

ANÁLISE E PLANEJAMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA ABASTECIMENTO DA POPULAÇÃO DA CIDADE DE MONTE CARMELO – MG ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA

Kairon Carlos Dornelas da Silva¹

Emiliano Silva Costa²

RESUMO

A demanda hídrica nos últimos anos vem aumentando com o crescimento da população mundial, sendo necessário planejamento e gestão dos recursos hídricos para garantir o abastecimento de água para consumo humano. Uma das propostas para um planejamento eficaz no combate à escassez é o estudo do comportamento do consumo de água aliado com o crescimento populacional, sendo possível analisar estimativas para consumo e a provável disponibilidade hídrica futura. O presente trabalho teve como objetivo realizar comparações entre as estimativas do crescimento populacional da cidade de Monte Carmelo/MG aliado ao seu consumo de água, a fim de analisar as limitações da disponibilidade hídrica por meio da previsão do consumo da população. Os procedimentos metodológicos do trabalho consistiram em coleta de dados fornecidos pelo DMAE e modelagem estatísticas para previsão de consumo de água da cidade de Monte Carmelo. Assim, verificou-se que o consumo hídrico atual da cidade é de 13.400 m³/dia e a disponibilidade hídrica é de 17.800 m³/dia. Com a realização desse trabalho concluiu-se que com base na projeção de crescimento populacional e considerando um consumo médio por habitante constante, sendo 0,2834 m³/dia, verifica-se uma projeção de demanda hídrica para abastecimento da população urbana de 15.449, 17.368, 19.288 e 21.207 m³/dia, para os anos de 2020, 2030, 2040 e 2050, respectivamente. A estimativa do crescimento populacional da cidade, modelado linearmente, aliado ao seu consumo de água atual, permitiu verificar que a capacidade hídrica instalada atualmente é suficiente para garantir o abastecimento de água até o ano de 2030.

PALAVRAS-CHAVE: Demanda hídrica, Crescimento populacional, Gestão de recursos hídricos, Modelagem matemática.

ABSTRACT

Water demand in recent years has been increasing with the growth of the world population, requiring planning and management of water resources to ensure the supply of water for human consumption. One of the proposals for effective planning in combating scarcity is the study of water consumption behavior combined with population growth, and it is possible to analyze estimates for consumption and the probable future water availability. The present work aimed to make comparisons between the estimates of population growth in the municipality of Monte Carmelo/MG combined with its water consumption, in order to analyze the limitations of water availability through the forecast of population consumption. The methodological procedures of the work consisted of data collection provided by The DMAE and statistical modeling for forecasting water consumption in the city of Monte Carmelo. Thus, it was found that the current water consumption of the city is 13,400 m³/day and the water availability is 17,800 m³/day. With the performance of this work it was concluded that based on the projection of population

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Mário Palmério - UNIFUCAMP

² Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU

growth and considering an average consumption per constant inhabitant, 0.2834 m³/day, there is a projection of water demand for supply of the urban population of 15,449, 17,368, 19,288 and 21,207 m³/day, for the years 2020, 2030, 2040 and 2050, respectively. The estimate of the city's population growth, modeled linearly, combined with its current water consumption, allowed us to verify that the water capacity currently installed is sufficient to ensure water supply by the year 2030.

KEYWORDS: Water demand, Population growth, Water Resource Management, Mathematical Modeling.

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução tecnológica e o crescimento econômico e populacional brasileiro, a partir dos meados do século XX, houve uma crescente demanda pelo uso de recursos hídricos tornando um desafio cada vez maior o atendimento de diversos usuários em regiões com uso intenso ou baixa disponibilidade hídrica. Neste sentido, em 1997, foi aprovada no Brasil a Lei n.º 9.433 que “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, regulamentando, ainda, o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal de 1988”, sendo descrito em seus fundamentos que a gestão de recursos hídricos deve ser realizada de forma que proporcione o uso múltiplo das águas e usando como unidade territorial a bacia hidrográfica (QUEIROZ, 2012).

Nesse sentido, a bacia hidrográfica pode ser definida como uma área de terreno que drena água, partículas de solo e material dissolvido para um ponto de saída comum, o enxutório, situado ao longo de um rio, riacho ou ribeirão. Pode ser considerado um sistema físico sujeito a entrada de água que geram saídas de água.

Durante muitos anos os recursos hídricos foram tutelados no ordenamento jurídico brasileiro como ilimitados, utilizados de forma predatória, conforme os interesses econômicos de cada época, devido a sua aparência de grande disponibilidade. As cidades e a população brasileira cresceram muito, o que exigiu um maior consumo de água doce. Os recursos hídricos foram incorporados pelo meio ambiente construído, o que ocasionou em grande parte das vezes sua poluição e a contaminação, prejudicando a qualidade da água potável e reduzindo o volume disponível. Entretanto, a água na Terra é praticamente a mesma há milhares de anos, e sua distribuição é irregular, bem como os seus usos são múltiplos e em grande escala (GUIMARÃES, 2007).

Outro fator que influencia, na disponibilidade dos recursos hídricos de determinado local, é o crescente número de pessoas que nascem todo ano de uma maneira não esperada pelos especialistas, o que dificulta ainda mais um planejamento a curto e médio prazo dos recursos hídricos, visando que a população está aumentando de uma maneira incomum, sem padrões.

O Brasil teve um processo de urbanização precoce e desestruturado. As cidades não se encontravam preparadas para receber, em um curto espaço de tempo, a grande demanda populacional que se deslocou do campo para as cidades devido ao êxodo rural, mecanização das lavouras, más condições de vida, entre outras causas. Entre 1960 e 1996 “a população urbana aumenta de 31 milhões para 137 milhões, ou seja, as cidades recebem 106 milhões de novos moradores no período” (BRASIL, 2001).

Esse processo de “nova colonização” trouxe com ele vários novos problemas que as cidades não estavam preparadas para receber. Dentre essas adversidades uma das mais importantes foi a crise da água, que influencia diretamente na qualidade de vida dos cidadãos, visto que o direito à água potável é um direito inegável e imprescindível a toda população.

A crise da água não se refere apenas à sua quantidade, mas também à sua qualidade. Em relação à quantidade o modelo de utilização dos recursos hídricos adotado pela população é o predatório. Usa-se e consome-se água sem consciência em todos os setores, tanto indústria quanto agricultura, pecuária, serviços e também individualmente, no consumo diário e familiar. Conseqüentemente, a sua disponibilidade é reduzida pelos mesmos fatores referidos. Assim, constata-se que as características disponibilidade e quantidade são diretamente proporcionais. Ao tempo em que se prejudica uma, atinge-se a outra e vice-versa (PINTO, 2007 apud SANTIN; CORTE, 2012).

Diante do exposto, percebe-se o quão importante é o planejamento urbano, em específico o planejamento dos recursos hídricos nas cidades, visando a sua proteção e prevenção para que não haja a falta d'água devido a problemas vindouros causados pelo excessivo aumento da população e expansão dos centros urbanos.

Nesse sentido, a realização desse trabalho justifica-se por propor uma metodologia para avaliar a disponibilidade hídrica e determinar a demanda hídrica na cidade de Monte Carmelo com base na obtenção de dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

(IBGE), Agência Nacional de Águas (ANA), e Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), visando contribuir com o planejamento dos recursos hídricos da cidade.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é a aplicação das técnicas de modelagem matemática e análise de dados para a estimativa da demanda hídrica e seu planejamento, na sub-bacia do córrego Mumbuca na cidade de Monte Carmelo-MG.

1.1.1 *Objetivos específicos*

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Analisar e avaliar a disponibilidade hídrica atual da cidade de Monte Carmelo;
- Fazer uma estimativa da demanda hídrica da cidade de Monte Carmelo para o ano de 2050.
- Planejar a disponibilidade e a demanda hídrica da cidade de Monte Carmelo, utilizando de técnicas aplicadas a hidrologia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Disponibilidade hídrica

A água é um elemento mineral, e um recurso natural limitado, onde a sua importância é essencial para a vida na Terra, e é um meio muito importante para os setores econômico e social de todas as cidades.

Porém, olhando esse elemento como um recurso hídrico podemos diferenciá-lo como sendo própria ou imprópria ao uso humano. De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, estima-se que 97,5% da água existente no planeta Terra é salgada e não é adequada ao consumo humano direto nem à irrigação de lavouras destinadas a plantações de alimentos. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois encontram-se concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios. Portanto, o uso desse bem precisa ser pensado para que não prejudique nenhum dos diferentes usos que ela tem para a vida humana (ANA, 2019).

Tabela 1 - Distribuição aproximada da água por reservatórios

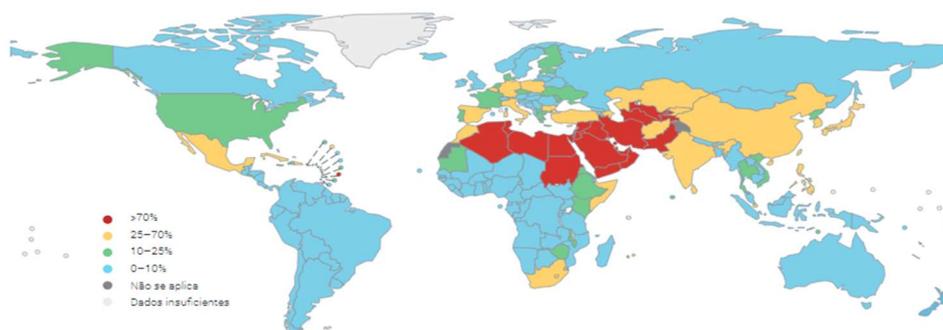
Reservatórios	Volume (milhões de km³)	Percentual (%)
Oceanos	1.350,00	97,57
Água Doce	33,61	2,43
Geleiras e calotas polares	25,00	74,38
Águas subterrâneas	8,40	24,99
Lagos e rios	0,20	0,60
Atmosfera	0,01	0,03

Fonte: Águas doce do Brasil (1999 apud BRANCO, 2006).

O estresse hídrico pode ser entendido como a indisponibilidade de água necessária para que a população satisfaça as suas necessidades, em outras palavras, estresse hídrico é a situação onde a busca por recursos hídricos é maior que o volume ofertado pelo meio ambiente (NAIME, 2019). Analisando no aspecto dos consumidores, ou seja, da população mundial que usufruem dos recursos hídricos, estima-se que mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que experimentam estresse hídrico. Estimativas recentes mostram que 31 países experimentam estresse hídrico entre 25% (que é definido como o patamar mínimo de estresse hídrico) e 70%. Outros 22 países estão acima do nível de 70% e, por isso, encontram-se em uma situação grave de estresse hídrico (UN, 2018). Algumas situações de estresse hídrico podem ser observadas na Figura 1.

Ainda, um estresse hídrico crescente devido ao aumento da população mundial, pode gerar conflitos internos e externo entre as potencias e seus usuários, podendo prejudicar na quantidade e qualidade da água, causando maiores impactos na sustentabilidade desse recurso.

Figura 1 – Nível de estresse hídrico físico



Fonte: UNESCO (2019).

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

Ainda, no relatório elaborado e representado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência, e a Cultura (UNESCO), observa-se uma ampla análise da atual disponibilidade hídrica mundial, sendo mencionado que dois bilhões de habitantes não tem água em quantidade suficiente nem para manter as suas necessidades básicas. Essa situação piora quando se trata da Ásia, onde vive 60% da população mundial com 36% do volume disponível de água, e da África, com 13% da população mundial e 24% do volume disponível de água. Já a América do Sul se encontra em uma situação privilegiada em comparação com os outros locais do mundo, pois possui 6% da população mundial e conta com 26% do volume disponível de água no mundo (UNESCO, 2019).

Quanto aos setores que utilizam os recursos hídricos, a agricultura, que inclui irrigação, pecuária e aquicultura, é de longe a maior consumidora de água, respondendo por 69% da retirada anual de água em todo o mundo. A indústria, que inclui as indústrias de geração de energia responde por 19%, e as residências particulares, por 12% (AQUASTAT, 2019). A Tabela 2 apresenta a distribuição dos países segundo os níveis potenciais de disponibilidade hídrica e de uso.

Tabela 2 - Distribuição dos países segundo os níveis potenciais de disponibilidade hídrica e de uso para o ano de 2000 (m³/hab/ano).

DISP HÍDRICA	MUITO POBRE	POBRE	REGULAR	SUFICIENTE	RICO	MUITO RICO
NIVEI S USO	<500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 - 10000	10000 - 100000	>100000
MUITO O BAIXO	Bahamas Malta Singapura	Quênia	BuquinaFaso Etiópia	Costa do Marfim Gana Nigéria Tanzânia	Angola Camarões Chade Congo Indonésia Vietnã Zaire	Gabão Papua
BAIXO	Argélia E. Árabes Gaza Iêmen Israel Jordânia Qatar Tunísia	Cabo Verde	África do Sul Haiti Líbano Marrocos Omã Polônia R. Tcheca Senegal Somália Zimbábue	Belaros China	Áustria Bangladesh Bolívia Brasil Colômbia Mali Suécia Venezuela	Guiana Francesa Islândia
100 - 500						

MODE RADO	Arábia Saudita	Líbia	Bélgica	Chipre	Ucrânia	Alemanha	Albânia (Iugoslávia)	Malásia	N. Zelândia	Rússia
						Cuba				
500 - 1000						França				
						Holanda				
						Índia				
						Itália				
						Japão				
						México				
						Peru				
						Síria				
						Sudão				
						Suíça				
						Reino Unido				
						Turquia				
ALTO						Afeganistão	Argentina			
1000 - 2000			Egito	Paquistão		Bulgária	Austrália			
						EUA	Canadá			
						Filipinas				
						Irã	Chile			
MUITO ALTO						Azerbaijão	Turquestão			Sibéria (Rússia)
>2000			EUA (baixo Colorado)			Cazaquistão	EUA (Colorado)			Suriname
						Iraque				
						Uzbequistão				

Fonte: Águas doce do Brasil (1999 apud BRANCO, 2006).

De acordo com a Tabela 2 observa-se que o Brasil se encontra em uma situação confortável de disponibilidade hídrica, no entanto, mesmo contando com uma disponibilidade hídrica bastante confortável em relação aos outros países, no Brasil ainda há uma grande desigualdade desse recurso devido à grande extensão territorial do país (TUCCI, 2001).

O Brasil apresenta a maior disponibilidade de recursos hídricos renováveis do mundo (8.233 km³/ano), porém se mostra apenas no 25º lugar com relação à disponibilidade hídrica social (43.487 m³/hab/ano), conseqüente da grande desigualdade na distribuição dos recursos hídricos territoriais, onde 57% dos recursos estão concentrados na região Norte e partes das regiões Nordeste e Centro-Oeste do país, onde a densidade populacional é bem menor comparada ao restante dos estados (BORGHETTI *et al.*, 2011).

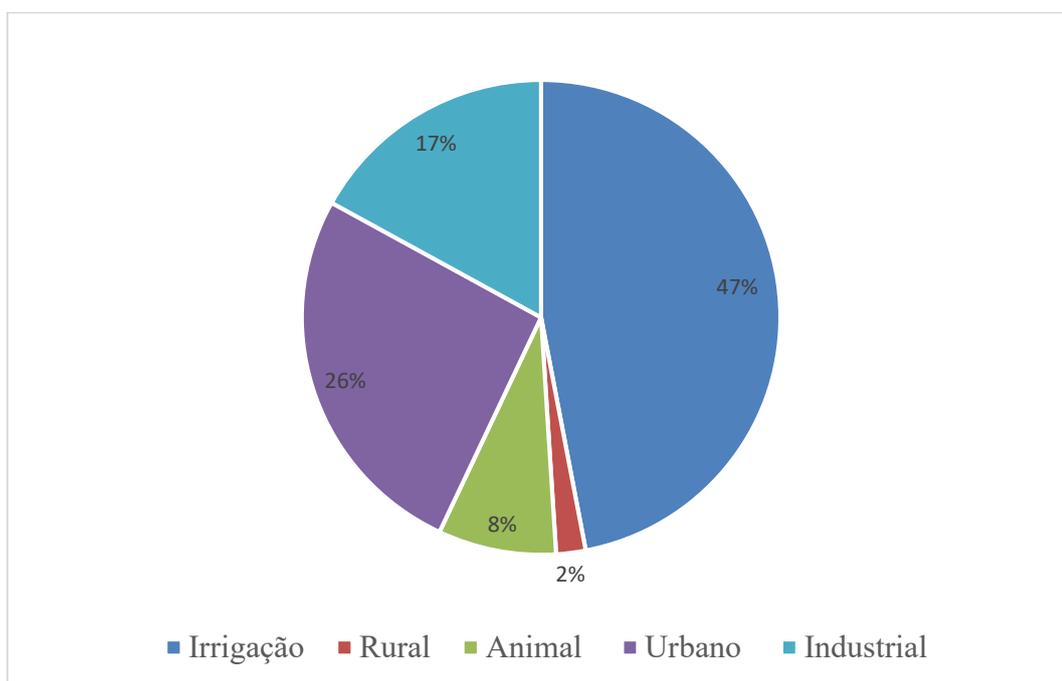
O Brasil representa 50% dos recursos da América do Sul e 11% dos recursos mundiais quando se trata de recursos hídricos superficiais, totalizando 168.870 m³/s. Contudo, a distribuição desses recursos é desigual devido à localização dos estados e o clima de cada um, destacando-

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

se, por exemplo, o excesso de água na Amazônia e a falta dela no Nordeste. A Amazônia representa 71,1% de toda a disponibilidade hídrica do Brasil, representando assim 36,6% do total gerado na América do Sul e 8% em nível mundial, decorrente disso, mostra que o restante da população brasileira vive com 28,9% da água do país, sendo que é nesse restante de população que se encontra a maior densidade populacional do país (TUCCI, 2001).

Sobre o uso consumidor desse recurso hídrico, conforme pode ser observado nas Figura 2 e 3, no Brasil, tanto na retirada quanto para o consumo a área que necessita de maior quantidade de água é a irrigação, sendo que se relacionar os valores retirados e consumidos nota-se que a irrigação e a alimentação dos animais consomem aproximadamente 80% do que extraem, pois estes usos compreendem grande parte da água aos produtos oriundos destes usos. Já os usos urbano e industrial usufruem de aproximadamente 20% do que retiram, devido ao grande volume de água que retorna as suas origens após atender estes usos, embora na maioria das vezes ela volta em condições bem piores a qual foi retirada para tal uso (QUIEROZ, 2012).

Figura 2 - Retirada total de água no Brasil em 2009

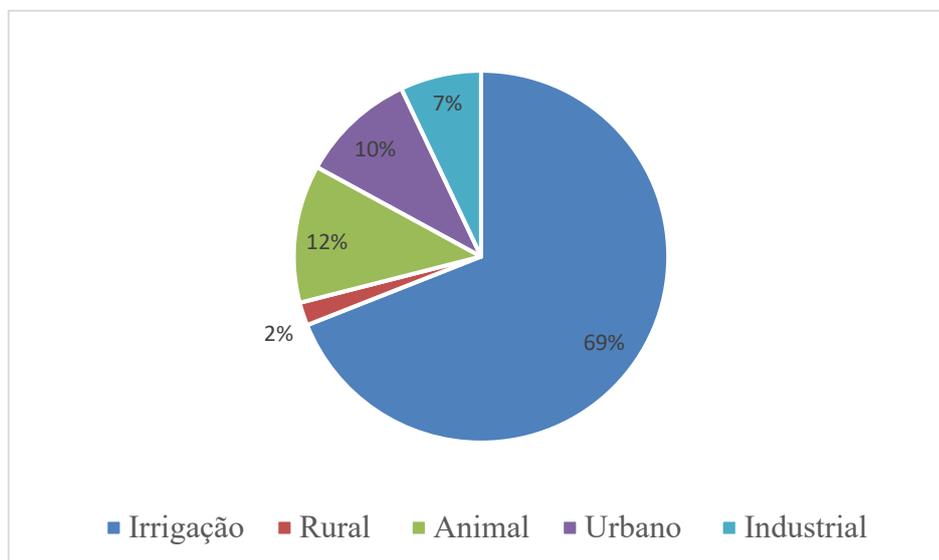


Fonte: ANA (2011).

A retirada da água no Brasil mostra-se de uma maneira extremamente consumista e perdulária, tendo em vista a diferença do que o país retira e o que o país consome é muito grande. Segundo a ANA a retirada de água no Brasil é de 1.841,5 m³/s, enquanto seu uso é de apenas 968,4 m³/s,

então essa diferença é de 855,1 m³/s, ou seja, um desperdício de um recurso que poderia ser melhor aproveitado para outros fins no Brasil.

Figura 3 – Consumo total de água no Brasil em 2009



Fonte: ANA (2011).

Os usos dos recursos hídricos têm aumentado com o desenvolvimento econômico, tanto no que se refere ao aumento da quantidade demandada para determinada utilização, quanto no que se diz aos diversos tipos de utilizações. A princípio, a água era usada principalmente para dessedentação, usos domésticos, agropecuária e irrigação em escala local. Com o desenvolvimento das civilizações, outros usos foram surgindo, o que gerou um aumento na disputa pelos recursos hídricos que muitas vezes são escassos (LANNA, 2012).

2.2 Planejamento dos recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica pode ser definida como uma porção de terras drenadas por um rio ou córrego e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou percolam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas que ficam na superfície escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que surgem através de nascentes em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, unificam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano (BARRELLA, 2001 apud TEODORO, et al. 2007).

Para Lima e Zaika (2000), tendo em vista um conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, ela é um sistema aberto que recebe energia derivada de agentes climáticos como a chuva, e perde através do deflúvio da água.

No Brasil, até meados dos anos 70, as questões relacionadas à administração dos problemas relacionados aos recursos hídricos faziam parte das políticas específicas de combate aos efeitos das secas e inundações. Ainda não existiam preocupações relacionadas às necessidades de conservação e preservação da água, principalmente da abundância relativa da mesma no país e da falsa percepção de que se tratava de um recurso renovável e, portanto, infinito (BRASIL, 2006).

A favor da gestão dos recursos hídricos, foi aceita, em 08 de janeiro de 1997, a Lei Federal nº 9.443, que criou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRD) e instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), tendo como principal meta assegurar, à atual e as futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em quantidade e qualidade para todos os cidadãos e para seus respectivos usos. Essa lei baseia-se nos seguintes fundamentos: a adoção da bacia hidrográfica com finalidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos das águas, o reconhecimento da água como um recurso finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da consideração da gestão descentralizada desse recurso (BRASIL, 1997).

Para se fazer o controle dos recursos hídricos o PNRD criou a outorga como instrumento de gestão, que são documentos concedidos a quem se tem interesse em utilizá-los. Nesse instrumento são apresentadas diretrizes que instrui como se deve ser feita a utilização da água e em quais quantidades são aceitáveis o seu uso, sem prejudicar a sua quantidade e qualidade.

No estado de Minas Gerais, quem é o responsável pelo planejamento e administração de todos os recursos direcionados a preservação da quantidade e qualidade das águas, e sendo responsável pela gestão dos recursos hídricos do Estado, é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (EUCLYDES, 2006).

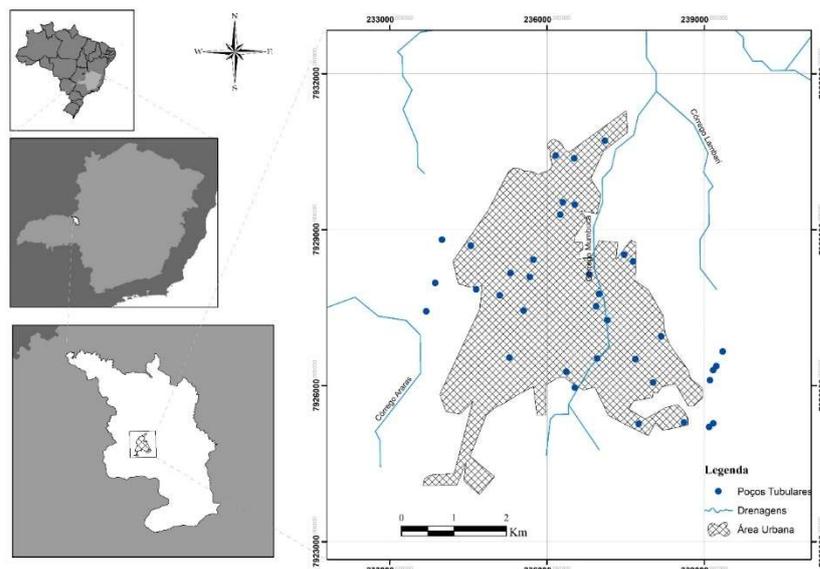
Mesmo tendo inúmeros estudos realizados em torno da outorga de direito de uso da água, ainda existem vários desafios a serem vencidos, sejam nos aspectos teóricos e de concepção ou nos aspectos práticos de operacionalização dos sistemas de outorga. Dentre os desafios, estão: a definição de um valor adequado para a vazão máxima outorgada, a falta ou até inexistência de dados fluviométricos nas bacias hidrográficas, o desconhecimento dos usuários e de suas respectivas demandas de água, o desenvolvimento de metodologias específicas para o estabelecimento dos dados adequados a serem outorgados como vazão ecológica, assim como metodologias que integrem os aspectos quantitativos e qualitativos da outorga (RIBEIRO; LANNA, 2003).

3 METODOLOGIA

3.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo desse trabalho compreende a cidade de Monte Carmelo-MG, cujo abastecimento de água para a população é proveniente da captação no córrego Mumbuca, o qual é a principal fonte hídrica da cidade. Os poços artesianos que circulam toda a cidade complementam o abastecimento de água para a população. Na Figura 4 observa-se a localização da cidade de Monte Carmelo, bem como a localização do córrego Mumbuca e dos poços artesianos.

Figura 4 - Mapa de localização da mancha urbana da cidade de Monte Carmelo-MG



Fonte: O Autor (2018).

O córrego Mumbuca abastece a maior parte da população carmelitana e está inserido na bacia hidrográfica do córrego Mumbuca, de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Bacia hidrográfica do córrego Mumbuca

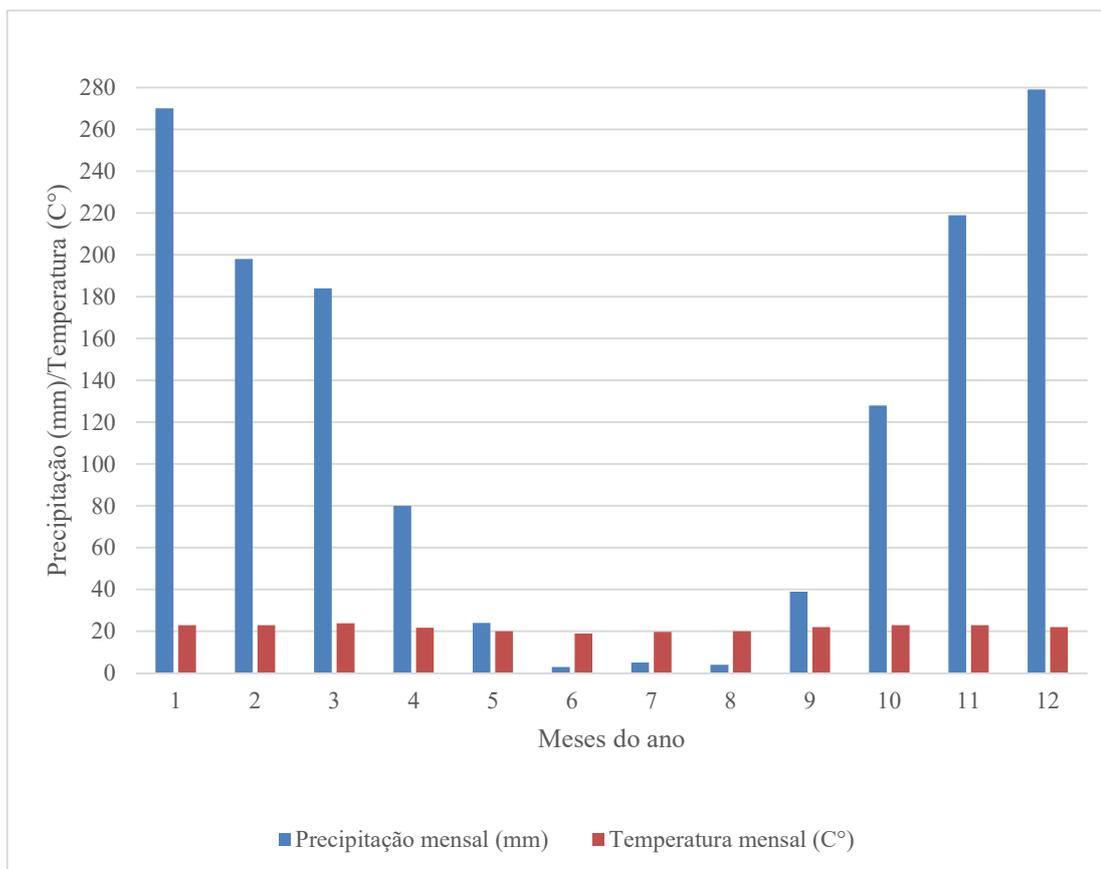


Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A bacia hidrográfica do córrego Mumbuca apresenta entre a latitude de $18^{\circ}43'32.56''S$ e longitude de $47^{\circ}29'24.03''O$, com um alcance de 19.039 m, perímetro de 35.026 m e uma área de 53,99 km².

O município de Monte Carmelo apresenta um clima tropical semiúmido com duas estações bem definidas: verão quente e úmido e inverno seco e temperaturas amenas. De acordo com os dados da Figura 6 os meses mais frios são junho e julho, indicando uma temperatura média inferior a 20°C. Entretanto, a temperatura máxima média nos meses mais quentes gira em torno dos 23°C (outubro a março), tendo em vista que a temperatura média anual de Monte Carmelo é 21,2 °C. Quanto à média das precipitações, percebe-se que o mês de julho (período seco) apresenta 6 mm de precipitação, enquanto dezembro (período chuvoso) apresenta 277 mm, sendo que a precipitação média anual em Monte Carmelo é de 1.444 mm (CLIMATE-DATE.ORG, 2019).

Figura 6 – Climograma do município de Monte Carmelo



Fonte: CLIMATE-DATA (2019).

O município de Monte Carmelo se estende por 1.343 km² e apresentava uma população de 45.772 cidadãos no último censo. Contém uma densidade demográfica de 34,1 habitantes por km² no território do município, está localizado a 890 metros acima do nível do mar e situa-se a 58 km no sentido Norte-Oeste de Patrocínio, a maior cidade nos arredores (CIDADE-BRASIL, 2019).

3.2. Levantamento e coleta de dados

Para realização deste trabalho, foi necessário o levantamento e a coleta dos seguintes dados, os quais foram fornecidos pelo DMAE:

- Córrego Mumbuca

O DMAE realiza a captação de água no córrego Mumbuca, a qual é compreendida em uma vazão máxima de 220 m³/h, cujo valor pode variar ao longo do ano.

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

- Poços

Para analisar e avaliar a disponibilidade hídrica da cidade de Monte Carmelo, foram levados em conta informações dos seguintes poços, os quais estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações dos poços de abastecimento hídrico da cidade de Monte Carmelo - MG

Poço	Nome do poço	Vazão média histórica (primeiros anos de operação)	Última vazão medida	Data de perfuração
Poço 1	Paulo Lassi	6,09 m ³ /h	2,50 m ³ /h (Jul/2011)	28/06/1976
Poço 2	Vila Dourada	22,74 m ³ /h	23,76 m ³ /h(Set/2014)	Desconhecida (meados dos anos 70)
Poço 3	Catulina	4,09 m ³ /h	5,63 m ³ /h (Set/2014)	Recuperado em 1997
Poço 4	ETA Lambari	15 m ³ /h	16,0 m ³ /h (set/2014)	30/03/1988
Poço 5	Rua G	8,90 m ³ /h	7,39 m ³ /h (set/2014)	21/05/1988
Poço 6	Santa Rita Laguna	4,2 m ³ /h	3,59 m ³ /h (set/2014)	Sem informação
Poço 7	Triângulo	12,60 m ³ /h	8,57 m ³ /h (set/2014)	1990
Poço 8	Jardim Oriente	13,66 m ³ /h	9,53 m ³ /h (set/2014)	25/02/1991
Poço 9	Morada Nova I	9,71 m ³ /h	4,97 m ³ /h (set/2014)	1991
Poço 10	Santa Rita Reservatório	7,89 m ³ /h	5,0 m ³ /h (set/2014)	1993

Poço 11	Distrito Industrial	14,50 m ³ /h	8,75 m ³ /h (set/2014)	1998
Poço 12	Lagoinha	4,6 m ³ /h	4,21 m ³ /h	1998
Poço 13	Pirapitinga I	16,74 m ³ /h	2,21 m ³ /h (set./2014)	30/08/1995
Poço 14	Pirapitinga II	12 m ³ /h	1,5 m ³ /h (set/2012)	1998
Poço 15	Captação Lambari I	22 m ³ /h	12,11m ³ /h (set/2014)	1995
Poço 16	Exposição	25 m ³ /h	7,15 m ³ /h (set/2014)	1995
Poço 17	Sergipe	4 m ³ /h	3,12 m ³ /h (maio/2009)	1998
Poço 18	Horto	44 m ³ /h	33,60 m ³ /h	23/04/1998
Poço 19	Captação Lambari II	6,71 m ³ /h	2,18 m ³ /h (set/2014)	19/02/2000
Poço 20	Xingu	5,44 m ³ /h	0,72 m ³ /h (ago/2014)	Março de 1999
Poço 21	Gonçalves	10,85 m ³ /h	9,50 m ³ /h (dez/2013)	Setembro de 1990
Poço 22	Morada Nova II	11 m ³ /h	8,57 m ³ /h(set/2014)	2009
Poço 23	Montreal (AABB)	13,67 m ³ /h	8,68 m ³ /h (set/2014)	Mai de 2010
Poço 24	Sidônio Cardoso	4,60 m ³ /h	3,86 m ³ /h (set/2014)	Mai de 2010
Poço 25	Gomes Aguiar	13,20 m ³ /h	12,80 m ³ /h (set/2014)	Década de 1970
Poço 26	Perdizes	2,0 m ³ /h	2,0 m ³ /h (Jun/2014)	Fev/2012

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

Poço 27	UFU I	3,43 m ³ /h	3,90 m ³ /h (Dez/2013)	Maio de 2012
Poço 28	Jardim Américo I	5,14 m ³ /h	4,50 m ³ /h	Out/2012
Poço 29	Francisquini	28,11 m ³ /h	26,35 m ³ /h (set/2013)	Desconhecido
Poço 30	Pizolato	27,69 m ³ /h	27,69 m ³ /h	2013
Poço 31	Frigorífico	34 m ³ /h	32 m ³ /h (abril/2013)	Desconhecido
Poço 32	Jardim Ipiranga	3,6 m ³ /h	3,60 m ³ /h (dez/2013)	Março de 2011
Poço 33	COHAB	19 m ³ /h	19,32 m ³ /h (nov/2014)	Out/2014
Poço 34	Buritis dos Gonçalves	Desconhecida	Desconhecida	Desconhecida
Poço 35	UFU II	41,60 m ³ /h	41,60 m ³ /h	Agosto de 2014
Poço 36	ETA Mumbuca	6 m ³ /h	6 m ³ /h	Maio de 2015
Poço 37	Captação Mumbuca	12 m ³ /h	12 m ³ /h	Maio de 2015
Poço 38	Cidade Jardim III	12 m ³ /h	12 m ³ /h	Julho de 2015
Poço 39	Nestlé	18 m ³ /h	6,55 m ³ /h	Década de 1970
Poço 40	Bela Suíça I	4,65 m ³ /h	4,65 m ³ /h	Desconhecido
Poço 41	Bela Suíça II	17,77 m ³ /h	14,70 m ³ /h	Maio de 2016
Poço 42	Jardim Américo II	4,59 m ³ /h	4,59 m ³ /h	Dezembro de 2015

Fonte: DMAE (2019).

De acordo com os poços apresentados na Tabela 3, nota-se que o abastecimento de água da cidade de Monte Carmelo é complementado pela captação de água subterrânea em 42 poços, os quais encontram-se espalhados pela área urbana da cidade. As informações dos referidos poços foram cedidas pelo DMAE, cujas informações permitiram a realização desse trabalho.

3.3. Análise e modelagem matemática

Com base nos dados históricos dos últimos censos do município de Monte Carmelo-MG, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e dados hídricos fornecidos pelo DMAE, realizou-se uma análise e modelagem estatística dos dados para gerar uma função matemática da estimativa do crescimento populacional em função do ano.

3.4. Estimativa do crescimento populacional e do Consumo Médio por Habitante

Para estimativa das populações futuras da cidade estudada, em um primeiro plano é necessário obter uma função que descreva o comportamento populacional da cidade em questão. Para isso, são necessários dados históricos da população até o decorrer dos dias atuais. Assim, para obter uma função que permita o cálculo da estimativa do crescimento populacional utilizou-se o software Origin 7.0, o qual, a partir dos dados populacionais no decorrer dos anos apresentará uma função que melhor se enquadra a esses dados.

Tabela 4 - Histórico populacional da cidade de Monte Carmelo/MG

Ano	População
1970	20.417
1980	26.870
1991	34.705
2000	43.899
2010	45.772

Fonte: IBGE (2019).

Para estudar o comportamento dos dados utilizou-se uma linha de tendência/regressão para definir a curva com melhor comportamento levando-se em conta o coeficiente de determinação R^2 . O coeficiente R^2 representa de acordo com Nascimento e Araújo (2009) um número de

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

bondade do ajuste de algum modelo ou equação selecionada e também uma medida que serve para indicar a precisão da previsão, tanto de novas observações quanto da média de novas observações, do exemplo de progressão linear.

Visando obter maior confiabilidade nos resultados obtidos pelo método, aplicou-se mais de uma linha de tendência gerando funções diferentes para assim escolher a que melhor se enquadrava ao estudo.

Para a estimativa do crescimento populacional e do Consumo Médio por Habitante (CMH) substituiu-se valores para determinado ano na função, estimou-se o crescimento da população até o ano de 2050. A capacidade hídrica instalada atualmente na cidade segundo o DMAE é de 17.800 m³/dia, e o consumo para uma população atual de 47.280 habitantes é de 13.400 m³/dia, sendo, portanto, possível calcular o CMH por meio da Equação 1.

$$CMH = \frac{\text{Volume consumido pela população atual}}{n^{\circ} \text{ de habitantes}} \quad (1)$$

3.5. Cálculo do Consumo Hídrico ao longo dos anos e comparação

Tendo os valores do crescimento populacional e o Consumo Médio por Habitante (CMH) calculados, foi efetuado também o cálculo do Consumo Hídrico (CH) em conformidade com o crescimento da população por meio da Equação 2.

$$CH = CMH * n^{\circ} \text{ de habitantes estimados no ano} \quad (2)$$

Por fim, os resultados dos cálculos obtidos foram comparados com a capacidade hídrica instalada atualmente na cidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Obtenção da equação para estimativa do crescimento populacional

De acordo com a elaboração dos gráficos com os dados populacionais fornecidos pelo IBGE no ano de 2010 da cidade de Monte Carmelo por meio do software Origin 7.0, obteve-se as Equações apresentadas a seguir.

a) Comportamento do gráfico tipo linear: $y = ax + b$, onde:

$$a = 677,22062 \quad b = -1,313470 \cdot 10^6 \quad R^2 = 0.98628$$

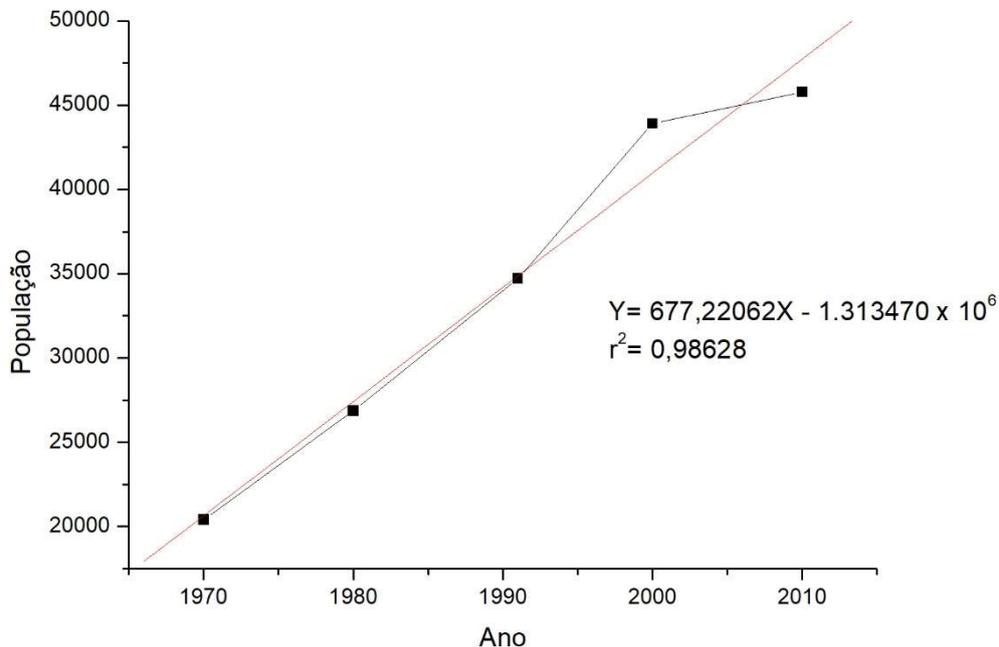
$$Y = 677,22062 \cdot X - 1,313470 \cdot 10^6 \quad (3)$$

Onde:

Y = número de habitantes

X = Ano.

Figura 7 – Função linear do crescimento populacional

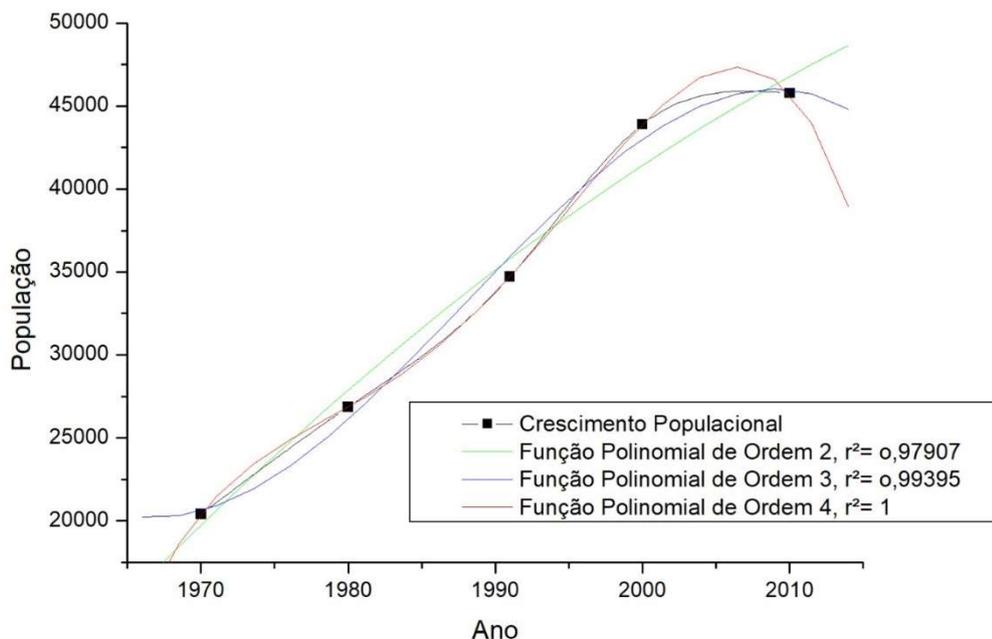


Fonte: Autor (2019).

b) Comportamento do gráfico tipo polinomial ordem 2, 3 e 4: $y = ax + bx + cx + dx + e$, onde a função que melhor se adequou foi a de ordem 4, expressa na equação 4.

$$Y = -9,30533E11 + 1,87337E9 * X - 1,4143E6 * X^2 + 474,53512 * X^3 - 0,05971 * X^4 \quad (4)$$

Figura 8 – Funções polinomiais do crescimento populacional



Fonte: Autor (2019).

De posse dos gráficos apresentados nas Figuras 7 e 8, analisando os mesmos, observa-se que a curva que melhor se ajusta aos dados é a curva polinomial de ordem 4, visto que o R^2 assumiu o valor de 1, porém quando analisa-se o comportamento dessa curva nota-se que ela tem tendência decrescente para os próximos anos. Diante disso, essa curva não se enquadra no estudo, uma vez que a cidade de Monte Carmelo está se tornando cada vez mais uma cidade universitária, e conseqüente aumento da população, então, a tendência da cidade é de crescimento. Logo, a curva que melhor se enquadrou para o estudo dos dados foi a do tipo linear, representada pela Equação 3.

$$Y = 677,22062 * 2020 - 1,313470 * 10^6 \quad (3)$$

Y = 54.515 habitantes

$$Y = 677,22062 * 2030 - 1,313470 * 10^6$$

Y = 61.287 habitantes

$$Y = 677,22062 \cdot 2040 - 1,313470 \cdot 10^6$$

$$Y = 68.060 \text{ habitantes}$$

$$Y = 677,22062 \cdot 2050 - 1,313470 \cdot 10^6$$

$$Y = 74.832 \text{ habitantes}$$

O cálculo do Consumo Médio por Habitante (CMH) dado pela Equação 1:

Obteve-se o seguinte resultado:

$$\text{CMH} = \frac{13400}{47280} = 0,2834 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Estimou-se o aumento da população a partir do ano de 2010 até os próximos 40 anos, e com base nos dados obtidos por meio dos cálculos propostos na metodologia, observou-se a estimativa do crescimento populacional da cidade pelo modelado linear, aliado ao seu consumo de água atual, permitiu verificar que a capacidade hídrica instalada atualmente é suficiente para garantir o abastecimento de água para o consumo humano até o ano de 2030. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo hídrico de população estimada ao decorrer dos anos

Ano	População Estimada (habitantes)	Consumo hídrico (m³/dia)
2018	47.280	13.400
2020	54.515	15.449
2030	61.287	17.368
2040	68.060	19.288
2050	74.832	21.207

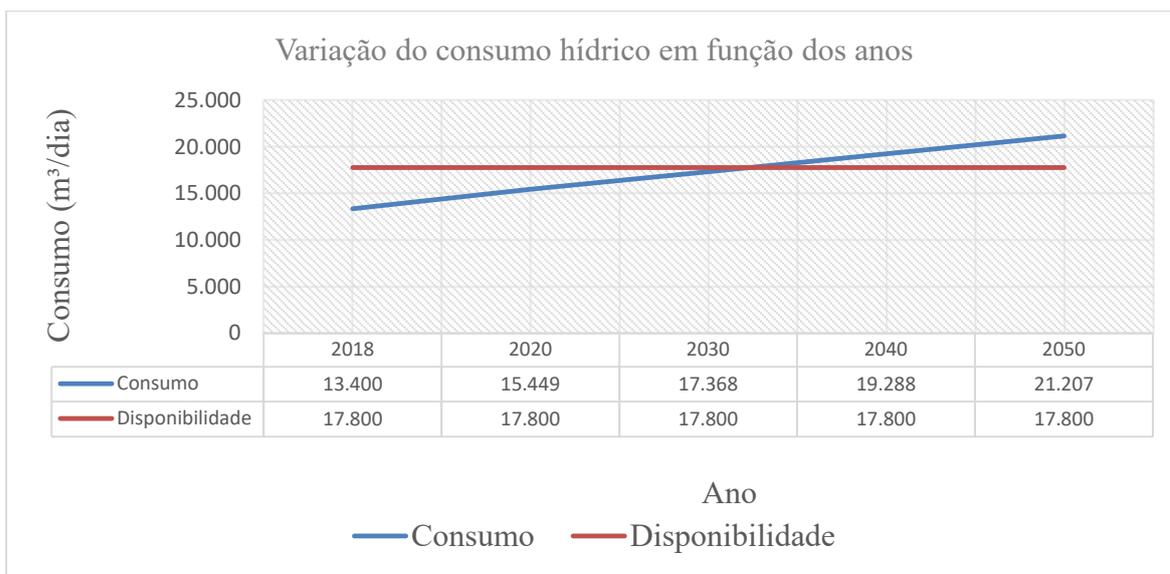
Fonte: Autor (2019).

Observa-se através da Tabela 5 que a população do ano de 2018 foi fornecida pelo DMAE, assim como o seu respectivo consumo hídrico. O consumo estimado da população no ano de 2040 seria de 19.288 m³/dia, superior a demanda de água fornecida pelo DMAE e utilizada

Análise e planejamento da disponibilidade hídrica

para se fazer o presente trabalho, que é de 17.800 m³/dia. Desse modo, levando em conta os dados acima a cidade abastecerá os seus cidadãos até o ano de 2030 sem ocorrência de estresse hídrico.

Figura 9 - Comportamento do consumo de água ao longo dos anos em relação à disponibilidade hídrica.



Fonte: Autor (2019).

De acordo com a Figura 9, se admitir a mesma disponibilidade hídrica para a cidade de Monte Carmelo ao longo dos anos, ela será suficiente apenas até o ano de 2030, visto que a disponibilidade hídrica é de 17.800 m³ e o consumo para o referido ano é de 17.368 m³. A partir do ano de 2030 a disponibilidade hídrica já não seria mais suficiente como observa-se no ano de 2040 onde a disponibilidade permanece a mesma, porém o consumo seria 19.288 m³. Com os resultados estimados a partir do ano de 2040, faz-se pensar em um replanejamento hídrico para a cidade, visando um abastecimento que atenda toda a população.

5 CONCLUSÃO

A análise e planejamento hídrico julga-se sempre necessário em qualquer lugar, principalmente nos centros urbanos. Os resultados obtidos nesse trabalho comprovaram tal fato visto que a partir do ano de 2030, os órgãos responsáveis pelo abastecimento público do município deverão propor mudanças na instalação hídrica para assegurar uma melhoria na distribuição de água e garantir o abastecimento à população de Monte Carmelo-MG.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que esteve comigo me abençoando durante toda a minha formação e há tornou possível, à minha família que sempre esteve ao meu lado me dando forças nos momentos de dificuldades, mas também nos de alegria, e a todos os meus professores que estiveram comigo nessa jornada, me ensinando e ajudando a ver o mundo com outros olhos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>. Acesso em: 02 maio 2019.

AQUASAT. **FAO's Global Information System on Water and Agricultur**. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/en/>. Acesso em: 02 maio 2019.

BRANCO, O. E. de. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: Conceitos e aplicabilidade**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-Hídrica.pdf>. Acesso em: 03 maio 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República, [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 06 jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Brasília, DF: Presidência da República, [2001]. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf?sequence=6%20Calizaya>. Acesso em: 18 mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional dos Recursos Hídricos: síntese executiva**. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2006/PNRHSintese.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; FILHO, E. F. da R. **A Integração das Águas: revelando o verdadeiro aquífero Guarani**. Curitiba: Ed. da Autora, 2011.

CLIMATE-DATE.ORG. **Clima em Monte Carmelo**. 2019. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/monte-carmelo-24982/>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CIDADE-BRASIL. **Município de Monte Carmelo**. 2019. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-monte-carmelo.html>. Acesso em: 29 out. 2019.

COSTA, E. S. **Estudo de otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba, upgrh-gd8**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14217>. Acesso em: 03 maio 2019.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. **Dados**. Monte Carmelo – MG, 2019.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FILHO, R. F. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais. Estudo de caso. **ITEM – Irrigação & Tecnologia Moderna**, Viçosa, nº 71/72, 2006. Disponível em: http://www.hidrotec.ufv.br/download/Outorga_sazonal.pdf. Acesso em: 06 jun. 2019.

GUIMARÃES, L. R. **Desafios jurídicos na proteção do sistema Aquífero Guarani**. 2007. Dissertação (Doutorado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp027267.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2019

LANNA, A. E. L. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M. J. B. **Hidrologia de mata ciliares**. 2000. Disponível em: <https://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp>. Acesso em: 03 maio 2019.

NASCIMENTO, G.; ARAÚJO, P. F. de. **Estudo acerca do coeficiente de determinação nos modelos lineares e algumas generalizações**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Estatística) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~lucambio/CE229/TCC_Patricia_e_Gisele.pdf. Acesso em: 29 out. 2019.

NAIME. R. **Stress hídrico**. 2019. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/01/08/stress-hidrico-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 28 out. 2019.

QUEIROZ, A. T. de. **Análise e avaliação da demanda e da disponibilidade hídrica nos alto e médio curso do rio Uberabinha e o abastecimento público em Uberlândia – MG**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A outorga integrada das vazões de captação e diluição. **Revista Brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, 2003. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/35/ec01281b185a3f90c2dc5379521955ca_b3e671a77f3b9c29ae1fe02112cdce53.pdf. Acesso em: 03 maio 2019.

SANTIN, J. R.; CORTE, T. D. Planejamento das cidades e principio da prevenção na gestão de recursos hídricos. **Memória em rede**, Pelotas, v. 2, n. 7, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/Memoria/article/download/9502/6292>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SILVA, K. C. D. da; COSTA, E. S.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, 2007. Disponível em: https://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf. Acesso em: 06 maio 2019.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M. C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília, DF: UNESCO, 2001. Disponível em: http://r1.ufrrj.br/lmbh/pdf/Outras%20publicacoes/LMBH_gestao_da_agua_no_Brasil.pdf. Acesso em: 03 maio 2019

TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. Unesco Publishing, 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/uploads/Relat--rio-mundial-das-Na---es-Unidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-h--dricos-2019--n--o-deixar-ningu-m-para-tr--s--fatos-e-dados---UNESCO-Digital-Library.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019