

Risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos em bacias de captação superficial de água

Contamination risk due to the presence of an urban solid waste disposal site within the surface water catchment basins

Roberta Vieira Nunes Pinheiro¹, German Sáenz Lobón¹ , Paulo Sergio Scalize^{1*} 

RESUMO

Modelos de vulnerabilidade são importantes ferramentas no estudo da contaminação da qualidade das águas. Esta pesquisa avaliou o risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos (DRS) em bacias de captação superficial de água (BCSs) no Estado de Goiás, Brasil. Foi realizada a identificação e caracterização das BCSs e das DRSs em um sistema de informações geográficas utilizando o *software* QGIS 2.12.0 Lyon. A sobreposição das informações permitiu a identificação das BCSs com DRSs em suas delimitações, aplicando a elas o índice de susceptibilidade (IS), composto por características intrínsecas e extrínsecas das BCSs. Pelo cálculo da vulnerabilidade média foram selecionadas as BCSs com maior risco de contaminação, bem como as DRSs presentes, as quais foram analisadas por seis parâmetros técnicos. Dessa forma, foram identificadas 204 BCSs e 228 DRSs, sendo 93% classificadas como lixões. O IS foi calculado para as 43 BCSs com presença de 69 DRSs em suas áreas, selecionando as nove mais vulneráveis com a existência de 18 DRSs. A interdependência dos parâmetros avaliados possibilitou o cálculo do risco nessas DRSs. Conclui-se que a avaliação da vulnerabilidade se mostrou eficaz e de grande relevância para a identificação das BCSs mais susceptíveis à contaminação de suas águas, podendo ser aplicada a outras áreas de estudo. Em Goiás, a análise permitiu o cálculo do risco existente em 18 DRSs, sendo 4 delas classificadas como de risco alto, devendo ser consideradas prioritárias para adequação ou remediação de suas áreas.

Palavras-chave: contaminação por lixiviado; lixão; qualidade das águas de abastecimento; vulnerabilidade ambiental.

ABSTRACT

Vulnerability models are important in the study of water contamination by different soil usage activities. This research's goal is to evaluate the contamination risk by the presence of an urban solid waste disposal site (UWDS) within the surface water catchment basins (SWCB) used in the public water supply of Goiás, Brazil. Identification and characterization of SWCBs and UWDSs have been done in a geographical identification system using the QGIS2.12.0 Lyon software. The information overlapping allowed the identification of SWCBs that had an UWDS within its limits, applying to them the Susceptibility Index (SI), composed by intrinsic and extrinsic SWCB characteristics. Calculating the average vulnerability, SWCBs, which presented the highest risk of water contamination, were selected and had their UWDSs analyzed by six technical parameters. This way, 204 SWCBs and 228 UWDSs were identified, out of which 93% were classified as irregular dumping sites. The SI was calculated for each SWCB that had the presence of UWDSs within their areas (43 SWCBs with 69 UWDSs), pointing the 9 most vulnerable ones, which had 18 UWDSs within its limits. The interdependence of the evaluated parameters allowed to calculate the risk in these UWDSs. In conclusion, the vulnerability evaluation has been proven effective and of great relevance in the identification of the SWCBs most susceptible to water contamination, and it can be applied to other studies. In Goiás, the analysis allowed the existing risk calculation for each of the 18 UWDSs, out of which 4 were found high-risk being in need of priority adequation and remediation.

Keywords: leachate contamination; dump; water supply quality; environmental vulnerability.

¹Universidade Federal de Goiás - Goiânia (GO), Brasil.

*Autor correspondente: pscalize.ufg@gmail.com

Recebido: 01/02/2017 - Aceito: 03/05/2018 - Reg. ABES: 175184

INTRODUÇÃO

A escassez hídrica, nas últimas décadas, tem gerado um risco global sistêmico, sendo as flutuações de consumo e a disponibilidade de água algumas de suas causas (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2016). Grandes usuários de água, como a agricultura, a indústria e o consumo humano, têm gerado conflitos de interesse, este último considerado prioritário (FUNASA, 2015). A disponibilidade de água deve ser garantida pela preservação da quantidade e qualidade desse recurso. Intensos usos do solo, como a disposição final de resíduos sólidos urbanos (DRS), podem influenciar na qualidade das águas, representando risco à saúde da população e ao meio ambiente (ROWE & CARDOSO, 2009).

O tratamento e a DRS constituem uma demanda crescente devido ao aumento de sua geração em todo o mundo. O gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos é um dos maiores problemas do Brasil; ou seja, verifica-se um manejo realizado sem critérios técnicos, sem previsão de processos que fomentem a redução, a reutilização e a reciclagem dos resíduos sólidos, bem como uma disposição ambientalmente adequada para os rejeitos (FUNASA, 2015). Essa situação é confirmada pela quantidade de municípios no país (46%) que ainda possuem lixões, áreas nas quais os resíduos são depositados no solo sem qualquer tratamento ou medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública (SNSA, 2017).

O Estado de Goiás segue o padrão brasileiro, possuindo estrutura insuficiente de saneamento. As políticas de controle quali-quantitativas apresentam eficácia limitada, especialmente onde a competição pelos recursos hídricos é intensa. Os principais conflitos de interesse de consumo de água no Estado são a irrigação agrícola, o setor agroindustrial e o abastecimento público, apesar da alta disponibilidade hídrica existente (SECIMA, 2015c). Quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos, a geração *per capita* do Estado é de 0,97 kg/hab./dia (SNSA, 2017), sendo 61,8% passíveis de compostagem e 17,7% de reciclagem (FADE/UFPE, 2013). No entanto, 82,8% desses resíduos ainda são encaminhados para áreas de disposição final no solo (SNSA, 2017), das quais 93,9% são classificadas como lixões, e 6,1%, como aterros sanitários (SECIMA, 2015b).

O lixiviado, gerado nessas áreas de DRS, é um dos elementos mais impactantes na contaminação do solo, bem como das águas superficiais e subterrâneas, pelo seu escoamento superficial ou pela percolação (BORTOLIN & MALAGUTTI FILHO, 2010), e tem sido estudado há mais de 30 anos (KJELDSEN & CHISTENSEN, 1984; AZIZ & MAULOOD, 2015). No entanto, apenas a identificação do problema não é o suficiente, é necessária a realização de estudos que previnam essas contaminações, auxiliando no planejamento e evitando a necessidade de remediação de áreas já degradadas.

O método de simulação e previsão de eventos por modelos matemáticos auxilia na gestão e conservação dos recursos, considerando diversos fatores de impacto, e promove um resultado mais holístico (LI *et al.*, 2012), embora tenha sido usado em apenas 8,9% dos estudos

publicados em periódicos no Brasil (RAMOS; SCALIZE; PINHEIRO, 2015). Esse método pode ser desenvolvido pelo cálculo de índices de vulnerabilidade, o que permite a classificação e avaliação quantitativa das categorias características do meio (MOHAMED; SALEH; BELAL, 2014), contribuindo para a otimização de tempo e recursos financeiros, e possibilita uma melhor gestão ambiental (SCHUELER & MAHLER, 2007).

Existem duas abordagens para o estudo da vulnerabilidade: a intrínseca, que considera apenas as características naturais da área de estudo; e a extrínseca, que considera, no cálculo, os parâmetros relativos às atividades antrópicas (LINHARES *et al.*, 2014). O índice de susceptibilidade (IS) é utilizado para o cálculo de vulnerabilidade extrínseca e foi desenvolvido por Ribeiro *et al.* (2003), tendo sido aplicado em pesquisas associadas à qualidade da água (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013; BRINDHA & ELANGO, 2015). Esse método foi utilizado nesta pesquisa para a análise da influência das disposições finais de resíduos sólidos urbanos (DRSs) nas bacias de captação superficiais (BCSs) do Estado de Goiás.

O desenvolvimento de pesquisas que utilizam ferramentas de vulnerabilidade justifica-se pela situação de irregularidade em que se encontram a maioria das DRSs brasileiras, sobretudo as goianas, e pela importância da conservação da qualidade das águas. Esses métodos de cálculo têm grande abrangência e baixo custo, o que viabiliza a gestão preventiva das bacias de captação para abastecimento público de água. Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o risco de contaminação das águas superficiais utilizadas para abastecimento público por áreas de DRS no Estado de Goiás.

METODOLOGIA

A área de estudo utilizada foi o Estado de Goiás, situado entre as latitudes 13° e 19°S e as longitudes 46° e 53°O, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil, com população de 6.434.048 habitantes, área de 340.111,78 km² e constituída por 246 municípios (IMB, 2014). O Estado abriga nascentes de importantes bacias hidrográficas brasileiras, como as do Paraná e do Tocantins-Araguaia (ANA, 2010).

O método de avaliação da influência de DRS na qualidade das águas das BCSs no Estado de Goiás foi dividido em três fases: identificação e caracterização das BCSs e das DRSs existentes; avaliação da vulnerabilidade das BCSs com presença de DRS e seleção das mais vulneráveis; e análise, por meio de parâmetros técnicos, das DRSs presentes nas BCSs mais vulneráveis.

Foram consideradas neste estudo as BCSs, uma vez que 59% dos municípios goianos são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais, média essa superior à brasileira de 47% (ANA, 2010).

Foram consideradas todas as DRSs do Estado de Goiás, visto que existe inconstância na sua situação legal; esse fato ocorre por conta da descontinuidade na operação de aterros, instalados muitas vezes

retornando à condição de lixão, e à recuperação de lixões que são posteriormente licenciados como aterros.

Identificação e caracterização das bacias de captação superficiais e das disposições finais de resíduos sólidos urbanos

Foram coletados os dados referentes às BCSs e às DRSs do Estado de Goiás, gerando uma base de dados espaciais alfanuméricos. Para a realização desse levantamento, foram utilizados como material de pesquisa o Atlas do Estado de Goiás (IMB, 2014), o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (SECIMA, 2015b) e a Nota Técnica sobre Aterros Licenciados (SECIMA, 2015a). Esses dados foram conferidos, sendo criado um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o *software* QGIS 2.12.0 Lyon. Para a identificação das BCSs e DRSs, padronizou-se o sistema de coordenadas geográficas no *datum* do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Para a caracterização das BCSs, foram levantados: nome do município; gestão dos serviços de abastecimento de água (por meio da concessionária estadual ou gestão municipal); tipo de captação (superficial, mista ou subterrânea); nome dos mananciais que possuem infraestrutura de captação; existência de acordos locais (captação em outro município); e coordenadas geográficas dos pontos de captação. Para as DRSs, as características analisadas foram: nome do município; situação legal (aterro sanitário ou lixão); existência de acordos locais (disposição em outro município); e coordenadas geográficas dos locais de disposição.

Foi realizada a revisão dos elementos geográficos (ponto de captação, locais de DRS e delimitação das áreas das BCSs) utilizando o SIG e, posteriormente, foram sobrepostas as camadas obtidas, permitindo identificar as BCSs do Estado de Goiás que possuem DRSs dentro de suas delimitações.

Avaliação da vulnerabilidade das bacias de captação superficiais com presença de disposições finais de resíduos sólidos urbanos e sua seleção sistemática

A avaliação da vulnerabilidade foi realizada com seleção de um índice, aplicação para as BCSs com presença de DRS em suas delimitações, comparação dos valores obtidos para cada uma delas e escolha das classificadas com maior vulnerabilidade no Estado de Goiás.

O IS foi selecionado por avaliar a vulnerabilidade extrínseca, sendo uma ferramenta de prevenção da contaminação das águas devido a usos associados ao solo. Foi verificado seu emprego em estudos na Europa (Albuquerque *et al.*, 2013), na África (ANANE *et al.*, 2013) e na Ásia (Brindha & Elango, 2015). Para sua aplicação, foram elaborados os mapas para cada uma das cinco categorias com a adoção dos coeficientes definidos para cada uma delas, conforme a Tabela 1.

As bases de dados cartográficos utilizadas foram extraídas de IMB (2014) e Sreedevi *et al.* (2009). Para a espacialização das informações,

foram realizados: reprojeção das camadas para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000; transformação das camadas da estrutura vetorial para matricial com um tamanho de pixel de 30 × 30 m; criação de mapa de declividade (em porcentagem), com o uso de ferramentas de análises de superfícies matriciais; cálculo do nível do lençol freático mediante interpolação de pontos, utilizando as cotas do terreno, o nível estático dos poços e a cota dos mananciais, criando um mapa matricial pelo método *Simple Kriging* (foi considerado o médio isotrópico, sem direção de fluxo preferencial); e compatibilização e reclassificação, quando necessário, das categorias aplicadas a cada característica física analisada — profundidade da zona não saturada do solo, recarga (Tabela 2), material do aquífero (Tabela 3), topografia e uso do solo (Tabela 4).

O cálculo do IS foi realizado em cada BCS identificada utilizando ferramentas de álgebra de mapas já implementadas no SIG, o que possibilitou classificá-las de acordo com a sua vulnerabilidade e com os valores obtidos, realizando uma correspondência qualitativa (Tabela 5).

Tabela 1 – Descrição das categorias e dos coeficientes do índice de susceptibilidade, utilizado na avaliação da vulnerabilidade das bacias de captação superficial com disposição final de resíduos sólidos urbanos em Goiás.

Categorias	Descrição ¹	Coefficiente ²
Profundidade da zona não saturada do solo	Profundidade do nível freático sob a superfície do terreno (numérica). Influi no tempo de trânsito.	0,186
Recarga	Recarga do aquífero (numérica). Influi no tempo de trânsito.	0,212
Material do aquífero	Litotipo e estrutura do material do aquífero (por categoria). Influi na renovação de água no aquífero.	0,259
Topografia	Inclinação do terreno (numérica para categoria). Influi na evacuação da água com contaminante por escoamento superficial e subsuperficial.	0,121
Uso do solo	Atividade na superfície do solo (numérico para categoria). Influi na poluição do solo.	0,222

¹Adaptado de Linhares *et al.* (2014); ²adaptado de Brindha e Elango (2015).

Tabela 2 – Coeficientes da recarga de acordo com a compatibilização e reclassificação das categorias de pluviometria.

Categoria de pluviometria (mm/ano)		Coeficiente	
Aller <i>et al.</i> (1987)	Secima (2015b) ¹	Aller <i>et al.</i> (1987)	Secima (2015b)
<51	Muito baixa	1	1
51-102	Baixa	3	2
102-178	Média	6	3
178-254	Alta	8	4
>254	Muito alta	9	5

¹Categorias atribuídas baseadas em informações de pluviometria e geologia.

Tabela 3 – Coeficientes do material do aquífero de acordo com a compatibilização e reclassificação das categorias das rochas.

Categoria das rochas		Coeficiente	
Aller <i>et al.</i> (1987)	IMB (2014)	Aller <i>et al.</i> (1987)	IMB (2014)
Xisto argiloso, argilito	Xisto/xisto verde	2	1-3
Rocha metamórfica e ígnea	Anfibolito	3	2-5
Rocha metamórfica e ígnea alterada/fracturada	Folhelho/quartzito/metassiltito	4	3-5
Arenito, calcário e argilito estratificado	Diamictito/arenito/siltito/arcóseo	6	5-9
Arenito maciço	Arenito	6	4-9
Calcário maciço	Calcário	6	4-9
Areia e balastro	Areia/silte/arenitos fluviais	8	4-9
Basalto	Basalto/basalto andesito/metabasalto	9	2-10
Calcário carsificado	Calcário	10	9-10

Tabela 4 – Coeficientes do uso do solo de acordo com a compatibilização de suas respectivas categorias.

Categoria de uso do solo		Coeficiente
Ribeiro <i>et al.</i> (2003)	IMB (2014)	Ribeiro <i>et al.</i> (2003)
Cursos de água	Água	0
Culturas temporárias ou áreas agrícolas heterogêneas	Agricultura	70 ¹
Zonas descobertas e com pouca vegetação	Banco de areia	0
Vegetação esclerófila	Cerrado	0
Florestas mistas	Floresta	0
Locais de extração mineral	Mineração	80
Pastagens permanentes	Pastagem	50
Sistemas agroflorestais	Reflorestamento	50
Tecido urbano descontínuo	Urbano	70

¹Média aritmética dos valores dos índices da categoria.

Tabela 5 – Classes do índice de susceptibilidade com seus respectivos intervalos de valores.

Classe	Intervalo de valores
Extremamente baixa	<30
Muito baixa	30–40
Baixa	40–50
Moderada a baixa	50–60
Moderada a alta	60–70
Elevada	70–80
Muito elevada	80–90
Extremamente vulnerável	>90

Fonte: Ribeiro *et al.* (2003).

A vulnerabilidade média de cada BCS foi calculada utilizando a média aritmética dos pixels das respectivas áreas, o que possibilitou a realização de um comparativo e a identificação das classes de vulnerabilidade predominantes no Estado de Goiás por BCS. As BCSs localizadas nas maiores classes de vulnerabilidade média foram selecionadas, como de maior risco de contaminação, possibilitando também a identificação das DRSs presentes em suas delimitações.

Aplicação de método sistemático de análise dos parâmetros técnicos das disposições finais de resíduos sólidos urbanos

Foram selecionados seis parâmetros técnicos das DRSs que podem influenciar na contaminação das águas, entre eles: tipo de gestão (i. tipo de DRS); fonte de contaminação (ii. geração de resíduos); condições de migração do lixiviado (iii. área superficial, iv. declividade e v. IS); e proximidade de recursos naturais (vi. distância da DRS até o corpo d'água) (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013; SCHUELER & MAHLER, 2007). Optou-se por não analisar nenhum parâmetro relacionado à composição dos resíduos, considerando que não existem grandes variações quanto ao tipo de resíduos recebidos em DRS, conforme sugerido por Schueler e Mahler (2007).

O tipo de DRS interfere diretamente na possibilidade de contaminação das águas (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013), visto que o aterro sanitário é uma tecnologia de disposição que prevê a minimização dos danos à saúde e dos impactos ambientais (ABNT, 1992), enquanto o lixão é uma maneira de disposição sem qualquer tratamento ou medidas de proteção. Esse parâmetro levou em consideração as condições de instalação e operação das unidades, que foram classificadas em aterro sanitário (licenciado pelo órgão ambiental competente) ou lixão e disposição irregular de resíduos sólidos (SECIMA, 2015a).

A geração de resíduos é um importante parâmetro, pois a quantidade de matéria orgânica decomposta interfere diretamente na quantidade do lixiviado gerado (FUNASA, 2015), representando, no Estado de Goiás, 62% do total dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) gerados e encaminhados para as DRSs (FADE/UFPE, 2013). Os RSUs compreendem os resíduos sólidos originários de atividades domésticas em residências urbanas, de varrição e limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010). Para o cálculo da estimativa anual de geração desses resíduos, foram utilizados dados de estimativa populacional para o ano de 2016 (IBGE, 2016) e estimativa de geração *per capita* de RSU, por faixa populacional (SECIMA, 2015b).

A área superficial da DRS afeta diretamente na quantidade de lixiviado gerado, sendo diretamente proporcional à infiltração de águas pluviais nesses locais (BARROS, 2012). Essas áreas foram medidas no QGIS utilizando a base cartográfica disponibilizada pelo Plugin OpenLayers (módulo que permite visualizar as imagens de livre difusão do Google).

A declividade é utilizada para verificar a velocidade de escoamento de lixiviado (ANANE *et al.*, 2013). O cálculo desse parâmetro foi realizado pela relação entre a distância do centroide da DRS até o ponto de captação da BCS e a diferença de cotas desses pontos.

O IS para cada uma das DRSs torna-se um importante parâmetro na valoração do risco, permitindo sua comparação de forma padronizada (ANANE *et al.*, 2013). Das características do IS, as que possuem maior variação entre as áreas de DRS são a profundidade da zona não saturada e a topografia. Após a delimitação das áreas superficiais das DRSs, foi obtido o valor de todos os valores do IS no mapa calculado para as BCSs.

A distância do centroide da DRS até o corpo d'água superficial mais próximo (dentro da própria BCS) foi calculada a partir da rede de drenagem obtida em IMB (2014), utilizando as ferramentas do QGIS. Essa distância da DRS até o corpo d'água é um quesito legal, sendo importante para proteger os cursos d'água da possibilidade de poluição hídrica (BRASIL, 1980).

Após a categorização dos seis parâmetros e sua valoração, em uma escala numérica de 1 e 7 (de acordo com o risco de contaminação existente), os valores atribuídos para cada DRS foram correlacionados conforme os resultados obtidos, por meio de Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando o *software* XLstat 2014.5.03. Esse método possibilitou a análise simultânea dos parâmetros obtidos determinando a sua interdependência, o que permitiu a discussão das informações e sua relevância diante do risco de contaminação das BCSs por DRS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação e caracterização das bacias de captação superficiais e das disposições finais de resíduos sólidos urbanos

No levantamento de dados realizado foram identificados 204 pontos de captação de abastecimento público com as suas BCSs (Figura 1), os quais estão localizados em 186 municípios (76%) dos 246 existentes no Estado de Goiás. Dos 60 restantes, 57 são abastecidos por captações subterrâneas e 3 possuem acordos intermunicipais para a utilização de água captada em outros mananciais superficiais.

Quanto às DRSs, foi identificada uma por município, com exceção de Valparaíso de Goiás, que possui acordo para DRS em outro município. Do total de 245 municípios com DRS, 230 (93,9%) têm suas áreas classificadas como lixões e 15 (6,1%) como aterro sanitário, de acordo com Nota Técnica das licenças ambientais de funcionamento vigentes (SECIMA, 2015a). Desse levantamento, 17 municípios não forneceram informações sobre a localização dos seus lixões, sendo identificadas geograficamente 228 DRSs.

A sobreposição das informações espaciais das BCSs e das DRSs permitiu a identificação de 69 áreas de DRS dentro de 43 BCSs distribuídas em todas as regiões do Estado (Figura 2), com 53% de BCSs com DRSs nas regiões oeste goiano (8), centro goiano (8) e metropolitana de Goiás (7). Essa situação demonstra que grande quantidade de municípios dessas regiões está com suas águas susceptíveis à contaminação por usos intensos do solo, como pelas DRSs.

Avaliação da vulnerabilidade das bacias de captação superficiais com presença de disposição final de resíduos sólidos urbanos

O IS foi calculado nas 43 BCSs com presença de DRS (Figura 2), verificando-se a presença de 7 das 8 classes de vulnerabilidade existentes, variando de extremamente baixa ($IS < 30$) a muito elevada ($80 < IS < 90$).

A vulnerabilidade média calculada nas 43 BCSs variou de extremamente baixa ($IS < 30$) até moderada a alta ($60 < IS < 70$). Foram identificadas as classes predominantes no Estado de Goiás, possibilitando a seleção de 9 BCSs mais vulneráveis ($IS > 50$), estando distribuídas em duas classes: moderada a baixa e moderada a alta. Isso resultou em 21% da amostra total, identificando-se 18 DRSs dentro dessas BCSs (Tabela 6).

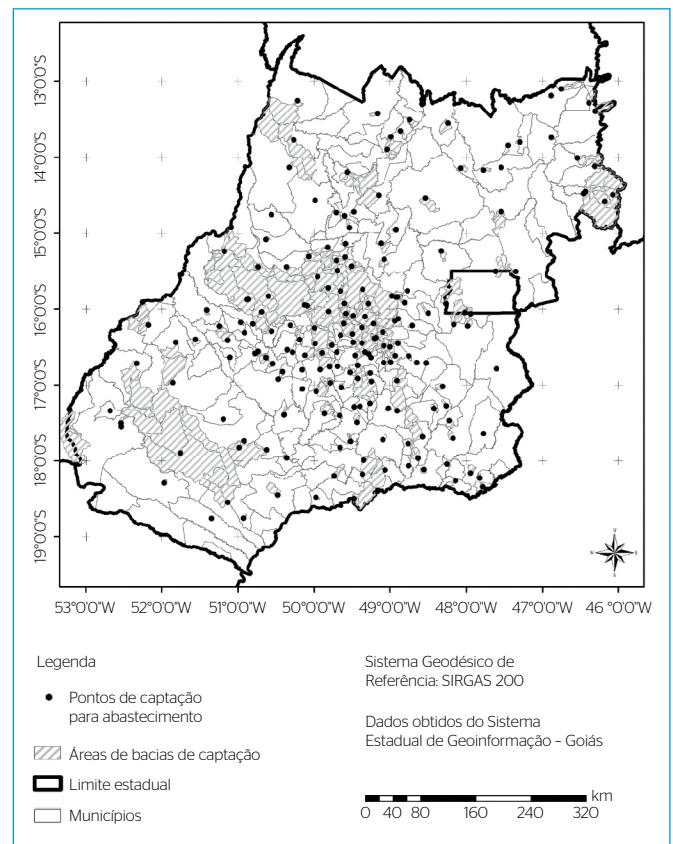


Figura 1 - Localização dos pontos de captação de água superficial para abastecimento público e a delimitação de suas bacias no Estado de Goiás.

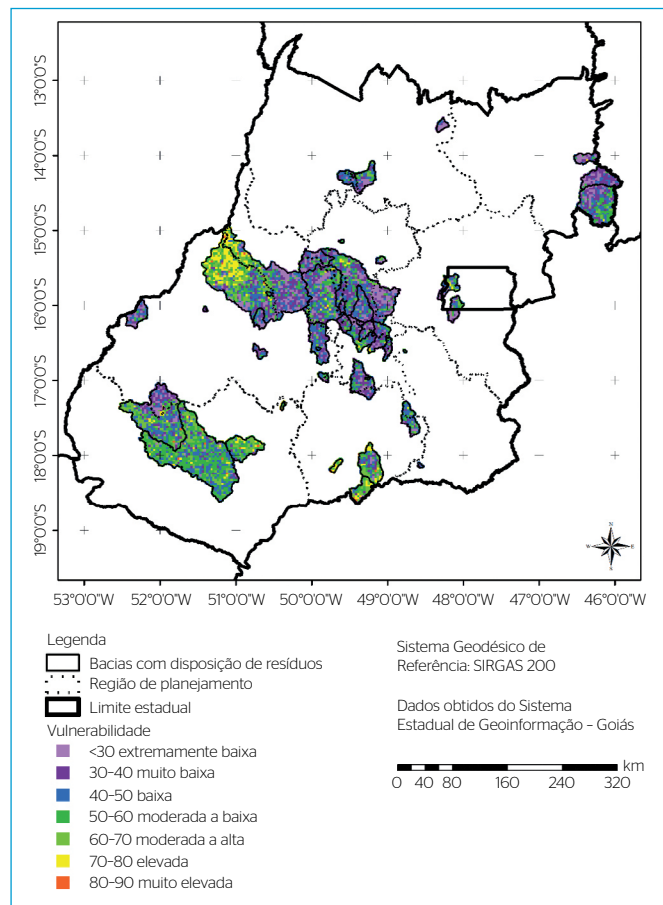


Figura 2 - Vulnerabilidade das bacias de captação superficial com presença de disposição de resíduos sólidos urbanos calculada pelo índice de susceptibilidade.

A vulnerabilidade média das duas BCSs localizadas na região oeste goiano foi classificada como de moderada a baixa ($50 < IS < 60$). As características naturais (profundidade da zona não saturada do solo, recarga e topografia) foram as que mais influenciaram para a seleção dessas BCSs, sendo que a de Aruanã destaca-se como de gestão mais crítica por ser impactada por oito DRSs pertencentes a diferentes municípios.

As regiões sudeste, sudoeste e sul Goiano possuem 7 BCS, sendo 4 classificadas como moderada a baixa ($50 < IS < 60$) e 3 como moderada a alta ($60 < IS < 70$). A alta permeabilidade do solo, proporcionada pelo material do aquífero, seguido do uso do solo intenso na região foram os fatores que mais influenciaram para a seleção dessas BCSs. As BCSs de Acreúna e Bom Jesus de Goiás se destacam como mais vulneráveis da região ($IS > 50$ em mais de 90% da área) e as BCSs de Cachoeira Dourada, Caçu, Itumbiara e Santa Helena de Goiás como de gestão mais crítica por serem impactadas por DRSs de outros municípios.

Análise dos parâmetros técnicos e cálculo do risco das disposições finais de resíduos sólidos urbanos

Foram analisados e classificados, de acordo com o risco, os seis parâmetros técnicos em cada uma das 18 DRSs (Tabela 7).

Quanto ao tipo de DRS, a condição de lixão foi a mais crítica, sendo, portanto, classificada como de maior risco de contaminação. Após verificação, por meio de visualização de imagens de satélite, que identificou alguns lixões com estruturas de instalação semelhantes às de aterro sanitário (com presença de lagoas, cercamento e trincheiras de disposição), foi inserida uma classe intermediária, chamada de “antigo aterro”,

Tabela 6 - Descrição das bacias de captação superficial, com disposição de resíduos sólidos urbanos, selecionadas como de maior vulnerabilidade média no Estado de Goiás.

Região de planejamento	Município com BCS selecionada	Vulnerabilidade média da BCS	Quantidade da BCS com $IS > 50$ (%)	Município com DRS dentro da BCS selecionada
1. Oeste goiano	1.1. Aruanã	50,7	52,8	1.1. Britânia 1.1.2. Buriti de Goiás 1.1.3. Goiás 1.1.4. Itapirapuã 1.1.5. Jussara 1.1.6. Matrinchã 1.1.7. Novo Brasil 1.1.8. Santa Fé de Goiás
	1.2. Itapirapuã ¹	55,1	28,6	1.2.1. Itapirapuã
2. Sudeste goiano	2.1. Leopoldo de Bulhões	50,2	63,6	2.1.1. Leopoldo de Bulhões
	3.1. Acreúna	68,9	100,0	3.1.1. Acreúna
3. Sudoeste goiano	3.2. Caçu	51,1	57,4	3.2.1. Aparecida do Rio Doce 3.2.2. Jataí 3.2.3. Perolândia
	3.3. Santa Helena de Goiás	57,7	80,6	3.3.1. Rio Verde
	4.1. Bom Jesus de Goiás	65,9	97,6	4.1.1. Bom Jesus de Goiás
4. Sul goiano	4.2. Cachoeira Dourada	60,8	83,1	4.2.1. Cachoeira Dourada 4.2.2. Itumbiara
	4.3. Itumbiara	52,7	61,2	4.3.1. Buriti Alegre

¹A BCS de Itapirapuã encontra-se na BCS do município de Aruanã; BCS: bacia de captação superficial.

com valoração menor que o lixão. Essas informações foram conferidas e comprovadas, pela existência de processos de licenciamento, junto ao órgão ambiental estadual (SECIMA), confirmando a realidade do Estado de Goiás de transformação de aterros sanitários em lixões por falta de operação adequada, como nas DRSs dos municípios de Buriti de Goiás e Rio Verde. Essa também é a realidade do Distrito Federal, que possuía um aterro controlado (DRS do Jóquei) em 2013, sendo classificado como lixão em 2015, mais conhecido como Lixão da Estrutural (SNSA, 2017). O Estado de Santa Catarina também possui uma DRS que, em 2005, era classificada como aterro sanitário (DRS de Xaxim), mas que já apresentava características de lixão, com condições precárias de estrutura e falta de cercamento (FRANÇA & RUARO, 2009).

Verificou-se que a relação entre população municipal e sua geração anual de RSU não é constante, visto que há ligação direta entre o aumento da geração *per capita* e o porte do município (0,46 a 0,80 kg/hab./dia). As relações obtidas foram 3:1 (212.237 hab.) para 1 município, 4:1 (101.544 a 97.077 hab.) para 2 municípios, 5:1 (24.269 a 8.369 hab.) para 6 municípios e 6:1 (7.758 a 2.514 hab.) para 9 municípios. O estudo de França e Ruaro (2009) resultou em maiores relações para os 14 municípios estudados (5:1 a 35:1), o que demonstra menor geração *per capita* de RSU no Estado de Santa Catarina (0,08 a 0,60 kg/hab./dia).

A área total foi considerada no cálculo da área superficial, e não somente as áreas de disposição, como valas ou maciços, visto que todas as DRSs selecionadas são lixões, ou seja, possuem disposição desordenada dos seus resíduos. De forma geral, os municípios com maiores

áreas foram também os de maiores populações, como Itumbiara, Jataí e Rio Verde. Verificou-se que a relação entre população municipal e área superficial não é constante, uma vez que a área *per capita* ocupada com resíduos diminui conforme o aumento do porte do município neste caso.

As relações obtidas foram de 3 m²/hab. (212.237 a 97.077 hab.) para 3 municípios, de 4 a 5 m²/hab. (23.632 a 21.905 hab.) para 2 municípios, de 7 a 14 m²/hab. (9.521 a 3.121 hab.) para 9 municípios e de 22 m²/hab. (2.514 hab.) para 1 município. Porém foram encontradas disparidades como os municípios de Buriti de Goiás (2.589 hab.), Goiás (19.292 hab.) e Jussara (24.269 hab.), que apresentaram, respectivamente, relações de 6, 2 e 2 m²/hab. Verificou-se que em Humaitá (AM), com população de 51 mil hab., essa relação se manteve, 5 m²/hab. (DE OLIVEIRA *et al.*, 2016); o que não aconteceu em Bauru (SP), com população de 337 mil hab. e relação menor do que a encontrada no Estado de Goiás, de 1 m²/hab. (MONDELLI; GIACHETI; HAMADA, 2016). Vale ressaltar que os tamanhos das áreas também dependem de outros fatores, entre eles: recursos para aquisição, disponibilidade de área no município e geometria das áreas, podendo ser mais ou menos aproveitadas para a disposição de resíduos.

Por conta das grandes proporções de algumas BCSs do Estado, a distância entre as DRSs e o ponto de captação da BCS variou de 1,8 km (Bom Jesus de Goiás) até 164 km (Buriti de Goiás). Verificou-se que as pequenas distâncias (1,8 a 5,6 km) de 5 municípios foram as responsáveis pelas maiores declividades encontradas (0,92 a 2,61%), com exceção dos municípios de Buriti Alegre e Rio Verde, que apresentaram altas declividades (1,38 e 0,94%) devido à diferença topográfica entre os pontos estudados.

Tabela 7 – Descrição dos parâmetros e valoração dos riscos das disposições finais de resíduos sólidos urbanos presentes nas bacias de captação superficial mais vulneráveis do Estado de Goiás.

Município com DRS ¹	Tipo de DRS	Geração de resíduos (t/ano)	Área superficial (m ²)	Declividade (%)	Índice de Susceptibilidade	Distância até o corpo d'água (m)
Acreúna	Lixão (7)	4.683 (1)	99.705 (2)	1,22 (4)	64,32 (5)	884 (2)
Aparecida do Rio Doce	Lixão (7)	422 (1)	55.133 (1)	0,51 (2)	51,30 (4)	699 (3)
Bom Jesus de Goiás	Lixão (7)	5.097 (1)	90.602 (2)	2,38 (6)	57,70 (4)	780 (3)
Britânia	Lixão (7)	993 (1)	49.460 (1)	0,05 (1)	65,91 (5)	1.856 (1)
Buriti Alegre	Lixão (7)	1.783 (1)	71.110 (1)	1,38 (4)	64,32 (5)	1.326 (1)
Buriti de Goiás	Antigo aterro (5)	435 (1)	14.283 (1)	0,18 (1)	43,63 (3)	393 (5)
Cachoeira Dourada	Lixão (7)	1.529 (1)	55.041 (1)	2,61 (7)	58,96 (4)	1.176 (1)
Goiás	Lixão (7)	5.251 (1)	60.640 (1)	0,16 (1)	31,02 (2)	686 (3)
Itapirapuã	Lixão (7)	1.142 (1)	43.057 (1)	0,92 (3)	47,41 (3)	469 (4)
Itumbiara	Lixão (7)	27.461 (4)	259.620 (4)	0,29 (1)	78,12 (6)	681 (3)
Jataí	Lixão (7)	26.076 (3)	282.650 (4)	0,40 (1)	58,19 (4)	488 (4)
Jussara	Lixão (7)	4.054 (1)	42.562 (1)	0,10 (1)	56,87 (4)	814 (2)
Leopoldo de Bulhões	Lixão (7)	1.396 (1)	91.834 (2)	1,70 (5)	53,00 (4)	1.016 (1)
Matrinchã	Lixão (7)	755 (1)	37.679 (1)	0,15 (1)	62,53 (5)	565 (4)
Novo Brasil	Lixão (7)	553 (1)	45.606 (1)	0,14 (1)	61,08 (5)	632 (3)
Perolândia	Lixão (7)	524 (1)	21.848 (1)	0,27 (1)	58,07 (4)	874 (2)
Rio Verde	Antigo aterro (5)	62.258 (7)	539.294 (7)	0,94 (3)	48,07 (3)	810 (2)
Santa Fé de Goiás	Lixão (7)	888 (1)	49.409 (1)	0,17 (1)	31,82 (2)	358 (5)

DRS: disposição final de resíduos sólidos urbanos.

Para os casos em que a DRS se encontrou em uma linha de mudança do IS foi realizada a média aritmética dos valores, caso dos municípios de Aparecida do Rio Doce, Jataí e Jussara. Apenas uma DRS foi classificada como elevada ($70 < IS < 80$) e cinco como moderada a alta ($60 < IS < 70$).

Constatou-se que nenhuma distância da DRS até o corpo d'água superficial mais próximo da BCS estudada foi menor que 200 m, respeitando os limites legais (BRASIL, 1980). Porém, as DRSs de Buriti de Goiás (393 m) e de Santa Fé de Goiás (358 m) encontram-se bem próximas a esse valor. Situação mais crítica foi encontrada no Estado de Santa Catarina, quando, em 2005, foram identificados 7 lixões com distâncias menores que 100 m de corpos d'água (FRANÇA & RUARO, 2009). Em estudo realizado na Zona da Mata (MG) por Felicori *et al.* (2016) foram consideradas como distâncias de risco aquelas menores que 700 m dos cursos d'água. Distâncias menores que essa foram encontradas em 9 municípios goianos estudados, variando entre 358 e 699 m.

Para correlacionar os coeficientes de risco dos parâmetros, que não tinham unidades homogêneas, o que demandou de normalização das variáveis, foi realizada uma ACP utilizando a correlação de Spearman. A análise possibilitou a verificação da interdependência dos parâmetros, permitindo a identificação de apenas 2 com correlação significativa (0,7748): área superficial e geração de resíduos, que poderiam se transformar em apenas 1 parâmetro. No entanto, optou-se por mantê-los, visto que todas as DRSs estudadas são lixões, atribuindo incertezas a essa correlação.

A interdependência dos parâmetros permitiu a valoração dos riscos obtidos e a comparação entre as DRSs e suas respectivas características para uma melhor gestão desses locais. O cálculo desse risco foi realizado pelo somatório dos parâmetros analisados, conforme realizado por Schueler e Mahler (2007). O risco calculado para as 18 DRSs variou de 15 a 27 (média de 19,39 e desvio padrão de 3,40) e permitiu uma discretização das informações em 3 classes de risco (baixo, médio e alto) com intervalos homogêneos, conforme amostra analisada (Tabela 8).

Na classe de risco alto, 3 parâmetros tiveram pouca variação tornando as DRSs homogêneas, sendo eles:

1. tipo de DRS, antigo aterro a lixão (risco 5 a 7),
2. IS da DRS, baixa a elevada (risco 3 a 6);
3. distância até o corpo d'água, 810 a 488 m (risco 2 a 4).

No entanto, os parâmetros:

1. área superficial, 90.602 a 539.294 m² (risco 2 a 7);
2. geração de resíduos, 5.097 a 62.258 t/ano (risco de 1 a 7);
3. declividade, 0,29 a 2,38% (risco de 1 a 6) tiveram grande variação.

Observou-se que os parâmetros (iv) e (v) impactam diretamente na quantidade de lixiviado gerado, sendo um importante fator de risco para a contaminação das águas; porém eles não são determinantes, visto que uma das DRSs classificadas como de alto risco corresponde a um município de pequeno porte, com população menor que 50 mil habitantes (Bom Jesus de Goiás).

Verificou-se também que uma importante variável do parâmetro (vi) é a distância da DRS até o ponto de captação de água para abastecimento público, que variou de 1,8 km da DRS de Bom Jesus de Goiás até o ponto de captação do mesmo município a 106 km da DRS de Jataí até o ponto de captação do município de Caçu. Apesar da possibilidade de contaminação das águas próximas às DRSs, o risco de essa contaminação chegar aos pontos de captação de água para abastecimento público se tornou bastante remoto para as maiores distâncias encontradas.

O método de vulnerabilidade aplicado neste estudo foi de grande importância para a avaliação das BCSs do Estado de Goiás, por ser abrangente e de baixo custo, e pode ser utilizado para análises preventivas de contaminação por DRS e outros usos do solo que queiram ser estudados.

Portanto, das 18 DRSs estudadas, presentes em 9 BCSs com maior vulnerabilidade para a presença deste uso, recomenda-se priorizar, recomenda-se priorizar a adequação ou remediação das DRSs dos municípios de Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde, visto que se trata de lixões, sendo necessária a instalação de novos aterros em áreas menos vulneráveis ou a realização de consórcios entre municípios para o tratamento e adequada DRS. Essas áreas apresentam maior risco de contaminação das águas das BCSs que abastecem os municípios de Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Dourada, Caçu e Santa Helena de Goiás, respectivamente, estando localizadas nas regiões do sul e do sudoeste goiano.

Tabela 8 - Classificação dos riscos de contaminação das águas das disposições finais do Estado de Goiás.

Tipo de risco	Classe do risco	Frequência		Município com disposição de resíduos sólidos urbanos
		Absoluta	Relativa (%)	
Baixo	15-19	8	44,44	Aparecida do Rio Doce, Britânia, Buriti de Goiás, Goiás, Jussara, Novo Brasil, Perolândia e Santa Fé de Goiás.
Médio	19-23	6	33,33	Acreúna, Buriti Alegre, Cachoeira Dourada, Itapirapuã, Leopoldo de Bulhões e Matrinchã.
Alto	23-27	4	22,22	Bom Jesus de Goiás, Itumbiara, Jataí e Rio Verde.

CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu concluir que existem 228 DRSs com 93% em condições irregulares (lixões). Desse total, 69 DRSs estão localizadas em 43 BCSs das 204 existentes no Estado de Goiás.

A análise de vulnerabilidade realizada em 43 BCSs existentes, identificou 9 mais susceptíveis à contaminação ($IS > 50$) com 18 DRSs em suas áreas.

O risco de contaminação de cada uma das 18 DRSs sobre suas respectivas BCSs variou de 15 (baixo) a 27 (alto), de uma escala de 6 a 42,

permitindo identificar as 4 DRSs (risco alto) consideradas prioritárias no Estado para adequação ou remediação.

Entre as DRSs, 75% apresentaram alto risco de contaminação nas BCSs, com grande influência dos parâmetros quantidade de resíduos gerada e área superficial, sendo considerados como de maior risco os municípios mais populosos. No entanto, 25% das DRSs foram representados por municípios de pequeno porte, sendo a declividade o principal parâmetro (classificado como alto) que influenciou no risco de contaminação.

Recomenda-se que sejam pesquisados, em estudos futuros, os distritos do Estado com as suas respectivas captações e todas as captações subterrâneas, para avaliar o risco de contaminação desses recursos.

O método de avaliação de vulnerabilidade utilizado neste estudo deve ser validado, calibrado e aplicado em estudos que utilizem observação em campo de plumas de contaminação, técnicas geofísicas, análise isotópica de caracterização do transporte de lixiviado ou testes em laboratório, o que fortaleceria a sua aplicação.

Como a pesquisa foi realizada em todo o Estado, não foi possível a realização de estudos de campo nas BCSs e DRSs estudadas. No entanto, recomenda-se a realização de pesquisas de menor abrangência, estudo das vazões e tributários da BCS, além de verificação das declividades ao longo dos cursos d'água, para avaliar o impacto causado à captação de abastecimento público de água, por meio de análises laboratoriais de água que corroborem esses resultados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). (2010) *Atlas Brasil: abastecimento urbano de água*. ANA. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=12>>. Acesso em: 17 out. 2016.
- ALBUQUERQUE, M.T.D.; GERMÁN, S.; OLIVEIRA, S.F.; MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R.; ANTUNES, I.M.H.R. (2013) Spatio-Temporal Groundwater Vulnerability Assessment - A Coupled Remote Sensing and GIS Approach for Historical Land Cover Reconstruction. *Water Resources Manage*, v. 27, p. 4509-4526. <http://doi.org/10.1007/s11269-013-0422-0>
- ALLER, L.; LEHR, J.H.; PETTY, R.; BENNETT, T. (1987) *Drastic: A standardized system to evaluate ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. Disponível em: <<http://rdn.bc.ca/cms/wpattachments/wpID3175atID5999.pdf>>. Acesso em: 1º set. 2016.
- ANANE, M.; ABIDI, B.; LACHAAL, F.; LIMAM, A.; JELLALI, S. (2013) GIS-based DRASTIC, Pesticide DRASTIC and the Susceptibility Index (SI): comparative study for evaluation of pollution potential in the Nabeul-Hammamet shallow aquifer, Tunisia. *Hydrogeology Journal*, v. 21, p. 715-731. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-013-0952-9>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1992) *NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABNT. 7 p.
- AZIZ, S.Q.; MAULOOD, Y.I. (2015) Contamination valuation of soil and groundwater source at anaerobic municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187, n. 755. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4971-y>
- BARROS, R.T. de V. (2012) *Elementos de resíduos sólidos*. Belo Horizonte: Tessitura. 424 p.
- BORTOLIN, J.R.M.; MALAGUTTI FILHO, W. (2010) Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 367-374. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522010000400009>
- BRASIL. (1980) *Portaria Minter nº 124, de 20 de agosto de 1980*. Estabelece normas para a localização de indústrias potencialmente poluidoras junto a coleções hídricas. Brasília. Disponível em: <<http://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=180484>>. Acesso em: 30 maio 2016.
- _____. (2010) *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. p. 1-21. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 10 jun. 2015.
- BRINDHA, K.; ELANGO, L. (2015) Cross comparison of five popular groundwater pollution vulnerability index approaches. *Journal of Hydrology*, v. 524, p. 597-613. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.003>
- DE OLIVEIRA, B.O.S.; TUCCI, C.A.F.; NEVES JÚNIOR, A.F.; SANTOS, A.A. (2016) Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 593-601. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016133274>
- DE OLIVEIRA, L.F.C.; NOGUEIRA, J.G.; FRIZZARIM, S.S.; FIA, R.; FREITAS, J.S.; FIA, F.R.L. (2013) Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 139-148. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000200006>
- FELICORI, T.C.; MARQUES, E.A.G.; SILVA, T.Q.; PORTO, B.B.; BRAVIN, T.C.; SANTOS, K.M.C. (2016) Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 547-560. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016146258>

- FRANÇA, R.G.; RUARO, E.C.R. (2009) Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p. 2191-2197. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232009000600026>
- FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (FADE/UFPE). (2013) *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/biblioteca/publicacoes/publicacoes-abetre/UFPEFADETecnologiasparaRSU2013.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2016.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). (2015) *Manual de Saneamento*. 4. ed. Brasília: Funasa. 642 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades@*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 4 out. 2016.
- INSTITUTO MAURO BORGES DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (IMB). (2014) *Atlas do Estado de Goiás*. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em: 11 ago. 2016.
- KJELDSSEN, P.; CHISTENSEN, T.H. (1984) Soil attenuation of acid phase landfill leachate. *Waste Management and Research*, v. 2, n. 1, p. 247-263. <https://doi.org/10.1177%2F0734242X8400200129>
- LI, Y.; LI, J.; CHEN, S.; DIAO, W. (2012) Establishing indices for groundwater contamination risk assessment in the vicinity of hazardous waste landfills in China. *Environmental Pollution*, v. 165, p. 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.042>
- LINHARES, F.M.; ALMEIDA, C.N.; SILANS, A.M.B.P.; COELHO, V.H.R. (2014) Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame (PB). *Sociedade & Natureza*, v. 26, n. 1. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140110>
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. (2016) Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, v. 2, n. 2. <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- MOHAMED, E.S.; SALEH, A.M.; BELAL, A.A. (2014) Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, v. 17, n. 1, p. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.05.001>
- MONDELLI, G.; GIACHETI, H.L.; HAMADA, J. (2016) Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 169-182. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100120706>
- RAMOS, A.C.B.; SCALIZE, P.S.; PINHEIRO, R.V.N. (2015) Cenário da contaminação por disposições de resíduos sólidos: uma revisão das publicações científicas brasileiras. In: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFG: LUZ, CIÊNCIA E VIDA, 12., 2015, Goiânia. *Anais...* Goiânia. Disponível em: <http://eventos.ufg.br/SIEC/portalproec/sites/site9861/site/artigos/15_mostra-talentos/15_mostra-talentos.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- RIBEIRO, L.; SERRA, E.; PARALTA, E.; NASCIMENTO, J. (2003) Nitrate pollution in hardrock formations: vulnerability and risk evaluation by geomathematical methods in Serpa-Brinches aquífer (South Portugal). In: KRASNY, J.; HRKAL, Z.; BRUTHANS, J. (Orgs.). *Proceedings of International Conference on Groundwater in Fractured Rocks*. p. 377-378. Disponível em: <unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134431eb.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016.
- ROWE, E.J.; CARDOSO, D.L. (2009) A utilização de mapas temáticos no diagnóstico de áreas suscetíveis à contaminação por percolado de aterro sanitário. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 670-678. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000400017>
- SCHUELER, A.S.; MAHLER, C.F. (2007) Sistema de avaliação para classificar áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos visando a remediação e a pós-ocupação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 249-254.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS, INFRAESTRUTURA, CIDADES E ASSUNTOS METROPOLITANOS (SECIMA). (2015a) *Nota Técnica - aterros sanitários municipais*. Goiânia: Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. Disponível em: <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2015-11/nota-tecnica--aterros.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2016.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS, INFRAESTRUTURA, CIDADES E ASSUNTOS METROPOLITANOS (SECIMA). (2015b) *Plano de Resíduos Sólidos do Estado de Goiás: Produto Final*. Goiânia: Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. 497 p. Disponível em: <<http://www.egov.go.gov.br/secima/plano-estadual-de-residuos-solidos-produto-final.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2016.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS, INFRAESTRUTURA, CIDADES E ASSUNTOS METROPOLITANOS (SECIMA). (2015c) *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás*. Goiânia: Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. Disponível em: <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2016-01/p05_plano_estadual_de_recursos_hidricos_revfinal2016.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.
- SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). (2017) *Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos*: 2015. Brasília: MCIDADES; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 173 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2015>>. Acesso em: 3 abr. 2017.
- SREEDEVI, P.D.; OWAIS, S.; KHAN, H.H.; AHMED, S. (2009) Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS. *Journal of the Geological Society of India*, v. 73, p. 543-552. <https://doi.org/10.1007/s12594-009-0038-4>

