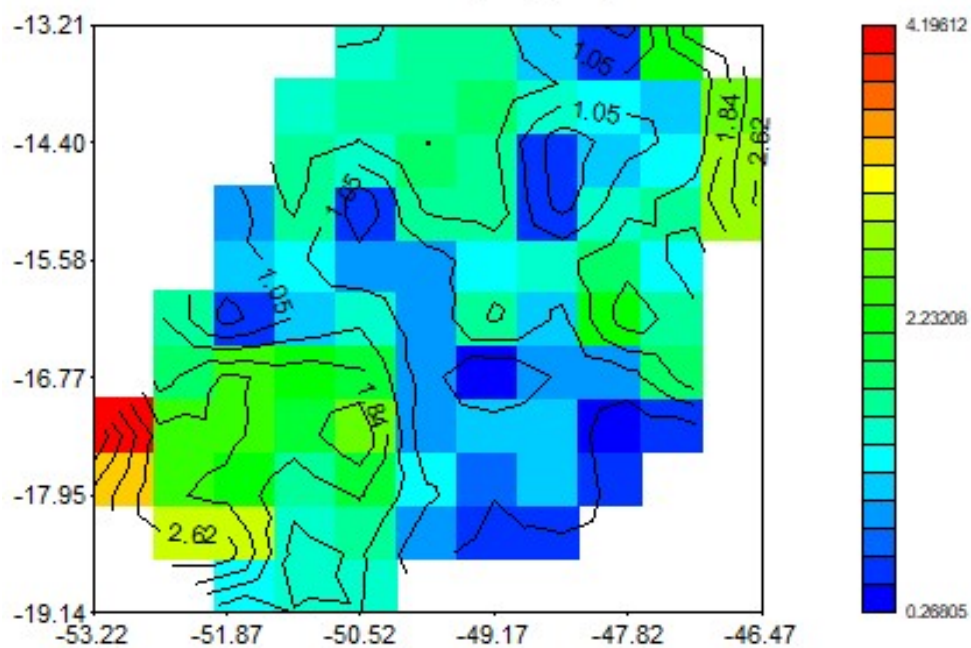
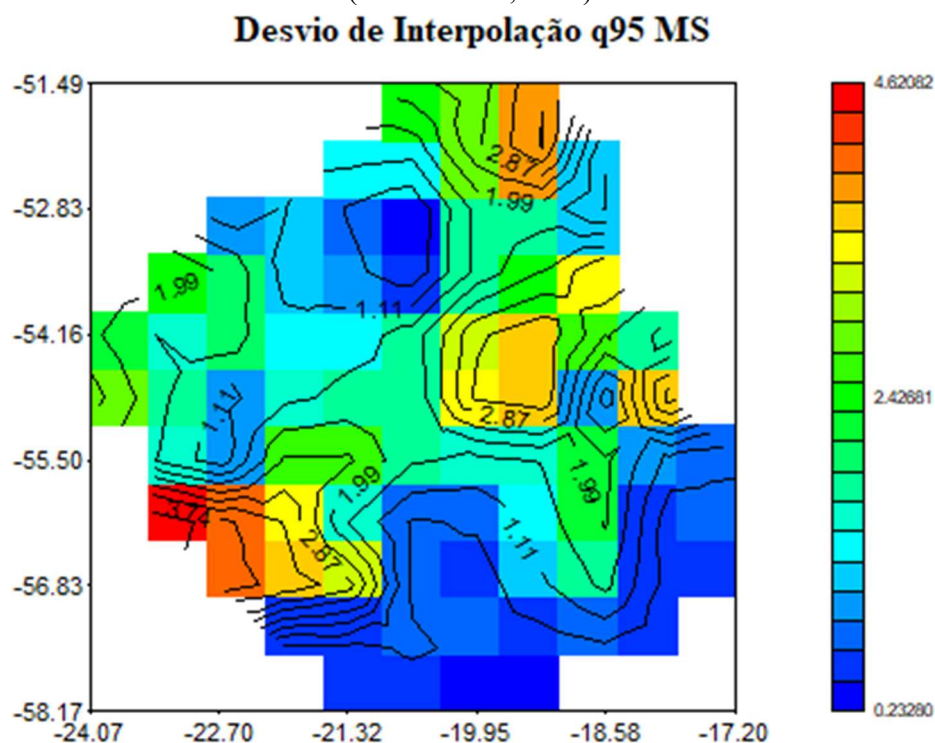


Figura 27 – Desvios de Interpolação para rendimentos específicos mínimos (q95) para o estado de MS (MACHADO, 2020).



Observando os mapas de desvios percebemos que as regiões de vazios amostrais do campo geométrico são as regiões onde encontramos os maiores desvios de interpolação, enfatizando ainda mais, que a carência de dados, frutos de um não planejamento amostral, devido a irregularidade da malha fluviométrica tem maior influência negativa no modelo.

No que tange aos desvios, referente ao uso da Krigagem ordinária como interpolador para a classe de vazões máximas, constatamos que para os dois estados, obtivemos os maiores desvios convergindo para a ineficiência do ponderador para este tipo de vazões. Já quando analisamos a utilização do ponderador para a classe de vazões mínimas, observamos os menores desvios arraigados com a melhor eficiência do modelo para esta classe.

Os valores das incertezas associadas obtidos através dos mapas de desvio de interpolação, são úteis para prever a confiabilidade do valor estimado e a incerteza associada a este valor, servindo como balizador para a tomada de decisão de utilização dos dados obtidos com esta metodologia de estimativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estamos inseridos num contexto no qual cada vez mais a crise hídrica faz parte da realidade, e assim o número de regiões em estresse hídrico é cada vez maior. Logo, a gestão de recursos hídricos é a ferramenta para frear e mitigar os impactos desta situação no cotidiano da sociedade. Porém, só é possível realizar gestão a partir de dados confiáveis que representem a realidade do local, e que sejam acessíveis aos profissionais que farão uso destas informações hidrológicas. A carência não só de dados, mas também da espacialização dos dados de vazão é um entrave nos processos de gerenciamento de recursos hídricos, realidade esta que as agências estaduais de meio ambiente enfrentam em seus processos.

Visando sanar este problema, este estudo teve como objetivo propor uma nova abordagem para a utilização da krigagem ordinária como ferramenta de espacialização para dados de rendimentos específicos. O desenvolvimento deste trabalho apresenta ao final uma das premissas da pesquisa científica que é ter relevância social, contribuindo com a sociedade, produzindo conhecimento que visa proporcionar melhores condições de vida aos cidadãos. Assim sendo, a metodologia desenvolvida através deste estudo, está implementada nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás, nas respectivas secretarias de Gestão de Recursos Hídricos, funcionando como suporte para o sistema automatizado de outorgas. A utilização desta ferramenta, confere agilidade ao sistema, bem como sana a ausência de dados em diversas regiões do estado, fator este que se torna um grande impeditivo de realizar a gestão de recursos hídricos.

Não buscamos aqui uma metodologia universal de espacialização, mas sim aquela que se adequasse à disponibilidade de dados e que oferecesse o melhor insumo que pudéssemos produzir a partir dos dados disponíveis. Modelos complexos que não pudessem ser utilizados de forma realista pelas agências, devido as limitações que existem em relação à disponibilidade e monitoramento de dados, não contemplariam o objetivo maior desta

pesquisa, fornecer uma base de valores de rendimentos específicos para compor o sistema de cálculos de disponibilidade hídrica para gestão de cursos hídricos.

Neste contexto, o uso da krigagem ordinária como interpolador apresentou coeficientes de validações cruzadas superiores à 0,70 nos casos de estudo de vazões médias e mínimas, sendo este o uso mais indicado para o modelo. No que tange as vazões médias o uso do interpolador depende do conjunto de dados, sendo que em algumas situações outros modelos fornecem resultados melhores. Para vazões máximas desaconselhamos o uso deste interpolador, uma vez que esta classe de vazões possui alta variabilidade. Sugerimos o trabalho com mais variáveis explicativas, como por exemplo, a precipitação, uma vez que esta classe de vazões apresenta maior variabilidade temporal e espacial.

Enfim, o melhor uso da metodologia se aplica a estimativa de rendimentos específicos de vazões mínimas que demonstram apresentar maior continuidade espacial. Além disto, vazões mínimas estão diretamente correlacionadas com a recarga de subsolo, e os estudos em torno da krigagem, mostram que este método interpolador se aplica muito bem às variáveis geológicas. A nível de complementação, estudos futuros incorporando características físicas das bacias hidrográficas podem ser realizados visando obter modelos cada vez mais próximos à realidade de dados local.

Ainda citamos aqui a necessidade de investimentos na ampliação da malha de estações fluviométricas, principalmente nas regiões de pequenas bacias hidrográficas, uma vez que a ausência de dados e irregularidade da malha influi negativamente nas estimativas de vazões, e cada vez mais o uso de dados faz-se necessário para garantir a gestão de recursos hídricos. Ressaltamos a importância desse investimento como uma política pública futura de obtenção de dados, levando em conta que uma vez instaladas novas estações ainda teremos um período de no mínimo cinco anos de coletas de dados para poder construir uma série histórica representativa.

Vale ressaltar que a hidrologia não é uma ciência exata, cabendo aos profissionais conseguirem extrair o máximo possível de informações dos dados e transformar estas informações em ferramentas aplicadas para gestão de recursos hídricos. Insistimos na tese de que não há o melhor modelo de interpolação universal, visto que o melhor modelo é aquele que se adeque ao local e aos dados disponíveis, garantindo assim aplicabilidade e confiabilidade. Mais importante que um modelo teórico enxuto é que este modelo possa ser aplicado a realidade local e às práticas de gestão.

Ao apresentarmos além dos valores obtidos com o método, os valores de desvios de interpolação, fornecemos uma base de dados que aumenta a confiabilidade dos modelos e garante uma margem de interpretação ao profissional que usará as informações.

Ressaltamos ainda que cada conjunto de dados possui sua própria forma de interdependência, cabendo ao pesquisador que for aplicar a metodologia, identificar a estrutura e continuidade do fenômeno ao longo do espaço para aplicar o ponderador. O trabalho do hidrólogo está em saber ser uma ponte entre teoria e prática, visto que a informação por si só não basta, ou seja, a partir dos dados e informações disponíveis de cada situação a ser estudada, precisa saber avaliar o contexto, a metodologia mais adequada e tomar a decisão que ofereça melhor resultado para resolução da questão.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO FILHO, N. A climatologia de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: mai. /2007. Apresentação.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo/RS: UNISINOS, 2010.

ARCHFIELD, S. A.; PUGLIESE, A.; CASTELLARIN, A. *et al.* Topological and canonical kriging for design flood prediction in ungauged catchments: na improvement over a traditional regional regression approach? **Hydrology Earth Syst. Sci.** N° 17, 2013, p. 1575–1588.

BAKKER, K. Water Security: Research Challenges and Opportunities. **Science**, Vol. 337, N° 6097, p. 914-915, ago, 2012. Disponível em: <[www.http://science.sciencemag.org/content/337/6097/914.full](http://science.sciencemag.org/content/337/6097/914.full)> Acesso em: 11/05/2018

BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; VARGAS, M. M. *et al.* Artificial intelligence techniques coupled with seasonality measures for hydrological regionalization of Q90 under Brazilian conditions. **Journal of Hydrology**, 541, p. 1406–1419, 2016.

BLÖSCHL, G. Predictions in ungauged basins – where do we stand? **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, 373, p. 57–60, 2016. Disponível em: <<https://www.proc-iahs.net/373/57/2016/piahs-373-57-2016.pdf>> Acesso em: 19/05/2017

BRASIL. **Constituição federal do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>.

CASSALHO, F.; BESKOW, S.; VARGAS, M. M. *et al.* Hydrological regionalization of maximum stream flows using an approach based on L-moments. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, e27, 2017. Acesso em: 18/05/2018

CASTELLARIN, A.; PERSIANO, S.; PUGLIESE, A. *et al.* Prediction of streamflow regimes over large geographical areas: interpolated flow–duration curves for the Danube region, **Hydrological Sciences Journal**, 63:6, p. 845-861, 2018.

CASTIGLIONI, S.; CASTELLARIN, A. *et al.* Smooth regional estimation of low-flow indices: physiographical space based interpolation and top-kriging. **Hydrology Earth Syst. Sci.** N° 15, 2011, p. 715 727. Acesso em: 18/05/2018

CHOUAIB, W.; ALILA, Y.; CALDWELL, P. V. Parameter transferability within homogeneous regions and comparisons with predictions from a priori parameters in the eastern United States. **Journal of Hydrology**. 560, p. 24–38, 2018. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jhydrol>.

FALKENMARK, M.; ROCKSTRÖM, J. Building Water Resilience in the Face of Global Change: From a Blue-Only to a Green-Blue Water Approach to Land-Water Management. *Journal Of Water Resources Planning And Management*, 136, 6, p. 606-610, 2010. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000118>>

FARMER, W. H. Ordinary kriging as a tool to estimate historical daily streamflow records. *Hydrology Earth Syst. Sci.* 2016.

FARMER, W. H.; KOLTUN, G. F. Geospatial tools effectively estimate nonexceedance probabilities of daily streamflow at ungauged and intermittently gauged locations in Ohio. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, p. 208–221, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581817300137?via%3Dihub>>

FIGUEIREDO, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FRANCO, A. P. B. Avaliação do desempenho de equações de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Barbára, Goiás, Brasil. *Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Vol. 3, Nº 2, 2008.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás: Produto 5: Plano Estadual de Recursos Hídricos**. 2015.

GUPTA, H. V.; NEARING, G. S. Debates—The future of hydrological sciences: A (common) path forward? Using models and data to learn: A systems theoretic perspective on the future of hydrological Science. *Water Resources Research*, 50, 6, p. 5351–5359, 2014. Disponível em <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013WR015096>>

HIDROWEB. **Séries Históricas de Estações**. V2.0.0.1. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>. Acesso em: 20/11/2018.

HSU, Nien-Sheng; HUANG, Chi-Jen. Estimation of Flow Duration Curve at Ungauged Locations in Taiwan. *J. Hydrol. Eng.*, 22(8): 05017009, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>>. Acesso em: 20/11/2018.

JAMES, L. D.; SHAFIEE-JOOD, M. Interdisciplinary information for achieving water security. *Water Security*, 2, P. 19-31, nov. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468312416300189>> Acesso em: 20/11/2018.

KROLL, C. N.; VOGEL, R. M. Regional Geohydrologic-Geomorphic Relationships for the Estimation of Low-Flow Statistics. *Water Resources Research*. Vol 28, Nº 9, September/1992, p. 2451-2458.

KUMAR, V.; REMADEVI. Kriging of Groundwater levels – a case study. *Journal of Spatial Hydrology*. Vol. 6, Nº 1, 2006.

LAAHA, G.; SKOIEN, J. O.; BLOSCHL, G. Spatial predictions on river networks: comparison of top-kriging with regional regression. **HYDROLOGICAL PROCESSES** **Hydrological Processes**. N. 28, p. 2014, p. 315–324.

LANDIM, P. M. B. 2006. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006. Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>. Acesso em: 20/11/2018.

LIU, C.; ZHANG, Z.; BALAY, J. W. Posterior assessment of reference gages for water resources management using instantaneous flow measurements. **Science of the Total Environment**, 634, p. 12–19, 2018. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/scitotenv>. Acesso em: 20/11/2018.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: Editora UEMS, 2010.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e Inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:925-933, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n5/v27n5a17.pdf>>.

NEARING, G. S.; GUPTA, H. V. The quantity and quality of information in hydrologic models. **Water Resources Research**, 51, 1, p. 524–538, 2015. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014WR015895>>

OKI, T.; KANAE, K. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. **Science**, 313, p. 1068-1072, 2006. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/313/5790/1068>>

PUGLIESE, A.; CASTELLARIN, A.; BRATH, A. Geostatistical prediction of flow–duration curves in an index-flow framework. **Hydrology Earth Syst. Sci.**, N° 18, 2014, p. 3801–3816.

PUGLIESE, A.; FARMER, W. H.; CASTELLARIN, A., *et al.* Regional flow duration curves: Geostatistical techniques versus multivariate regression. **Advances in Water Resources**, 96, p. 11–22, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170816301725>>

QAMAR, M. U.; AZMAT, M.; CHEEMA, M. J. M. *et al.* Model swapping: A comparative performance signature for the prediction of flow duration curves in ungauged basins. **Journal of Hydrology**, 541, p. 1030–1041, 2016. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jhydrol>.

SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. Vol. 8, N° 1, Jan/Mar 2003, p. 21–37.

SAUQUET, E. Mapping mean annual river discharges: Geostatistical developments for incorporating river network dependencies. **Journal of Hydrology**. N° 331, 2006, p. 300–314.

SKOIEN, J. O.; BLOSCHL, G. Spatiotemporal topological kriging of runoff time series. **Water Resources Research**. Vol. 43, 2007.

SOUZA, R. M.; SANTOS, I. Estimativa da variabilidade espacial de vazões mínimas na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, região sul-brasileira, com aplicação do modelo SWAT. **RA'E GA**, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, Nº 28, 2013, p.134-153.

SWAIN, J. B.; PATRA, K. C. Streamflow Estimation in Ungauged Catchments Using Regional Flow Duration Curve: Comparative Study. **J. Hydrol. Eng.**, 22(7): 04017010, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Regionalização Hidrológica. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Reimpressão revisada. Porto Alegre: ABRH, 2003.

WESTERBERG, I. K.; WAGENER, T.; COXON, G *et al.* Uncertainty in hydrological signatures for gauged and ungauged catchments, **Water Resour. Res.**, 52, p. 1847–1865, 2016.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos + aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.