

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

GLAUCIA CÂNDIDO PORTO DE OLIVEIRA

**RESERVA REGULADORA AQUÍFERA, CONSTRUÇÃO DE
CENÁRIOS POTENCIAIS DE UTILIZAÇÃO DO SASG E POSSÍVEIS
RISCOS FUTUROS AO ABASTECIMENTO HÍDRICO EM LONDRINA-
PR**

PROJETO DE PESQUISA

LONDRINA

2019

GLAUCIA CANDIDO PORTO DE OLIVEIRA

**RESERVA REGULADORA AQUÍFERA, CONSTRUÇÃO DE
CENÁRIOS POTENCIAS DE UTILIZAÇÃO DO SASG E POSSÍVEIS
RISCOS FUTUROS AO ABASTECIMENTO HÍDRICO EM LONDRINA-
PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO
RESERVA REGULADORA AQUÍFERA, CONSTRUÇÃO DE
CENARIOS POTENCIAIS DE UTILIZAÇÃO DO SASG E POSSIVEIS
RISCOS FUTUROS AO ABASTECIMENTO HÍDRICO EM LONDRINA-
PR.

Por

Glucia Candido Porto de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 11 de dezembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo que eu tenho e por tudo que ele me permitiu realizar, agradeço por minha família que sempre esteve comigo de todas as formas possíveis, agradeço em especial ao meu irmão, que por maior que fosse a sua dor ele sempre acolheu a minha e ficou comigo até que eu pudesse me levantar. Agradeço também aos amigos que foram meu suporte todos esses anos, que torceram por mim e não me deixaram desistir em momento nenhum, esses eu guardo no coração, aos meus queridos amigos meu muito obrigada.

Agradeço aos meus professores por toda paciência dedicação e amor que sempre tiveram, agradeço ao meu orientador, Professor Mauricio, por nunca ter desistido de mim, por ter ficado e insistido que tudo ficaria bem, de todo meu coração obrigada professor.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é avaliar as potencialidades das reservas reguladoras subterrâneas do SASG no município de Londrina-PR, através da construção de cenários potenciais objetivando verificar possíveis riscos futuros ao abastecimento hídrico na região. Levantamento de dados de poços tubulares profundos que exploram o SASG, informações sobre o sistema de abastecimento público do município distribuídos na região de estudo, estimativa das reservas hídricas subterrâneas do SASG a partir do cálculo da curva de recessão e do cálculo populacional através da equação de equilíbrio populacional. Conclui-se com este trabalho que será preciso cuidado na gestão das águas, já que hoje utilizamos um total de 95,58% da reserva reguladora do município, as projeções para os próximos anos indicam um valor de 54,79% do necessário para suprir a demanda, gerando assim um déficit de abastecimento hídrico.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Serra Geral; Águas Subterrâneas; Potencial Hídrico.

ABSTRACT

The principal goal of this work is to evaluate the potentialities of the underground regulatory reserves of SASG in the Londrina city, through the construction of the potential scenarios objectifying to verify possible future risks to water supply in the region. Data collection of deep tubular wells that exploit the SASG, information on the public system of the municipalities distributed in the region os study, estimation of the underground water reserves of the SASG from the calculation of the recession curve and population calculation from the population equilibrium equation. It is concluded with this work that care will be needed in water management, since today we use a total of 95.58% of the regulatory reserve of the municipality, projections for the coming years indicate a value of 54.79% of what is needed to supply demand, thus generating a shortage of water supply.

Keywords: Aquifer System Serra Geral; Groundwater; Water Potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de água doce no Brasil.....	10
Figura 2 - O ciclo Hidrológico, os números em Km (x10 ³), indicam os fluxos de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos.....	13
Figura 3 - Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo).....	16
Figura 4 - Principais aquíferos encontrados nas bacias sedimentares.....	17
Figura 5 - Ilustração destacando recorte com a localização da região de estudo, representando ainda a extensão dos afloramentos da Formação Serra Geral no estado do Paraná.....	18
Figura 6 - Mapa geológico do município de Londrina.....	20
Figura 7 - Curva de recessão ano 1990.....	25
Figura 8 - Curva de recessão ano 2008.....	26
Figura 9 - Curva de recessão ano 2009.....	26
Figura 10 - Curva de recessão ano 2019.....	27
Figura 11 - Evolução da restituição.....	28
Figura 12 - Evolução da Reserva reguladora.....	28

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	21
Equação 2.....	21
Equação 3.....	21
Equação 4.....	21
Equação 5.....	22
Equação 6.....	22
Equação 7.....	22
Equação 8.....	22
Equação 9.....	23
Equação 10.....	23
Equação 11.....	23
Equação 12.....	24
Equação 13.....	29
Equação 14.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. OBJETIVO GERAL.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
3. JUSTIFICATIVA.....	6
4. REFERENCIAL TEORICO	7
4.1. Gestão de recursos hídricos.....	7
4.2. Ciclo hidrológico	10
4.3. Recarga subterrânea e reserva reguladora.....	12
4.4. Águas subterrâneas	13
4.5. Gestão de águas subterrâneas	15
4.5.1. Sistema aquífero serra geral	15
5. METODOLOGIA	17
5.1. Localização da área	17
5.2. Estimar e avaliar as potencialidades das reservas subterrâneas do sasg no norte do estado do Paraná.....	18
5.3. Construções de cenários potenciais de utilização do SASG avaliando possíveis riscos futuros ao abastecimento hídrico na região de estudo.....	20
6. DISCUSSÃO E RESULTADOS	22
6.1. Evolução da recessão	22
6.2. Projeção populacional	25
6.3. Demanda de água	26
6.4. Projeções futuras.....	27
7. CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Como forma de assegurar o fornecimento de água em qualidade e quantidade o bastante para satisfazer as necessidades da população, a gestão de recursos hídricos precisa ser realizada de modo sistêmico, levando em consideração as ações humanas, o meio ambiente e o domínio das bacias hidrográficas (SANTOS,2009).

Com grandes crises hídricas se tornando cada dia mais frequente no nosso país, a busca por fontes de recursos hídricos para abastecimento se tornou algo ainda mais importante que no passado. Mesmo o Brasil, sendo um dos países mais abundantes em reservas hídricas, para manter essa mesma referência de utilização para os próximos anos, é preciso a realização de estudos referentes a disponibilidade de água.

Pensando na forma que a água é distribuída no planeta, diversas referencias apresentam que, 97,4% de água salgada (oceanos e mares), 2,6% água doce, 0,95% águas subterrâneas e 0,03% dividido entre Umidade dos solos 0,005%, Lagos 0,007% e atmosfera, rios e seres vivos 0,018%.

Tratando em especial da porcentagem de águas subterrâneas, essas vem sendo cada vez mais utilizadas como forma de abastecimento, esse aumento na busca pela utilização dessas águas, gera um conjunto de efeitos, que quando considerados para um todo, são negativos.

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é a nomeação usada para se referir ao aquífero fraturado que ocorre nas rochas basálticas de origem vulcânica, pertencentes à Formação Serra Geral. A área de ocorrência do aquífero é de aproximadamente 109,00km² no estado do Paraná, e chegam a espessuras máximas de 1.347 metros no centro da Bacia Sedimentar do Paraná. ATHAYDE et al (2012).

Na Formação Serra Geral ocorre duas formas de circulação das águas subterrâneas, uma delas é o aquífero freático e a outra o sistema fraturado (como mencionado). O aquífero freático, consiste em um meio poroso que é parcialmente homogêneo, normalmente pouco espesso e com profundidade baixa do nível de saturação. Já o sistema fraturado, as águas subterrâneas ficam restritas às zonas de descontinuidades das rochas, onde se consistem principalmente em estruturas tectônicas do tipo falhamento ou fratura (CELLIGOI et al., 2001).

Mesmo que a Formação Serra Geral consista um dos aquíferos mais populares e explorados da Bacia Sedimentar do Paraná, ainda existem dúvidas em relação a sua análise com perspectivas a descrição dos reservatórios e suas formas de ocorrência dentro dos derrames Basálticos (LASTORIA,2002).

Portanto, o desenvolvimento deste trabalho justifica-se pelo aumento sobre a busca por águas subterrâneas do SASG no município de Londrina-PR, esse aumento é resultado de um conjunto de ações antrópicas, mas principalmente ao crescimento populacional que por consequência gera um aumento na demanda de água para os mais diversos setores. Esse efeito em cadeia condiz com a necessidade de aplicação de métodos que possibilitem avaliar a potencialidade hídrica SASG, focando o estudo na recarga hídrica e no seu escoamento de base, gerando assim, informações importantes sobre sua reserva reguladora e quanto dessa ainda pode ser explorado e de que forma. As informações geradas, podem servir como banco de dados para projetos futuros relacionados à exploração de água do aquífero, garantindo assim sua estabilidade para as próximas gerações.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é avaliar as potencialidades das reservas reguladoras subterrâneas do SASG no estado do Paraná, através da construção de cenários potenciais objetivando verificar possíveis riscos futuros ao abastecimento hídrico na região de Londrina-PR.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudo e identificação das bacias hidrográficas inseridas na área de estudo do presente trabalho;
- Analisar dados que representem series históricas de pluviometria e fluviometria;
- Levantar dados de poços tubulares da região de Londrina, consumo de água e população para construção dos cenários potenciais;
- Avaliar o potencial da reserva reguladora do SASG.

3. JUSTIFICATIVA

Portanto, o desenvolvimento deste trabalho justifica-se pelo aumento sobre a busca por águas subterrâneas do SASG no município de Londrina e região metropolitana, esse aumento é resultado de um conjunto de intervenções humanas, mas principalmente ao crescimento populacional que por consequência gera um aumento na produção de bens de consumo. Esse efeito em cadeia, condiz com a necessidade de aplicação de métodos que possibilitem avaliar a potencialidade hídrica do aquífero Serra Geral, focando o estudo na recarga hídrica e no seu escoamento de base, gerando assim, informações importantes sobre sua reserva reguladora e quanto dessa ainda podem ser explorados e de que forma. As informações geradas, podem servir como banco de dados para projetos futuros relacionados a exploração de água do aquífero, garantindo assim sua estabilidade para as próximas gerações.

4. REFERENCIAL TEORICO

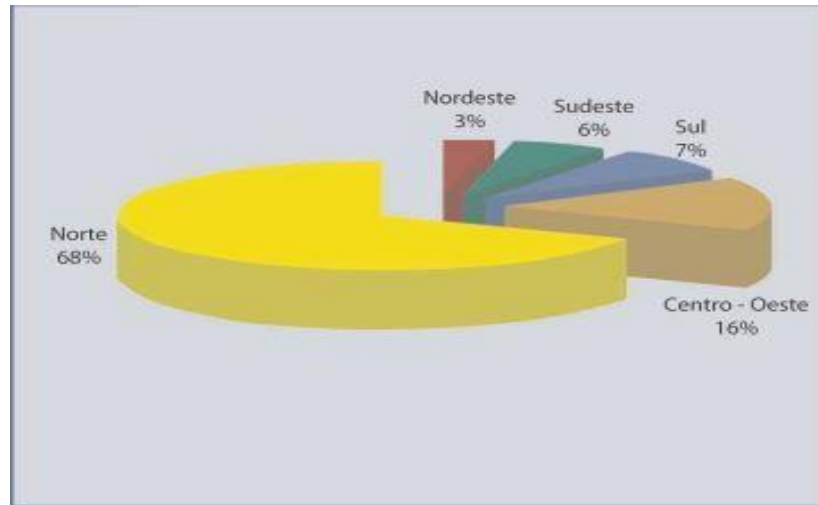
4.1. Gestão de recursos hídricos

O gerenciamento improcedente de recursos hídricos e de outros recursos naturais pode gerar sérios danos à sociedade e a economia, gerando assim uma inversão significativa das melhoras conquistadas com grande dificuldade na redução da desigualdade social, geração de empregos e desenvolvimento (UNESCO, 2015).

A água como recurso natural, se caracteriza como unidade insubstituível para diversas atividades humanas e nossa própria sobrevivência, e também para manter o equilíbrio do meio ambiente. O rápido crescimento populacional em todo mundo faz com que cresça conjuntamente o aumento a procura por água. Analisando o problema de forma global, é possível observar que existe parcela suficiente de água para atender toda nação global. Porém a disposição não homogênea da população no planeta, junto com a não homogeneidade na distribuição desse recurso hídrico provoca cenários inadequados em relação à quantidade disponível em diferentes regiões (SETTI et al., 2001).

Mesmo que o Brasil apresente um cenário privilegiado no contexto de disponibilidade de água, aproximadamente 70% da água doce situam-se na região do estado do Amazonas, que tem cerca de menos de 5% da população vivendo. A cultura do desperdício teve como desculpa por muito tempo a ideia de abundância de água no país, o que resultou na sua baixa valorização e falta de interesse para o aperfeiçoamento do seu uso. A interferência antrópica na qualidade das águas e o crescimento exacerbado da demanda em certas localidades resultam nos problemas de insuficiência hídrica no Brasil. Essa situação é decorrência dos caóticos processos de industrialização, urbanização e atividades agrícolas. (SETTI et al., 2001). Na figura 1, pode ser observada a distribuição de água doce no Brasil.

Figura 1 -Distribuição de água doce no Brasil.



Fonte: Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009(ANA)

No Brasil o primeiro sistema de gestão hídrica data de 1934, o Código de Águas de 1934, esse é considerado um marco jurídico importante para o país, porém o documento privilegiava os usos de aproveitamento das águas para hidrelétricas e era falho ao combater os problemas de poluição dos corpos hídricos, enchentes, crescimento da demanda de água nos setores industriais e agropecuários, conflitos do seu uso, secas e outros mais. Tais impasses aumentaram a partir do século XX(FONSECA; PRADO FILHO, 2006).

A partir da preocupação com as águas, era percebida a necessidade de reestruturar o antigo sistema de gestão de águas no país. Dessa forma, o sistema de gerenciamento sofreu inúmeras inovações, que levaram a Instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei 9.433, de 9 de janeiro de 1997 e da criação da Agência Nacional de Águas, a ANA, através da lei 9.984 de 17 de julho de 2000 (FONSECA; PRADO FILHO, 2006).

Favorecida com autonomia administrativa e financeira, a ANA tem vínculo com o Ministério do Meio Ambiente e tem como objetivo regularizar a utilização dos rios, para controlar a poluição e o desperdício e assegurar a disponibilidade das águas para as próximas gerações. A atuação da Agência é subordinada aos objetivos, fundamentos, instrumentos e diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos e estrutura-se com os órgãos e entidades privadas e públicas, que são integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. (ANA - Agência Nacional das Águas, 2002).

No Paraná em específico, são de competência do Instituto das Águas do Paraná os atos de autorização de uso dos recursos hídricos estaduais, que foi criado a partir da Lei 16242 de 13 de outubro de 2009. As águas subterrâneas têm especificado seu uso no VII dos Depósitos de Águas Subterrâneas.

Art. 26. Aplicam-se aos depósitos de águas subterrâneas os fundamentos, objetivos, diretrizes gerais de ação e os instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelecida por esta lei.

§ 1º. São consideradas subterrâneas as águas que corram naturalmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem.

§ 2º. Nos regulamentos e normas decorrentes desta lei serão consideradas a interconexão entre águas subterrâneas e superficiais, bem como as interações observadas no ciclo hidrológico.

Art. 27. As águas subterrâneas, em razão de sua importância estratégica, deverão estar sujeitas a programa permanente de preservação visando a possibilitar seu melhor aproveitamento.

§ 1º. A preservação e conservação dessas águas implicam em uso racional, implementação de medidas que evitem sua contaminação e promovam seu equilíbrio, em relação aos demais recursos naturais, em termos físicos, químicos e biológicos.

§ 2º. Caberá ao órgão competente do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, conforme estabelecido no Capítulo X desta lei, desenvolver proposta de política de utilização dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado do Paraná, a ser submetida à aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, bem como proceder à avaliação dos recursos hídricos do subsolo e fiscalizar sua exploração, adotando medidas preventivas quanto à sua contaminação.

Art. 28. A implantação de distritos industriais e de grandes projetos de irrigação, colonização ou de outros, que dependam da utilização de águas subterrâneas ou que sobre elas possam causar impacto relevante, deverá ser procedida de estudos hidrogeológicos para avaliação do potencial de suas reservas hídricas e para o correto dimensionamento das vazões a serem extraídas, sujeitos à prévia aprovação dos órgãos competentes, às demais disposições desta Lei e às normas que venham a ser estabelecidas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Art. 29. O Poder Público instituirá, sempre que necessário, áreas de proteção aos locais de extração de águas subterrâneas, com a finalidade de possibilitar sua preservação, conservação ou aproveitamento racional, nos termos definidos nesta lei.

§ 1º. Caberá à entidade competente do Poder Público Estadual proceder aos levantamentos necessários para a constituição de cadastro de poços tubulares profundos para captação de águas subterrâneas, inserindo-o junto ao Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos, de que trata a Seção VI do Capítulo VI desta lei.

§ 2º. A exploração de águas subterrâneas sem observância das disposições estabelecidas pelo programa permanente de preservação, referido no Artigo 27, estará sujeita às infrações e penalidades definidas pelo Capítulo XII desta lei.

O conselho Nacional de Recursos Hídricos foi concretizado a partir do Decreto Federal nº 2.612 de junho de 1998, que tem como sua Secretaria Executiva a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, para oferecer apoio financeiro, técnico, administrativo e financeiro. Os primeiros trabalhos realizados pelo CNRH se referem à normatização do sistema e também no estabelecimento de critérios gerais para a correta aplicação dos instrumentos de gestão criados pela Lei nº 9.433/97. (ANA - Agencia Nacional das Águas, 2002).

Cabe também como atribuição ao CNRH, a determinação sobre a criação de Bacias Hidrográficas, que tem uma análise minuciosa da bacia e das sub-bacias como base. Com isso, desde a resolução de 05 de abril de 2000 foi estabelecido às regras que autorizam que a sociedade aceite a verdadeira a indispensabilidade da criação dos comitês de Bacias (SANTOS, 2009).

4.2. Ciclo hidrológico

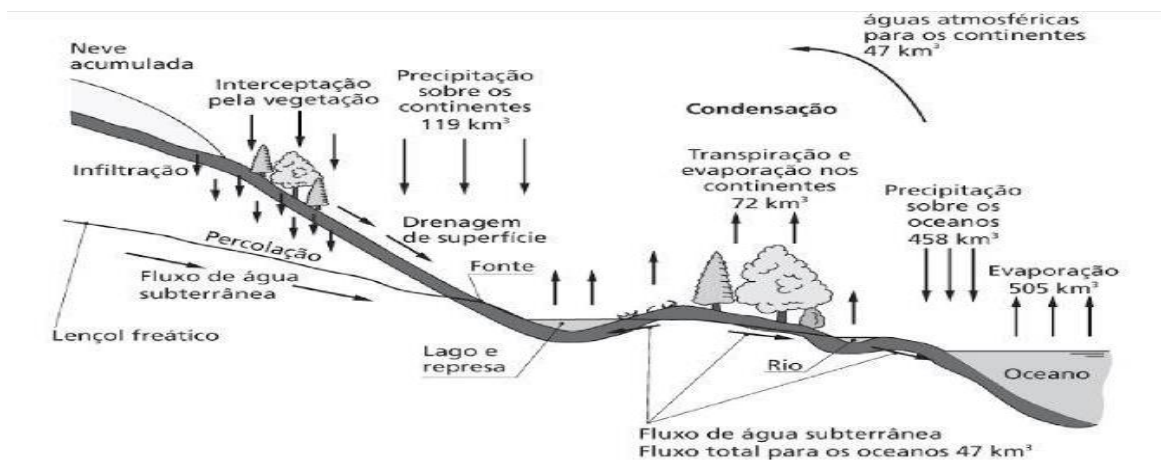
O ciclo hidrológico pode ser considerado como o princípio unificador para tudo que se refere a recursos hídricos no planeta. O ciclo é o exemplar no qual pode se representar a dependência e o movimento ininterrupto da água nas suas três diferentes fases químicas. A Água em sua totalidade no mundo está em permanente movimento cíclico entre as reservas líquidas, sólidas e gasosas. Por razões lógicas, a fase líquida é a de maior interesse, já que essa é essencial para manutenção da vida, dos seres humanos e de todos os outros organismos, vegetais e animais (TUNDISI, J.G; MATSUMURA-TUNDISI,T, 2013).

O ciclo hidrológico tem como componentes (SPEIDEL; RUEDISILI; AGNEW, 1988 apud TUNDISI, 2011).

- Precipitação: Água que chega a superfície da Terra pela atmosfera, essa pode ser líquida (chuva) ou sólida (neve e gelo).
- Evaporação: Fase em que ocorre o processo de mudança da água líquida para sua fase gasosa (vapor d'água). A evaporação acontece em sua maior parte nos oceanos, lagos, rios e represas onde também ocorre a evaporação.
- Transpiração: Meio as quais as plantas perdem o vapor d'água, que vai ser incorporado na atmosfera.
- Infiltração: Meio pelo qual a água é absorvida pelo solo.
- Percolação: Fase onde a água entra no solo e nas formações rochosas até chegar ao lençol freático.
- Drenagem: Fase onde acontece o movimento das águas nas superfícies, essa durante o processo de precipitação.

A Figura 2 indica as particularidades do ciclo Hidrológico e suas principais Fases.

Figura 2 -O ciclo Hidrológico, os números em Km ($\times 10^3$), indicam os fluxos de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos



Fonte: TUSUNDI,2013.

Como papel no balanço de energia e no fluxo do volume de água, a cobertura do solo exerce fundamental importância, já que a fração inicial da precipitação é contida pela vegetação, quanto maior for o tamanho da folha, maior será a área retida durante a precipitação. O volume que fica retido nessa área é evaporado logo que existir capacidade potencial para a evaporação. As plantas começam a perder umidade para o ambiente, quando o volume retido é totalmente

evaporado. Essa unidade do solo é removida pela planta através de suas raízes. (TUCCI; CLARKE, 1997).

4.3. Recarga subterrânea e reserva reguladora

Compreende-se por recarga subterrânea como uma porção de água que alcança um sistema aquífero, sempre com o fluxo de água descendente e independente de sua origem, chegando até o nível freático (PUC-RIO). A recarga pode acontecer por meio de ação da natureza como por infiltração de rios, canais e lagos, precipitação, fluxos inter-aquíferos, e por ações antrópicas, como a urbanização e irrigação. Tratando-se do principal fator a precipitação. A quantificação da recarga é influenciada também por fatores climáticos, e tem como limitador de suas taxas a água superficial disponível no terreno, que depende da precipitação, evapotranspiração e características como a topografia de solo e cobertura vegetal (MAZIERO E WENDLAND, 2004)

A recarga subterrânea pode ser dividida em dois tipos principais, a direta e a indireta. A recarga difusa ou direta é o montante de água que cai diretamente em retorno a precipitação e infiltra na superfície sendo acionada ao reservatório de água subterrânea, por meio de zona não saturada. Nessa forma de recarga os déficits de umidade do solo e da evapotranspiração são descontados. Já a indireta é a quantia de água que atinge o lençol freático que é proveniente de corpos de água superficiais como rios, poças, lagos, áreas de topografia rebaixada ou de algum outro aquífero contido (LUCAS, 2012)

Desse modo constata-se que existem duas categorias de recarga indireta, uma relacionada a cursos de águas subterrâneas, e a outra que resulta no que advém da recarga localizada que são as concentrações de água em superfícies retas. (PUC-RIO) A reserva reguladora aquífera pode ser compreendida como o volume hídrico que vem sendo armazenado no aquífero em conformidade com a porosidade ou do coeficiente de armazenagem do mesmo, ajudando em sua descarga para rede hidrográfica na área do afloramento do aquífero. Esta reserva pode ser considerada variável anualmente em resposta ao escoamento subterrâneo, dos exutórios e os benefícios sazonais de águas superficiais (COSTA, 1998).

Segundo Costa (1998), a importância de se conhecer a reserva de um aquífero é que dessa forma também se conhece a sua potencialidade, e, por isso é

possível se conhecer o volume hídrico que pode-se utilizar ou ser explorado em um determinado período sem causar danos ou desastres ao meio.

4.4. Águas subterrâneas

As águas subterrâneas pode ser definida como toda água que circula e reservasse abaixo da superfície terrestre, completando os poros ou vazios entre os grânulos das rochas sedimentares, ou as falhas, fraturas e fissuras das rochas compactas, e quando sujeita a duas forças, de gravidade e adesão, exerce um papel fundamental na preservação da umidade do solo, do fluxo dos lagos, rios e brejos. Ainda, as águas subterrâneas fazem parte de uma das fases do ciclo hidrológico, já que compõem uma parte da água precipitada. (BORGUETTI; BORGHETTI; ROSA,2004)

Os reservatórios, também conhecidos como aquíferos, são definidos em função das condições de armazenamento, limites em superfície e subsuperfície e circulação de águas, como unidades de investigação e exploração, em proporção regional. (CAMPOS, HERALDO, 2004)

A maneira como as rochas guardam e conduzem a água subterrânea tem influência direta na sua qualidade. Os aquíferos porosos têm como origem terrenos sedimentares, estes ocupam cerca de 4.130.000 km², isto é 48% do território nacional, Os aquíferos cárstico-fraturados e fraturados, que tem origem terrenos cristalinos, ocupam 4.380.000 km², 52% da área do país, que pode ser observado na figura X. (ZOBY, LUIS, 2008). O Brasil conta com 13 bacias hidrográficas, essas podem ser observadas na Figura 3.

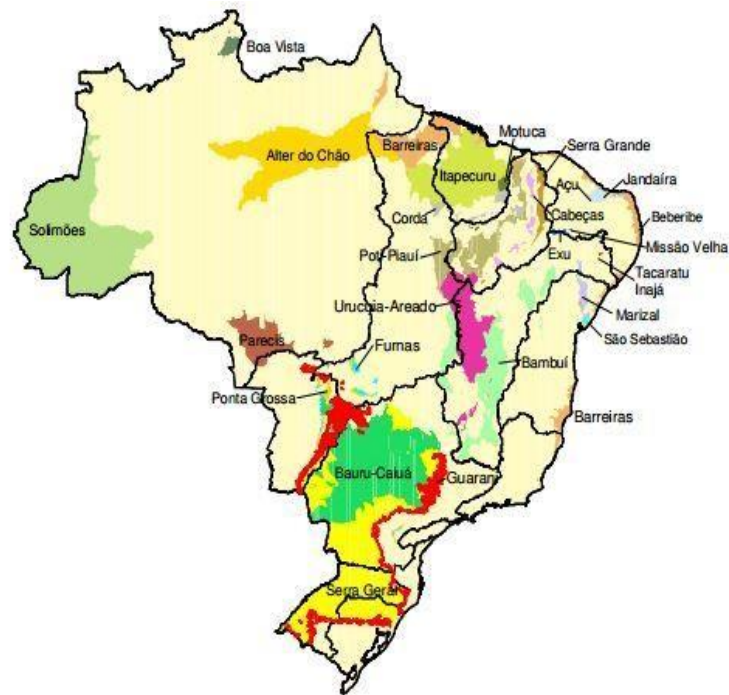
Figura 3 - Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos(amarelo)



Fonte: Petrobras

Os aquíferos mais importantes do país se encontram principalmente nas bacias sedimentares, o que pode ser visto na Figura 4. Eles apresentam vasta distribuição por todo território nacional e a por sua qualidade das águas possibilitam aproveitamentos para variados fins. Vale destacar que os aquíferos têm característica transfronteiriço, o que significa que eles atravessam a fronteira dos estados onde estão situados (ZOBY, LUIS, 2008).

Figura 4 - Principais aquíferos encontrados nas bacias sedimentares



Fonte: (Zoby, Luis,2008)

4.5. Gestão de águas subterrâneas

4.5.1. Sistema aquífero serra geral

De acordo com CELLIGOI (1993, p.20)

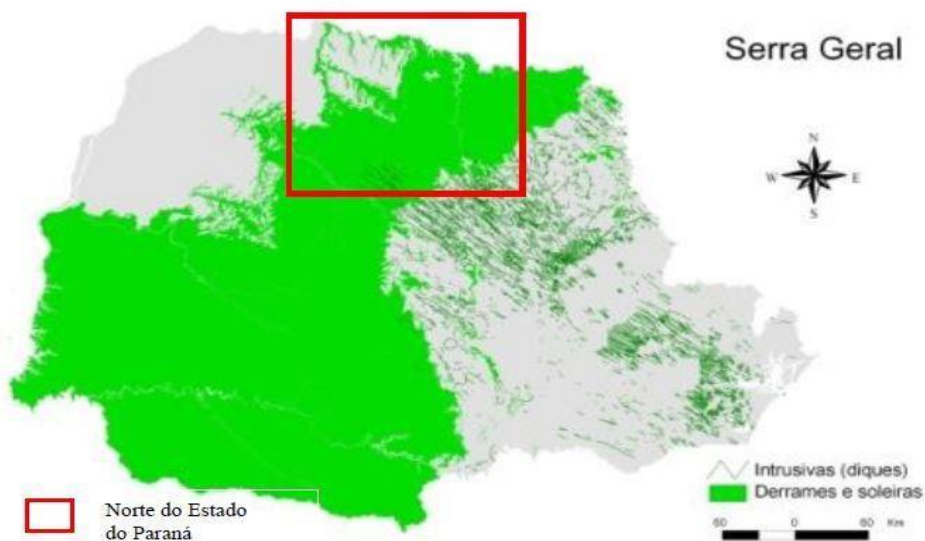
Dentro do exposto acima, a cidade de Londrina localiza-se, em sua totalidade, sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral. Tais rochas apresentam, ia de regra, textura microcristalina, estrutura maciça e vesicular e/ou amigdaloidal, bem como intenso faturamento. Esfoliações esferoidais são características marcantes dos basaltos, tanto maciços, quanto vesico-amigdaloidais, embora sejam mais raras nestes últimos. São observadas disjunções colunares em algumas localidades, geralmente nos termos maciços. Na região a espessura da unidade situa-se em torno de 850 m representados pelos sucessivos derrames.

A formação Serra Geral, é de maneira geral composta em principal por rochas vulcânicas básicas, andesitos basálticos e toleíticas acontecendo em dependência de riolitos e riolitos, de textura afanítica, coloração cinza e negra. (MILANI,1997).Possuem manto de intemperismo com baixa espessura em alguns locais e de até 30 metros nas regiões mais altas topograficamente, os topos de derrame comumente amigdaloidal, mostram grande crescimento de juntas verticais e horizontais (PASTORE e FONTES, 1998)

São comuns nos basaltos fraturas de resfriamento, chegando até a estabelecer uma certa “estratigrafia” de derrames basálticos, que podem ser vistos nas fraturas encontradas. Dessa maneira, as fraturas horizontais são prevaletentes no topo e na base, já as fraturas verticais predominam em sua parte central. Fraturamento criado pelo alivio de carga é outro tipo de fratura esperado. Com o processo de erosão corroendo as rochas e retirando o solo, o peso acumulado nas rochas mais profundas vai diminuir. A partir desse processo, as juntas que foram criadas são abertas, facilitando assim a percolação de líquidos. (LASTORIA, 2002).

Na Figura 5, representa a extensão de ocupação da Formação serra Geral noestado do Paraná.

Figura 5- Ilustração destacando recorte com a localização da região de estudo, representando ainda a extensão dos afloramentos da Formação Serra Geral no estado do Paraná.



Fonte: Adaptado de MINEROPAR, 2001.

5. METODOLOGIA

Para realização do trabalho, foi necessária uma extensa e criteriosa pesquisa de trabalhos sobre a gestão dos recursos hídricos do SASG, uma pesquisa a bases de dados textuais e seus referenciais em estudos técnico-científicos, contando também com o auxílio a internet, recolher um volume relevante de informações, que terá como função fornecer um cenário do conhecimento já existente sobre o assunto.

Um estudo sobre o método da curva de recessão se realizara, já que esse método também vai ser responsável pelo cálculo da reserva reguladora na zona de afloramento do SASG em conjunto com uma pesquisa dos dados sobre a pluviometria e a fluviometria das diversas bacias que compõem o SASG para aplicação da metodologia do presente trabalho.

5.1. Localização da área

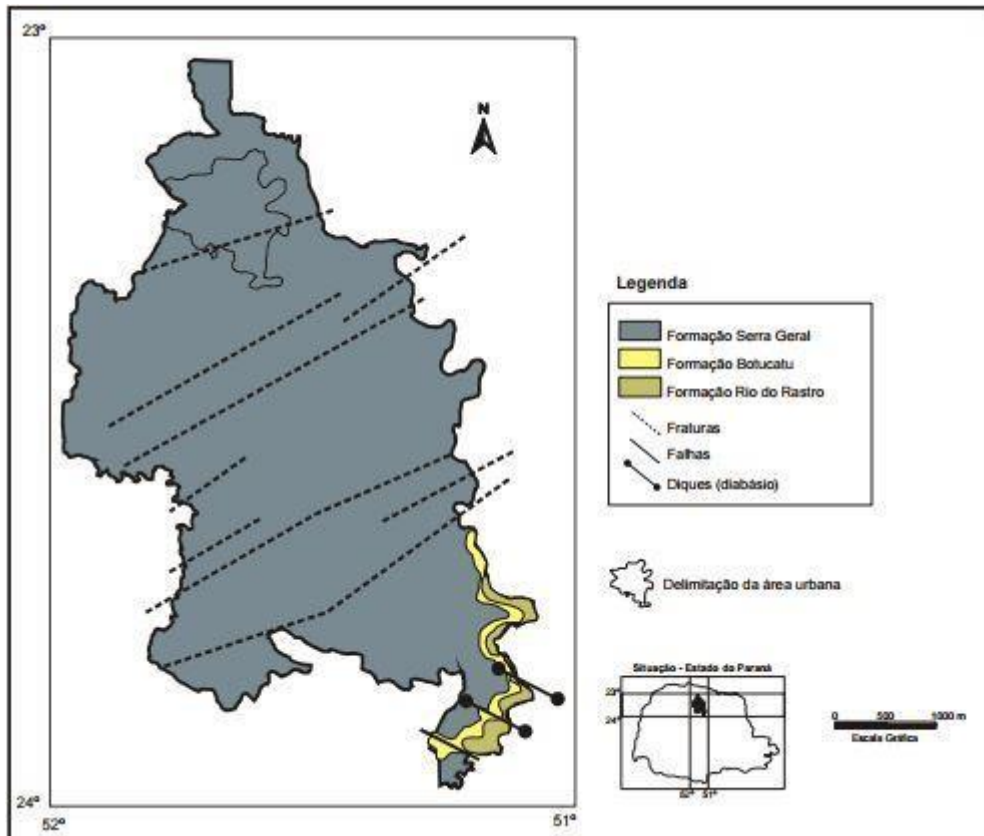
A região de estudo fica situada no Município de Londrina-PR, o município está localizado na região norte do estado, e tem como limite da sua área urbana as coordenadas geográficas $23^{\circ} 14'$ e $23^{\circ} 23'$ de latitude sul e $51^{\circ} 05'$ e $51^{\circ} 14'$ de latitude oeste. Ao Norte como limites municipais: Ibiporã, Sertãoópolis e Cambé; a oeste temos Apucarana, Marilândia do Sul e Araçongas; ao sul, Tamarana, Marilândia do Sul e Ortigueira; pelo Oeste, Assaí e São Jerônimo da Serra.

O município é cortado na sua parte central, na altura do distrito de Maravilha, pela linha imaginária do Tropicó de Capricórnio ($23^{\circ} 27'$ Latitude Sul). Londrina é dividida em oito distritos administrativos: Espírito Santo, Warta, São Luiz, Maravilha, Irerê, Guaravera, Paiquerê e Lerroville. O município é o segundo maior do estado do Paraná em relação a sua população, no último censo (2010) contava com 506701 habitantes, em 2016 uma estimativa de 553.393 habitantes, sua densidade demográfica é de 306.52 habitantes por quilometro quadrado. (Dados IBGE, 2016).

Londrina- PR se localiza na área sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, onde afloram as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e compreendem vários distritos, compreendendo assim o maior centro urbano e industrial do Norte do Paraná. A rede de drenagem é direcionada pelo rio Tibagi, que se move do Sul para

o norte recebendo os cursos da água que atravessam o município, como os ribeirões Coati, Cafezal, Lindoia e Cambé, este é representado por um trecho do Lago Igapó (SANTOS,2005)

Figura 6 -Mapa geológico do município de Londrina.



Fonte: Modificado Mineropar apud Santos, 2005.

5.2. Estimar e avaliar as potencialidades das reservas subterrâneas do sasg no norte do estado do Paraná.

O método da curva de recessão foi utilizado para estimar as potencialidades e estimativas das reservas reguladoras do SASG na região de estudo. Também foram analisadas as influências da variabilidade meteorológica na região de estudo através de séries históricas de precipitação, que permitiu o cálculo da restituição da bacia hidrográfica selecionada para o estudo. Tais dados foram obtidos em conjunto com o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e os

dados fluviométricos do Instituto das Águas do Paraná (SANTOS,2016) e representam uma série história de 30 anos de levantamentos, de 1988 a 2018.

A equação 1 (ROSA FILHO, 1993 e CELLIGOI e VIANNA, 2001), representa o método para calcular a curva de recessão da presente forma:

$$Q = Q_0 e^{-kt} \quad (1)$$

Onde:

Q_0 = representa a descarga do rio em m³/s após um período (dias);

Q_t = a descarga do rio no início da recessão em m³/s;

k = a constante de recessão.

Ao se aplicar o logaritmo e rearranjar a equação, encontra-se a constante de recessão (k) por:

$$k = -\frac{\ln(Q) - \ln(Q_0)}{\Delta t} \quad (2)$$

Onde:

Δt = intervalo de tempo decorrido desde o início até o final da recessão.

O volume de água contribuinte para a bacia para cada ano selecionado (V) em m³/ano foi encontrado por:

$$V = \frac{Q_0,86400}{k} \quad (3)$$

A restituição (h) em mm foi obtida por:

$$h = \frac{V}{A} \quad (4)$$

Onde:

A = área da bacia hidrográfica a ser selecionada.

A elaboração dos hidrogramas que representaram as curvas de recessão nas bacias hidrográficas será feita a partir da construção de planilhas com dados diários de precipitação (P) e vazão (Q), para cada ano que fizer parte de uma série

histórica, essa será obtida através de estações fluviométricas e meteorológicas, do norte do Paraná.

Para o cálculo das reservas reguladoras, utilizou-se o valor médio de restituição para a série histórica de 1989 a 2018. A área de ocorrência do SASG na área urbana da cidade de Londrina-PR de 162,35 km.

5.3. Construções de cenários potenciais de utilização do SASG avaliando possíveis riscos futuros ao abastecimento hídrico na região de estudo

Com acesso as informações do censo demográfico do IBGE (IBGE, 2016), obtiveremos informações demográficas e socioeconômicas, outra fonte oficial utilizada foi o IPARDES, para acesso a informações mais recentes da população e atividades econômicas do município de Londrina-PR inserido no SASG.

O método dos componentes demográficos, utilizado pelo IBGE para projeções populacionais será o método empregado nessa metodologia. Ele se baseia em estimativas oficiais da população do país, grandes regiões, Unidades da Federação e Municípios.

Estudos precisos e aplicados dos componentes da dinâmica demográfica, no passado e no presente, guiam a formulação das estimativas necessárias para o emprego do modelo demográfico de projeções. (Oliveira e Fernandes, 1996).

Começa com uma divisão da população de base em subdivisões ou grupos etários, o método dos componentes demográficos. São levados em consideração para cada grupo, os componentes do crescimento populacional, que promovem determinar a população de cada período de projeção. (SANTOS, 2016).

Segundo Oliveira et al. (2004), para a projeção por idade e sexo, o método dos componentes demográficos é resultado da conhecida equação compensadora ou equação de equilíbrio populacional, a qual é descrita abaixo:

$$P(t+n) = P(t) + B(t,t+n) - D(t,t+n) + I(t,t+n) - E(t,t+n) \quad (12)$$

Onde:

$P(t+n)$ = população no ano $t+n$,

$P(t)$ = população no ano t ,

$B(t, t+n)$ = nascimentos ocorridos no período $t, t+n$

$D(t, t+n)$ = óbitos ocorridos no período $t, t+n$

$I(t, t+n)$ = imigrantes no período

$E(t, t+n)$ = emigrantes no período $t, t+n$

t = momento inicial da projeção e

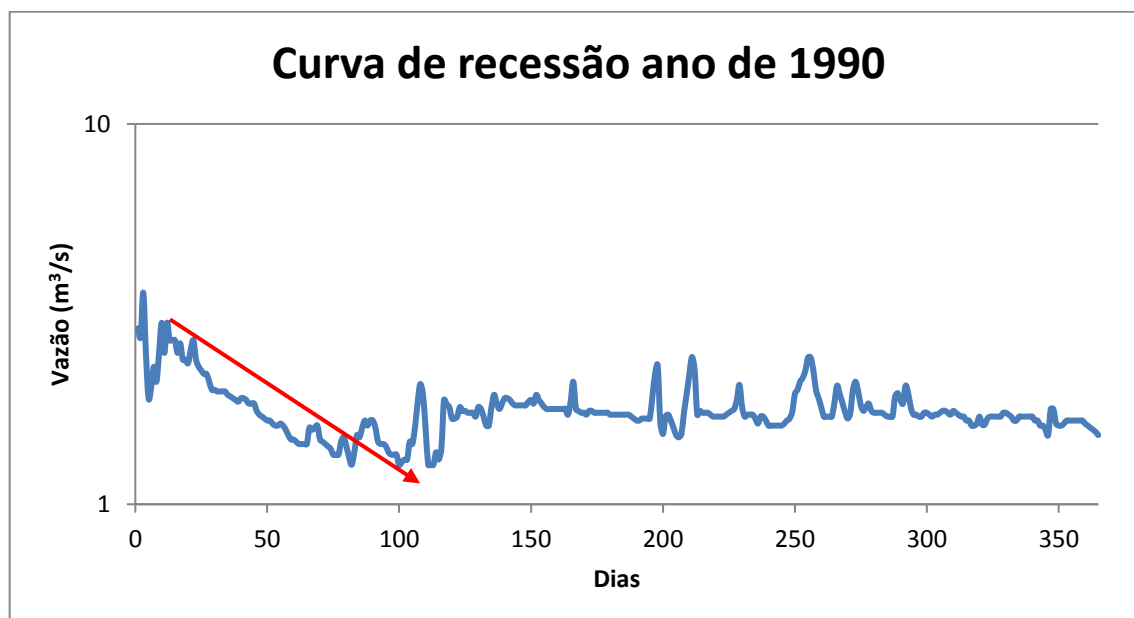
n = intervalo projetado.

6. DISCUSSÃO E RESULTADOS

6.1. Evolução da recessão

Foram calculadas as curvas de recessão para uma série histórica entre os anos de 1989 a 2018. Foi possível observar com o cálculo das curvas de recessão, que o período de seca nem sempre ocorre nos meses de estiagem comuns para a região sul do país. Na figura 7, referente ao ano de 1990 é possível observar que a curva de recessão ocorreu nos primeiros meses do ano, entre os dias dezessete e 100.

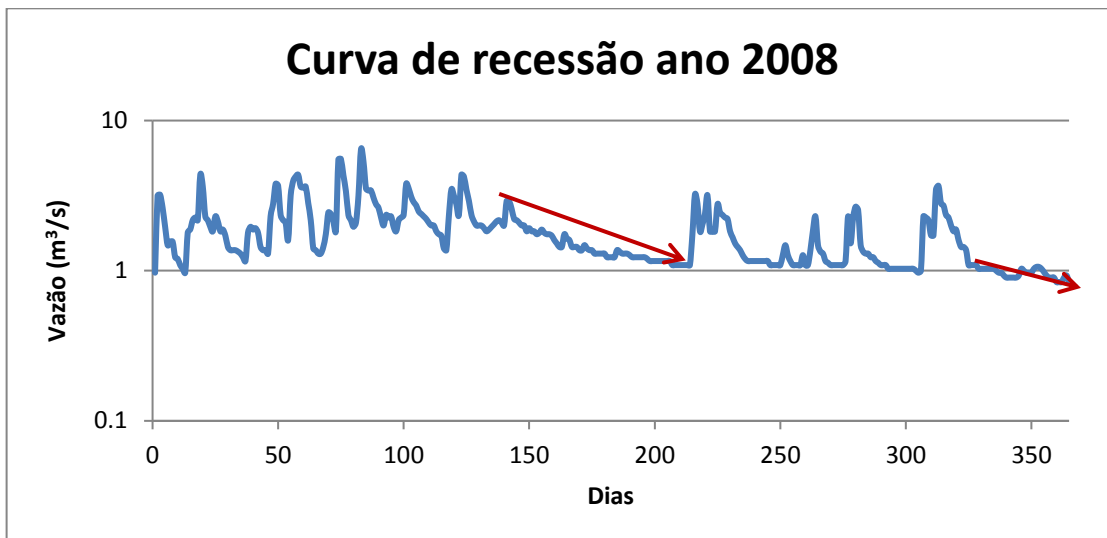
Figura 7 - Curva de recessão ano 1990



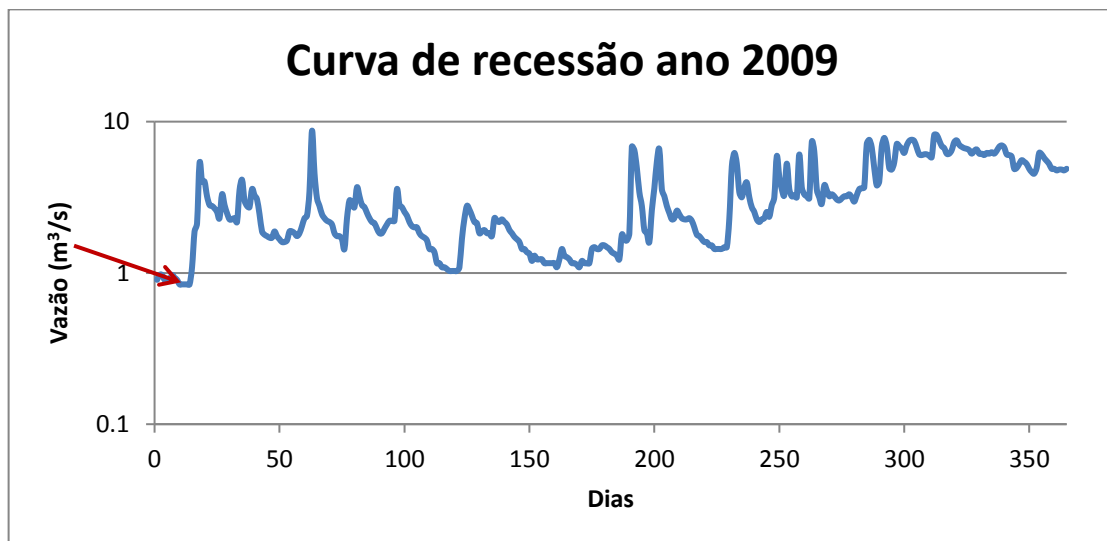
Fonte: Autoria própria.

Já na figura 8, é possível observar que a curva de recessão do ano de 2008 aconteceu em dois períodos diferentes do ano, entre os dias 147 e 214 e depois entre os dias 326 e o dia 14 do ano de 2009. Considerada da série histórica o ano com maior divergência.

A figura 10 representa um cenário típico dentro das condições climáticas médias para o município de Londrina-PR.

Figura 8 -Curva de recessão ano 2008

Fonte: Autoria própria

Figura 9 -Curva de recessão ano 2009

Fonte: Autoria própria

Figura 10 -Curva de recessão ano 2019



Fonte: Autoria própria

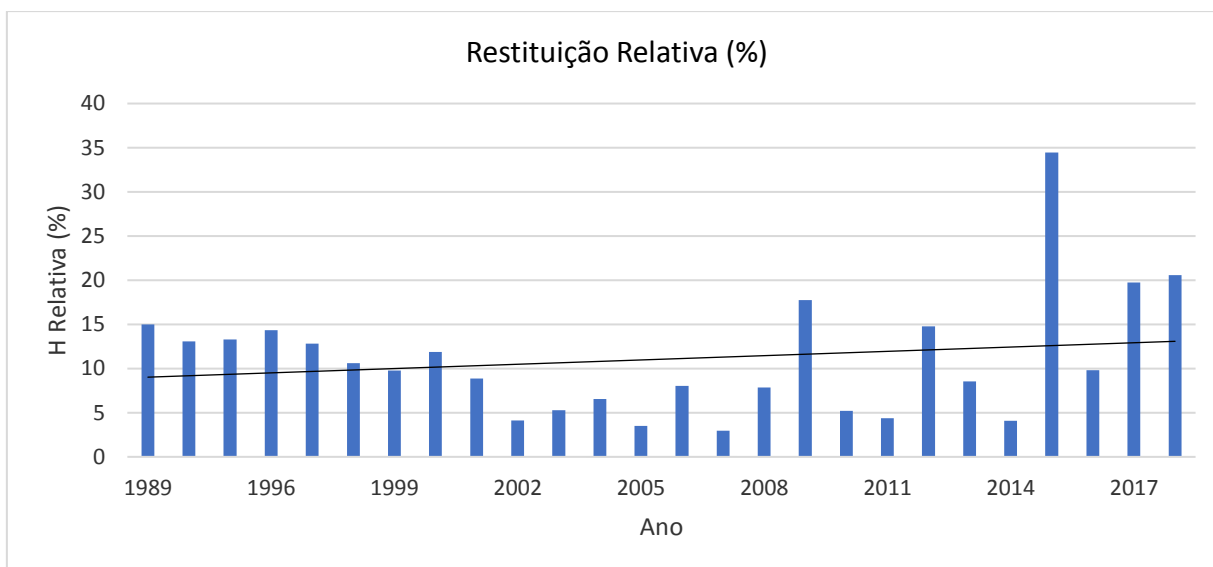
Ainda de acordo com a figura 10, a recessão começa próxima ao dia 93 e termina próxima ao dia 214. Após a realização dos cálculos das curvas de recessão da série histórica, obtiveram-se os resultados da restituição em (mm), restituição relativa e reserva reguladora, que foram calculadas utilizando o valor de 162,35 km² para área do município de Londrina. Abaixo a tabela 1, com os valores referentes a média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo da Restituição Relativa da Reserva Reguladora e do Volume.

Tabela 1 - Vazões Volumétricas

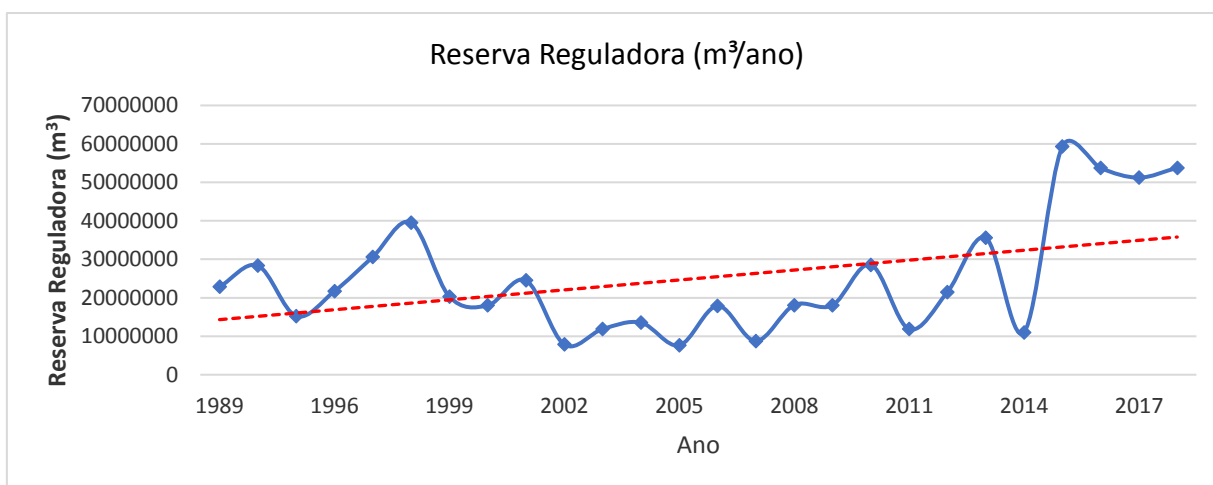
	Média	Mediana	Desvio P	Máxima	Mínima
Volume	25.057.846	20.890.950	11.942.773	59.324.372	7.645.620
h Relativa %	11	10	5	34	3
Reserva (m ³ /ano)	25.057.846	20.890.950	11.942.773	59.324.372	7.645.620

Fonte: Autoria própria

A evolução da recessão durante os anos pode ser observada nas figuras de 11 a 12, onde é possível observar que a restituição relativa do aquífero se apresenta de forma quase linear, com uma queda entre os anos de 1997 á 2008 e tem um pico próximo ao ano de 2015. A evolução da reserva reguladora, entretanto, mostra uma linha crescente.

Figura 11 - Evolução da restituição

Fonte: Autoria própria

Figura 12 - Evolução da Reserva reguladora

Fonte: Autoria própria

6.2. Projeção populacional

Embasado na metodologia descrita para a concepção dos cenários potenciais de utilização do SASG, foram conseguidas junto ao IPARDES(2016), em conjunto com a metodologia de Oliveira, Albuquerque e Lins(2004), os dados referentes a calculo de população referente aos anos de 2020,2030 e 2040 para o

município, assim sendo esses de 574.368 para 2020, 611.857 para 2030 e 628.600 para o ano de 2040.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico, a demanda média em Londrina é de 170 L/hab.dia, porém é aplicada uma margem de segurança ao se calcular projeções populacionais, utilizando assim 200 L/hab.dia.

Assim, através da utilização da equação 12 foi possível calcular a demanda de água diária para abastecimento, isto é, o que é necessário para suprir as necessidades da população em cada um dos cenários futuros. Isso pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Demanda Diária para abastecimento para as projeções populacionais.

	Habitantes	Demanda por Habitante (L/hab.dia)	
População 2020	574.368	200	114.873,6
População 2030	611.857	200	122.371,4
População 2040	628.600	200	125.720

Fonte: Autoria própria

6.3. Demanda de água

Também foi utilizada como forma de estimativas de abastecimento de água a utilização de poços subterrâneos pela SANEPAR. A produção diária desses poços representam uma extração de 14205,39 m³/dia de água do SASG. Para o ano de 2020 será necessário um montante de 100.668,21 m³/dia, para 2030 será exigido 108.166,01 m³/dia e para o ano de 2040 levando em consideração o aumento da população a demanda será de 111.514,61 m³/dia.

A partir do dado mensal de produção dos poços da SANEPAR, dividido pelo número de dias do mês, é possível obter o valor de 6526,58 m³/dia. Adotando um regime de bombeamento 8h/dia e considerando a soma das vazões dos poços do SASG de 7386,9 m³/h, obtém-se:

$$6526(m^3 / dia) * 365(dias) + 7386,9(m^3 / dia) * 8(horas) * 365(dias) = 23951950,07m^3 / ano$$

(13)

Considerando a media da reserva reguladora como 25057846,41 m³/ano, podemos calcular:

$$\frac{23951950,07*100}{25057846,41} = 95,58\% \quad (14)$$

Dessa forma, os cálculos estimativos evidenciam um cenário preocupante, já que são utilizados 95,58% da reserva reguladora do município, criando um cenário alarmante em relação aos próximos anos. Já que a parte das reservas reguladoras retornam para o fluxo de base dos rios, mantendo o equilíbrio ecológico das bacias hidrográficas.

6.4. Projeções futuras

A partir do valor da demanda de água necessária para o ano de 2020, é possível comparar com os valores da produção diária dos poços da SANEPAR mais os poços do SASG, multiplicado por 8 horas de funcionamento e obter o valor de 62947,88 m³/dia. Com o valor da demanda sendo 114.873,6 e o valor da produção 62947,88, obtém-se um valor em porcentagem de 54,79% do necessário para suprir a demanda da população, ocorrendo assim um déficit de abastecimento quando relacionado a estimativa média da reserva reguladora para os último 30 anos.

7. CONCLUSÃO

Por fim, pode-se dizer os objetivos propostos por este trabalho foram atingidos, e também que avaliar a disponibilidade hídrica de um aquífero em conjunto com obter informações sobre a quantidade de água disponível em um determinado local, é uma tarefa de relativa complexa e que necessita de muitos dados e informações às vezes não disponíveis.

Foi executável também verificar a importância do SASG, o quanto o município depende do mesmo, sendo assim considerada uma importante área de estudo para avaliar seu potencial.

Através dos resultados foi possível verificar que a precipitação tem relação direta com o fluxo base, com a restituição, e com o valor da reserva do

reguladora do aquífero. Sempre em anos de excedente hídrico os valores encontrados eram maiores, que em casos de baixo excedente.

Com os valores da projeção, foi possível concluir que será necessário cuidado na gestão das águas para analisar o quanto se tem disponível em épocas de excedente e criticidade hídrica e o que pode ser explorado sem prejudicar o aquífero e a disponibilidade de água para abastecimento e para o fluxo de base dos rios, mantendo assim sua condição ideal para o desenvolvimento sustentável e a manutenção ecológicas das bacias hidrográficas no município.

REFERÊNCIAS

Arnaldo Augusto Setti, Jorge Enoch Furquim Werneck Lima, Adriana Goretti de Miranda Chaves, Isabella de Castro Pereira. 2ª ed. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos / – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p. : il. ; 23 cm

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), 2003. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>.

ATHAYDE, G.; MÜLLER, C. V.; ROSA FILHO, E. F. Compartimentação hidroestrutural e aptidões químicas do Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. Suppl 1, p. 167-185, 2012

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; DA ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA: **Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas e outras providencias**. Processo nº02000.003671/2005-71. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562> >.

BRASIL, Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934. **Decreta o Código de Águas**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>

CAMPOS, Heraldo Cavalheiro Navajas Sampaio. Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. **Geosul**, v. 19, n. 37, p. 47-65, 2004.

CARVALHO, Daniel F. de; SILVA, Leonardo D. B. da. **Hidrologia**, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDROCap2-CH.pdf>>.

CELLIGOI, André. **Recursos hídricos subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina-PR**. 1993. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CELLIGOI, André; DUARTE, Uriel. Determinação da reserva reguladora do aquífero Caiuá no estado do Paraná utilizando as curvas de recessão do rio das Antas. **Águas Subterrâneas**, v. 23, n. 1, 2009.

CELLIGOI, André; DOS SANTOS, Maurício Moreira; VIANA, Thiago Rossi. Análise e interpretação do gradiente hidráulico do aquífero freático em uma área na região sul de Londrina-PR. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 10, n. 1, p. 79-88, 2012.

COSTA, Waldir Duarte. Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 1998.

COSTA, WALDIR D. **HIDROGEOLOGIA – Conceitos e Aplicações**. Cap.14.2 Ed. Fortaleza:CPMR,LABHID,2000.

DOS SANTOS, Maurício Moreira. Utilização da metodologia de análise da curva de recessão para o cálculo das reservas reguladoras do aquífero Caiuá na sub-bacia do rio dos Índios-pr. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.

FONSECA, Alberto de F. C.; PRADO FILHO, José F. de. Um Importante Episódio na História da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil: O Controle da Coroa Portuguesa Sobre o Uso da Água nas Minas de Ouro Coloniais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2006.

FRAGA, Carlos Gilberto. **Introdução ao zoneamento do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. 1986. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
LASTORIA, Giancarlo et al. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul (introdução). **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, 2006.

Lucas, M. C. (2012). **Influência da precipitação e do uso solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). 2012.

MANASSES, Fabio et al. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 65, 2011.
Maziero, T. A., Carneiro, P. H., & Wendland, E. C. (2004). Determinação da condutividade hidráulica de aquífero freático em área urbana do município de São Carlos, SP. **Águas Subterrâneas**. 2004.

MIDÕES, Carla; FERNANDES, Judite; COSTA, Cristina Gomes da. Água subterrânea: conhecer para proteger e preservar. **Publicação sob o projecto Nº PIV-1052, do Programa Ciência Viva**, 2001.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e a Evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto, Virginio et al. Org. **Geologia do continente sulamericano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: BECA, p. 265–279. 2004.

MUÑOZ, Héctor Raúl. **Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da lei de águas de 1997**. 2000.

OLIVEIRA, J. C.; ALBUQUERQUE, F. R. P. C.; LINS, I. B. **Estimativas das populações municipais: metodologia**. Diretoria de Pesquisas – DPE e Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS: Rio de Janeiro, 2004. 84p.

PASTORE, E. L.; FONTES, R. M. Caracterização e classificação de solos. In: OLIVEIRA, S.A. M.; BRITO, N. A. (Eds). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, p. 197-210 POLETO, Cristiano. **Gestão de Recursos Hídricos**. 2016.

SANTOS, Maurício Moreira dos. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005. xii, 130 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual

Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/92835>>.

SANTOS, Maurício Moreira dos. Gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uso atual e potencial do sistema aquífero Guarani no estado de São Paulo (SP). 2009. SETTI, Arnaldo Augusto et al. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. **Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica**, p. 328, 2001.

TUCCI, Carlos EM; CLARKE, Robin T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Recursos hídricos no século XXI**. Oficina de Textos, 2011.

UNESCO, 2017. **Água e Emprego; Resumo Executivo- Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016**.

Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244040por.pdf>>.

ZOBY, José Luiz Gomes; MATOS, Bolivar. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.

ZOBY, José Luiz Gomes. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Águas Subterrâneas**, 2008.