

# SIG E REGRESSÃO LINEAR PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DAS NASCENTES DO RIO SUBAÉ EM FEIRA DE SANTANA (BA)

GIS AND LINEAR REGRESSION FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT  
OF THE RIVER “SUBAÉ” SOURCES IN “FEIRA DE SANTANA (BA)” CITY

SIG Y LA REGRESIÓN LINEAL DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
DE LAS CABECERAS DEL RÍO “SUBAÉ” EN LA CIUDADE  
DE “FEIRA DE SANTANA (BA)”

Erivaldo Adôrno - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Salvador - Bahia - Brasil  
erivadorno@gmail.com

Elinaldo Sacramento dos Santos - Universidade Federal da Bahia - Salvador - Bahia - Brasil  
naldoss\_82@hotmail.com

Taise Bomfim de Jesus - Universidade Federal da Bahia - Salvador - Bahia - Brasil  
taisebj@hotmail.com

## Resumo

Na bacia hidrográfica do rio Subaé, as cabeceiras e as lagoas são destinadas a vários fins (usos urbano, agrícola e industrial), os quais podem comprometer a qualidade destes ambientes. Para avaliar a qualidade das nascentes do rio Subaé, optou-se pelo monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, realizado em quatorze pontos de observação da qualidade da água, e pelo mapeamento dos aspectos sociais e ambientais presentes no meio. Para o alcance desse objetivo, em conjunto com a pesquisa, foi necessário também o uso de técnicas de análise espacial no ambiente SIG e a geoestatística (regressão linear). Os resultados da qualidade da água – principalmente os teores de OD (oxigênio dissolvido) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio), e a turbidez – foram comparados aos níveis e parâmetros estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/05. Esses resultados refletiram o estado ambiental de alguns pontos das nascentes, que apresentaram parâmetros adversos aos estabelecidos pela legislação brasileira – como foi o caso do OD e da DBO nos pontos da nascente do rio Subaé, na rua Pedro Suzart (domínio de efluentes domésticos), e turbidez em pontos das lagoas Subaé e Salgada. Para se identificar a influência de um dos parâmetros de qualidade da água e a variabilidade dos aspectos sociais e ambientais (correlações entre os dados de OD e as variáveis ambientais), empregou-se a regressão linear. Essa análise permitiu concluir que as variáveis sociais e ambientais, altimetria, inclinação do terreno e densidade populacional são os fatores determinantes nos valores de OD nos ambientes estudados.

Palavras-chave: qualidade de água, Conama 357/2005, regressão linear, monitoramento.

## Abstract

The lakes and the headwater of the “Subaé ” river basin are destined to several purposes, such as urban, agricultural and industrial, which may compromised the quality of these environments. To evaluate the quality of the Subaé River sources we choose to study through monitoring the physical, chemical and microbiologic parameters in fourteen water quality observation towers and through mapping the social and environmental aspects present in the surroundings. To reach this goal, along with the research, was also necessary the use of the spatial analysis techniques in GIS environment and Geostatistics (Linear Regression). The results of the water quality analysis, mainly DO, BOD and Turbidity (or cloudiness), were compared to the Resolution of CONAMA nº 357/05. They reflected the environmental status of some parts of the source that showed adverse

parameters which are against Brazilian Legislation such as the DO and BOD case in parts of the "Pedro Suzart" source (domain of domestic effluents) and turbidity in parts of the "Subaé" and "Salgada" lakes and to identify the influence of one of the water quality parameter and the variability of social and environmental variables (correlations between the data of DO and the environmental variables) it was used the Linear Regression. This analysis led us to the conclusion that the social and environmental variables, altimetry, slope of the terrain and population density are determinant factors of the DO rating in the environments in study.

Keywords: water quality, Conama 357/2005, regression, monitoring.

## Resumen

Las cabeceras y los lagos presentes en la parte superior de la cuenca del río "Subaé" sirven para varios usos, tales como urbano, agrícola e industrial, y pueden comprometer la calidad de estos entornos. Para evaluar la calidad de las cabeceras del río "Subaé" elegimos estudiar mediante supervisión de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en catorce puestos de observación de calidad del agua y en la asignación de los aspectos sociales y ambientales presentes en el entorno. Para alcanzar este objetivo, junto con la investigación fue necesario el uso de las técnicas de análisis espacial en SIG y Geoestadística (regresión lineal). Los resultados de los análisis de calidad del agua, principalmente OD, DBO y la turbiedad, fueron comparados a la Resolución CONAMA 357 de 2005. Ellos reflejan el estado ambiental de algunas partes de las cabeceras que mostraron parámetros que están en contra de la legislación brasileña como en el caso de OD y DBO en algunas partes de las cabeceras de "Pedro Suzart" (dominio de los efluentes domésticos) e la turbiedad en algunas partes de la laguna "Subaé" y "Salgada" y para evaluar la influencia de los parámetros de calidad del agua y la variabilidad de las variables sociales y ambientales. (Las correlaciones entre los datos de DO y las variables ambientales) se utilizo la regresión lineal. Este análisis llevó a la conclusión de las variables sociales y ambientales, altimetria, inclinación del terreno y la densidad de población son factores determinantes de los valores de OD en los ambientes del estudio.

Palabras clave: calidad del agua, Conama 357/2005, regresión lineal, seguimiento.

## Introdução

A água é abundante na maior parte do planeta Terra, ocupando um total de 70% da superfície terrestre. Todavia, do total dessa água, menos de 0,01% é de água superficial (Brasil. ANA, 2010) e apenas 0,007% é aproveitável pela humanidade (Teixeira, 2003). Destas, o Brasil possui quase 13% (Brasil. ANA, 2002). A ideia de abundância sugerida por essa enorme quantidade de água disponível gerou graves problemas no que tange à gestão dos recursos hídricos, em que o importante é garantir quantidade e qualidade de água para os seus usos múltiplos.

Nesse sentido, no Brasil, o problema da escassez de água é muito mais grave em regiões onde o desenvolvimento ocorreu de forma desordenada, provocando a deterioração das águas disponíveis devido ao lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes (Moita; Cudo, 1991).

Em um dos seus fundamentos (Art. 1º, Inciso V), a Política Nacional de Recursos Hídricos (1997) refere-se à bacia hidrográfica como "a unidade

territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”, considerando que a bacia é o espaço físico de gestão dos diversos usos da água, uma unidade de análise onde se pode melhor perceber e entender os impactos da ação antrópica sobre a quantidade e, principalmente, a qualidade da água.

Para caracterizar a qualidade da água, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), desde 1986, vem estabelecendo níveis e parâmetros de qualidade da água. Estes procuram representar de forma padronizada as características físicas, químicas e biológicas da água para determinados usos e demonstram as condições inapropriadas quando esses parâmetros alcançam valores superiores aos preestabelecidos (Resolução CONAMA nº 357/2005).

As técnicas de análise estatística espacial, a exemplo da Regressão Linear – um método que permite o entendimento da relação entre uma variável resposta e uma ou mais variáveis independentes (Venticinque et al., 2007), na forma de probabilidade de ocorrência –, estão sendo largamente utilizadas para apoiar os estudos de qualidade de ecossistemas aquáticos.

Nesse sentido, pode-se exemplificar o trabalho de Souza (2008), que apresenta um estudo integrando geoprocessamento e técnicas estatísticas para identificar áreas potenciais à degradação da qualidade da água na bacia do rio Piracicaba/MG.

O rio Subaé nasce em Feira de Santana, a 108 km de Salvador. As nascentes desse rio se localizam em áreas consideradas periféricas da cidade e formam uma região de lagoas. São delas que escorrem as águas que deram origem ao conhecido rio e que junto com tantos outros formam a Bacia Hidrográfica do Subaé.

As nascentes do rio Subaé abrangem uma área de 20,62 km<sup>2</sup> e são caracterizadas principalmente por demandas de usos urbanos, industriais e agrícolas, o que implica uma grande pressão pela utilização de suas águas superficiais para serem receptoras de efluentes industriais do Centro Industrial do Subaé (CIS) e, principalmente, de esgotos domésticos provenientes de vários bairros adjacentes da cidade de Feira de Santana. Essa pressão para se utilizarem as águas superficiais para uma diversidade de usos e ocupações justifica a necessidade do monitoramento da qualidade das águas. E de se buscar entender a influência de cada um destes usos no sentido de provocar alterações nessa qualidade.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água e os dados socioambientais, georreferenciados, relacionando-os, em ambiente SIG, para a verificação do estado de qualidade das nascentes e lagoas, bem como do entorno das nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA).

### Caracterização da área de estudo

A área de estudo, pertencente ao município de Feira de Santana (BA), está inserida na nascente do rio Subaé, abrangendo 20,62 Km<sup>2</sup>, e tem altitude média de 220 m. Segundo o Projeto RADAMBRASIL (1981), Feira de Santana está situada numa zona climática entre o subúmido e o semiárido (zona dos tabuleiros interioranos entre o recôncavo e o escudo exposto).

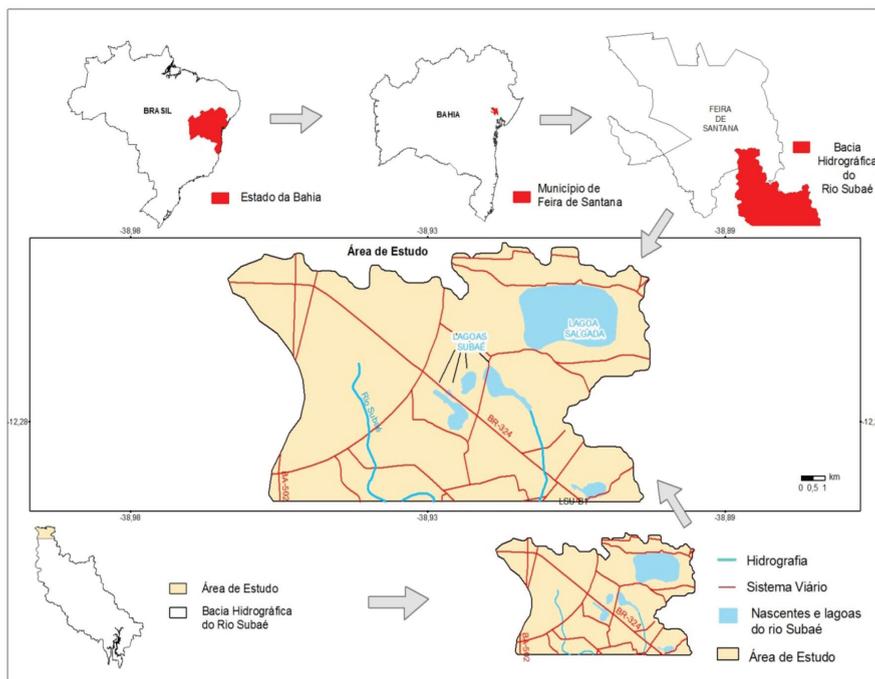


Figura 1 - Localização das nascentes da bacia hidrográfica do rio Subaé, Feira de Santana (BA)

De maneira geral, o clima semiárido é caracterizado pela insuficiência de precipitações, temperaturas elevadas e fortes taxas de evaporação (Brandão; Santos, 2009). A região semiárida do Nordeste, em geral, possui uma estação chuvosa curta, com dois a cinco meses de chuva. A temperatura média anual do município é de 25°C e a pluviometria média anual é de 781 mm (Brandão; Santos, 2009).

A sua localização está entre as latitudes de 12°25'S a 12°28' S e as longitudes de 38°90'W a 38°96'W (Figura 1).

As áreas mais elevadas fazem parte do domínio dos Planaltos Inundados sob unidade geomorfológica dos Tabuleiros Interioranos. Já as áreas mais rebaixadas, onde se localizam as nascentes e lagoas, situam-se no domínio das Depressões Interplanálticas, na unidade geomorfológica do Pediplano Sertanejo (Bahia, 2004).

De acordo com Tricart (1977), corroborado por Almeida (2000), a área de estudo está caracterizada pela presença de depressões que foram desenvolvidas sobre falhas ou zonas de cisalhamento, permitindo a infiltração das águas, as quais vão até os vales vizinhos que estão em posição mais baixa. Algumas dessas depressões são ocupadas por lagoas perenes, outras por sazonais, e outras formam alagadiços. Essas últimas apresentam lâmina d'água somente no período chuvoso. O sistema hídrico das lagoas envolve a ação das águas superficiais e subsuperficiais, sendo condicionado por sua relação com a estrutura geológica e, mais recentemente, por sua ação antropogênica.

A presença de estradas vicinais, os constantes aterramentos de lagoas, provocados pelas ocupações espontâneas e instalações de indústrias nas áreas das nascentes do rio Subaé, prejudicam a validação em campo dos dados de SIG, principalmente na delimitação de tamanho de cada lagoa.

## Material e métodos

Para se alcançar melhor compreensão da qualidade ambiental das nascentes e lagoas, bem como de todo o ambiente estudado, fez-se necessário: aplicar a interpretação visual de imagem sobre uma cena do sensor orbital SPOT 5, do ano de passagem de 2008, para revelar o uso e ocupação da terra; monitorar aspectos físico-químicos da água superficial, em especial oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio

(DBO) e turbidez, em cinco campanhas de coleta distribuídas trimestralmente, com início em abril de 2009 e término em novembro de 2011; produzir mapas temáticos dos aspectos socioambientais presentes na área.

Em seguida, para elucidar os níveis de relação entre os fatores socioambientais revelados e presentes no entorno das nascentes e lagoas, com os resultados do monitoramento da qualidade da água, utilizou-se análise estatística (Regressão Linear Múltipla).

Segundo Esteves & Sousa (2007), um modelo de regressão linear múltipla é definido como:

$$Y_{n \times 1} = X_{n \times p} \cdot \beta_{p \times 1} + \epsilon_{n \times 1}, \text{ em que:}$$

**Y** é o vetor da variável dependente (variável de resposta);

**X** é o vetor das variáveis independentes;

**$\beta$**  é o vetor composto pelos coeficientes da regressão;

**$\epsilon$**  é o vetor dos resíduos;

**n** é o número de variáveis independentes;

**p**, o número de parâmetros a serem estimados.

A validade do modelo final e a análise do seu poder preditivo foram avaliadas através do cálculo de algumas estatísticas. Destacam-se: a) o teste F (Análise de Variância – ANOVA), em que a hipótese nula ( $H_0$ ) é a afirmação de que todos os  $\beta^s$  são iguais a zero, e a hipótese alternativa ( $H_1$ ), de que pelo menos um dos  $\beta^s$  difere de zero; b) Coeficiente de Determinação Múltiplo Ajustado ( $R^2$  ajustado) – quanto maior o valor de  $R^2$  maior será o poder explicativo do modelo de regressão; c) Coeficiente de Correlação Parcial ( $\beta_i$ ) – mede a relação entre a variável dependente e uma única variável independente, quando todas as outras são mantidas constantes; d) Significância Estatística (p-valor ou valor de p) – quanto maior o seu valor, menos se pode confiar em que a relação observada entre as variáveis amostradas seja um indicador da sua variação real na população.

As informações de campo – água (rios e lagos), área antropizada (pastagens e áreas desmatadas), Centro Industrial do Subaé (CIS), mata antropizada (resquícios de vegetação bastante degradada), mineração (olarias) e uso urbano – foram imprescindíveis para orientar as classes de uso e ocupação da terra para o ano de 2011. As classes (informações de campo, acima) foram definidas para facilitar o entendimento da influência do uso sobre os resultados de qualidade da água. Além disso, essas informações

possibilitaram a interpretação visual da imagem processada (na tela do computador) com mais precisão. Elementos como tonalidade/cor, textura, forma e tamanho foram observados na imagem.

As informações socioambientais georreferenciadas – planos de informação, tais como *altimetria* (gerada a partir de imagens de radar da Embrapa (Miranda, 2005)), *declividade* (aplicação da função “*slope*” do *software ArcGIS* sobre a imagem de radar), *população* (por setor censitário do IBGE, 2010), *solo* (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, 2005, escala de 1:1.000.000), *uso e cobertura da terra* (oriundo de interpretação visual da imagem SPOT 5, 2008), e os *dados de qualidade da água* (monitoramento da qualidade da água) – foram relacionadas em ambiente SIG (*software ArcGIS 9.3*). Em seguida, utilizaram-se técnicas estatísticas, como a Regressão Linear, com a utilização do *software R*, para se verificar, dentre os parâmetros de qualidade da água (OD, DBO e Turbidez) determinados pela Resolução CONAMA nº 357/05, qual está sendo mais influenciado pelos dados socioambientais levantados. Os parâmetros acima foram escolhidos, dentre outros contidos na legislação referida, por serem diretamente relacionados a impactos na qualidade de água.

As visitas técnicas a campo permitiram, além do reconhecimento da área de estudo e a consequente obtenção de pontos notáveis para a interpretação visual da imagem, o georreferenciamento das margens das três lagoas – a lagoa Salgada, a lagoa Subaé do lado norte da BR-324 e a lagoa Subaé do lado sul dessa rodovia –, assim como do ponto referenciado pela base cartográfica como nascente do rio Subaé, localizada no Bairro Brasília, na rua Pedro Suzart. As visitas técnicas permitiram também o georreferenciamento dos quatorze pontos de coleta de água para a determinação da sua qualidade.

As referidas informações, obtidas a partir de dados de campo e pesquisas bibliográficas, foram estudadas para subsidiar a análise sistêmica da área de estudo. Dessa forma, uma parte das análises dos parâmetros de qualidade da água foi realizada *in situ*, a 30 cm de profundidade, através de equipamentos portáteis: oxímetro (*Lutron*) e turbidímetro (*Hanna instruments*). Parte das amostras de água de todos os pontos de coleta foi devidamente acondicionada e preservada, e em seguida encaminhada para o Laboratório de Tecnologia da UEFS (Universidade Estadual de Feira de Santana) – LaboTec, para a análise da demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

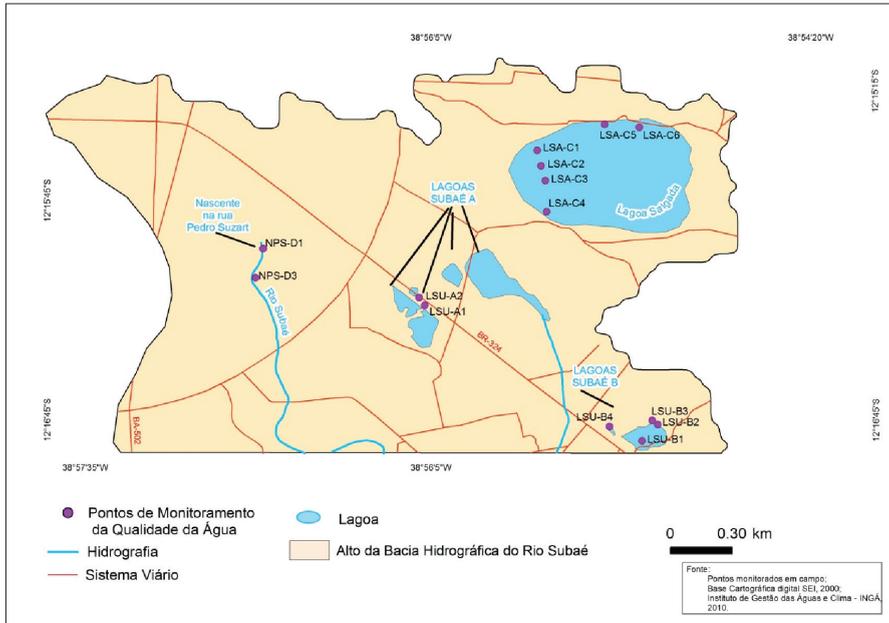


Figura 2 - Pontos de amostragem da qualidade da água nas nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Subaé, Feira de Santana (BA).

## Resultados e discussão

A situação ambiental, tanto do entorno como das nascentes e lagoas, pode ser evidenciada a partir dos resultados do mapeamento dos aspectos socioambientais (Figura 3) e do monitoramento da qualidade da água (Quadro 1).

A partir da produção dos mapas temáticos (Figura 3), ficou evidenciado que a área de estudo apresenta altitudes entre 211 e 233m, com média de elevação em torno de 220m.

Os locais em que as altitudes são mais baixas, ou seja, as áreas onde se localizam os pontos de coleta de água superficial em estudo (à exceção da NPS D1 e NPS D3), são considerados mais vulneráveis a impactos na qualidade da água, uma vez que, com as chuvas, ocorre carreamento do material acumulado em áreas mais altas. No que tange à declividade, foi observada variação entre 0° e 9°. As áreas de maior declive (a partir de 4,5°)

apresentam-se nas bordas das lagoas Salgada e Subaé, o que acarreta uma maior quantidade de material alóctone chegando aos corpos aquáticos e a sua retenção nesse ambiente por longos períodos. Já os locais de menor declive (até 1,5°) estão representados pelos pontos NPS D1 e NPS D3.

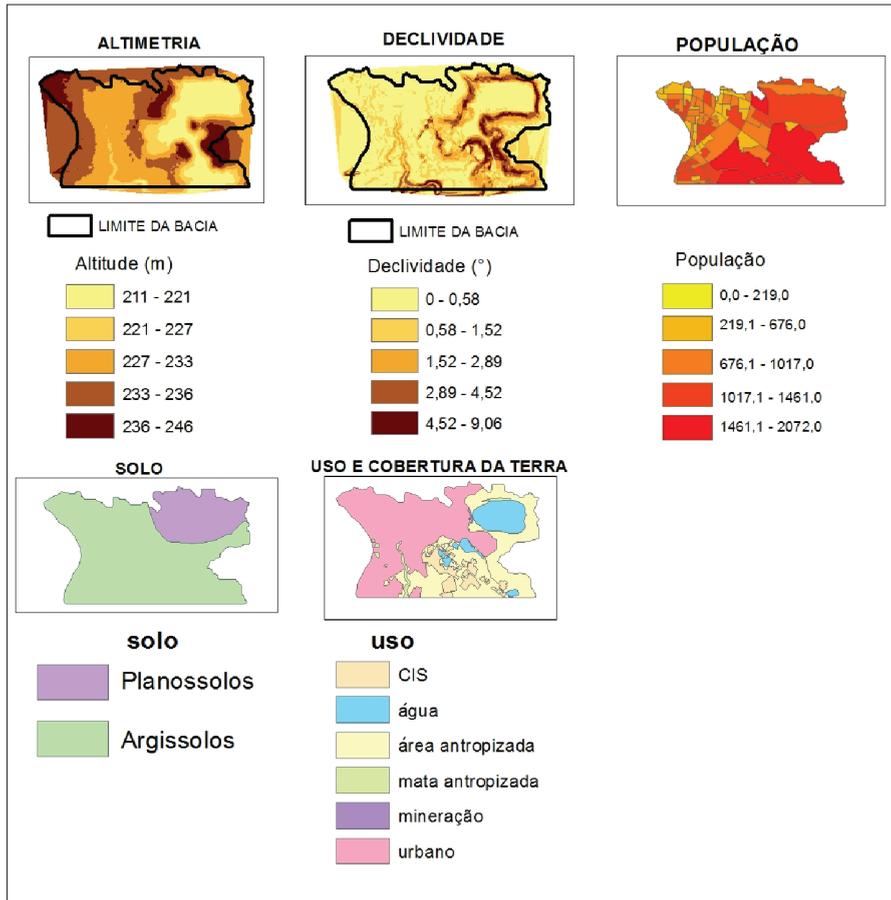


Figura 3 - Variáveis socioambientais das nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA).

**Quadro 1 - Características socioambientais das nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA), e parâmetros de qualidade da água por ponto de monitoramento**

Ponto	Altitude (m)	Declividade (°)	Uso	Solo	População	*OD mg/L	*DBO mg/L	Turbidez UNT
NPS-D1	227-233	1,52-2,89	Urbano	Argissolos	<1000	3,3	152	34,7
NPS-D3	227-233	1,52-2,89	Urbano	Argissolos	<1000	3,0	120	98,3
LSU-A1	221-227	0-0,058	Industrial	Argissolos	<1000	13,7	9,2	56,7
LSU-A2	221-227	0-0,058	Industrial	Argissolos	<1000	6,3	14,8	15,4
LSU-B1	211-221	0-0,058	Industrial	Argissolos	>1000	6,2	3,2	48,6
LSU-B2	211-221	0-0,058	Industrial	Argissolos	>1000	9,1	6,5	139,2
LSU-B3	211-221	0-0,058	Industrial	Argissolos	>1000	4,1	8	25,3
LSU-B4	211-221	0-0,058	Industrial	Argissolos	>1000	4,2	4,75	34,2
LSA-C1	211-221	0-0,58	Mineração	Planossolos	>1000	7,9	11,4	5,2
LSA-C2	211-221	0-0,58	Mineração	Planossolos	>1000	7,7	12,2	4,1
LSA-C3	211-221	0-0,58	Mineração	Planossolos	>1000	10,1	11,5	3,6
LSA-C4	211-221	0-0,58	Mineração	Planossolos	>1000	7,1	11	8,8
LSA-C5	211-221	0-0,58	Mata Antropizada	Planossolos	>1000	4,7	14	100,5
LSA-C6	211-221	0-0,58	Mata Antropizada	Planossolos	>1000	6,9	14,5	48,7

\*Valores médios referentes às cinco campanhas

UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez.

Maior quantidade de material alóctone, advindo de áreas mais elevadas ou ainda de áreas de declives maiores (como são as margens das nascentes referidas no presente estudo), pode contribuir para a redução e estabilidade térmica da coluna d'água, para o balanço de nutrientes, para a produtividade biológica e o consumo de oxigênio (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2002). Pode contribuir também para a distribuição de organismos e de compostos químicos em suas formas dissolvidas e particuladas (Sperling, 1999).

Dois tipos de solo predominam na área de estudo (Figuras 2 e 3). A maior parte da área apresenta solo do tipo Argissolo (nascente do rio Subaé na rua Pedro Suzart, e Lagoa do Subaé Norte e Sul), e em menor parte estão representados os solos do tipo Planossolo (Lagoa Salgada).

Os Argissolos são solos pouco profundos (alço em torno de 1m), com estrutura variada – de blocos ou prismática –, favorecendo pouco a movimentação vertical de solutos. São caracterizados principalmente por um horizonte B textural, com argilas um pouco mais ativas (mais expansivas). Normalmente são ricos em argila e em matéria orgânica (Gomes e Spadotto, 2004). A presença de grande quantidade de argila e matéria or-

gênica propicia a acumulação e retenção de compostos químicos inorgânicos nas partículas minerais do solo. Em ambientes que recebem cargas de efluentes domésticos, industriais e de agricultura, o enriquecimento desses compostos pode ocasionar contaminação e/ou poluição aquática.

De acordo com a Superintendência de Recursos Hídricos/Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH (2004), os planossolos da área de estudo são do tipo areno-silto-argiloso. Esses solos ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, plana a suave ondulada. São, geralmente, pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve), seguido de um horizonte B plânico (horizonte característico dos planossolos). No caso do solo em estudo, a textura varia de média a argilosa; é um solo adensado, pouco permeável, com cores de redução, decorrente de drenagem imperfeita. É responsável pela formação de lençol suspenso temporário, o que auxilia na formação e na manutenção dos ambientes lacustres temporários.

A quantidade de população residente é uma informação primordial para o entendimento da pressão antrópica sobre o ambiente. Nesse sentido, foi analisado o número de pessoas residentes por setor censitário, e pôde-se verificar uma variação da população residente de 219 a 2072 pessoas por Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), em destaque para as Lagoas do Subaé.

O mapeamento de uso e cobertura da terra evidenciou que na área de estudo predomina a ocupação urbana, com uma área de 1.017,32ha, correspondente a 49,29% de ocupação do espaço. A área antropizada (ocupada por pastagens e áreas desmatadas ainda sem uso definido) apresentou 660,22ha, perfazendo 31,98% do total ocupado. Em menor proporção de ocupação, aparecem os corpos d'água, com 209,79ha (10,16%); o Centro Industrial do Subaé (CIS), com 144,58ha (7%); a mata antropizada, com 28,96ha (1,4%); e a mineração (olarias), com área de 3,19ha (0,15%).

Vale destacar que o grande percentual encontrado de ocupação urbana (49,29%) reflete um momento econômico propício à ampliação imobiliária, vivenciado não somente por Feira de Santana (BA), mas por todo o Brasil.

Como a maioria das lagoas na cidade são consideradas temporárias, pois durante parte do ano não possuem água, principalmente nos períodos de estiagem prolongada como os que esta região vem sofrendo, a área fica propícia para instalações urbanas e industriais, pois é facilmente aterrada. No momento atual, a Lagoa Salgada conta com dois condomínios

nios de casas que fazem parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) – 1º PAC ou PAC I (início em fevereiro de 2010) e 2º PAC ou PAC II (início em setembro de 2011) –, além das ocupações espontâneas sem o devido ordenamento do poder público que também avançam sobre os ambientes, suprimindo a área da lagoa, reduzindo seu corpo d'água e alterando o desenvolvimento ecológico do ambiente.

Os resultados do monitoramento da qualidade da água, principalmente os parâmetros Turbidez, OD e DBO, refletiram o estado ambiental da área. A turbidez apresentou valores médios (referentes às cinco coletas) variando entre 3,6 UNT no ponto LSA C3 e 139,2 UNT no ponto LSU B2 (Quadro 1).

Como a turbidez é uma característica da água causada pela presença de materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão, é possível que os valores próximos ao limite definido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 UNT) – encontrados no NPS D3 (98,3 UNT) – sejam de origem orgânica proveniente do efluente doméstico que deságua próximo a esse ambiente; diferentemente do conteúdo inorgânico encontrado na lagoa Subaé (B2), proveniente do material usado para aterramento desse lado da lagoa para ampliação do Centro Industrial do Subaé (CIS). Independentemente da fonte (orgânica ou inorgânica), a menor transparência e, por consequência, a menor penetração de energia luminosa podem constituir um sério limitador da produtividade de um corpo d'água.

Os valores médios de OD variaram entre 3,0 mg/L no NPS D3 e 13,7 mg/L no LSU A1 (Quadro 1). Os pontos de coleta NPS D1, NPS D3, LSU B3, LSU B4 e LSA C5 apresentaram valores de OD superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (>5,0mg/L).

Nos pontos NPS D1 e D3, o uso urbano foi fator preponderante para os valores limitantes de oxigênio, apesar de este ambiente ser caracterizado como lótico (água corrente, que deveria refletir maior oxigenação). A grande carga de efluentes domésticos está propiciando o enriquecimento de matéria orgânica e esta, por sua vez, a redução das concentrações de oxigênio dissolvido, comprometendo a vida aquática. Geralmente, o oxigênio dissolvido se reduz ou desaparece quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis, encontradas, por exemplo, no esgoto doméstico (Von Sperling, 1996).

O nível de disponibilidade de OD na água vai depender do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgâ-

nica (DBO) – por fontes pontuais e/ou difusas – e a quantidade produzida no próprio corpo d'água através de organismos fotossintéticos, processos de aeração natural e/ou artificial. Se o balanço do nível de OD permanecer negativo por tempo prolongado, o corpo d'água pode tornar-se anaeróbico (ausência de oxigênio), causando a geração de maus odores, o crescimento de outros tipos de bactérias e a morte de diversos seres aquáticos aeróbicos, inclusive peixes (Esteves, 1998).

Os valores médios de DBO acompanharam os valores encontrados para OD e variaram de 3,2 mg/L em LSU B1 a 152 mg/L em NPS D1. A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente na água. Se a quantidade de matéria orgânica é baixa, as bactérias decompositoras necessitarão de pequena quantidade de oxigênio para decompô-la, então a DBO será baixa.

A Resolução CONAMA n° 357/2005 estabelece o limite inferior a 5 mg/L de DBO para águas doces de classe II. Ao comparar esse valor com os valores encontrados nesse estudo foi possível verificar que, à exceção do LSU B1 e B3, todos os pontos monitorados apresentaram valores acima dos estabelecidos pela legislação vigente, com destaque para o NPS D1 e D3, já problematizados no que se refere à baixa oxigenação.

Tabela 1 - Diagnóstico do modelo de regressão linear entre o OD e as variáveis socioambientais selecionadas nas nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA)

	Coeficientes	Estimativa	P-valor
Intercepto	$\beta_0$	2,1890	0,0429**
Altimetria 221,1-227	$\beta_1$	8,6270	0,0029**
Altimetria 211-221	$\beta_2$	5,0220	0,0001**
Declividade 0,58 - 1,52	$\beta_3$	-2,861	0,2211
Declividade 1,52 - 2,89	$\beta_4$	-5,0218	0,0002**

ANOVA(p-valor= 0,0006\*\*); R<sup>2</sup> ajustado= 0,2762; \*\*p-valor<0,05 significância estatística

As variáveis preditoras que compõem o modelo explicam 27,62% da variabilidade do OD (Tabela 1). Com isso, o modelo selecionado para explicar quais dos aspectos socioambientais interferem no OD somente teve êxito para as variáveis preditoras “altimetria” e “declividade”, visto que todos os pressupostos da análise de regressão foram obedecidos para esses referidos parâmetros.

As classes altimétricas menores (211m a 221m; 221,1m a 227m) tiveram relação positiva com o OD, comparando-se com a classe de 227,1m a 233m (Figura 4). Isto significa que à medida que a altimetria da nascente da bacia reduz, há um aumento nos valores encontrados para OD (Figura 4), confirmando os resultados encontrados no monitoramento da qualidade da água.

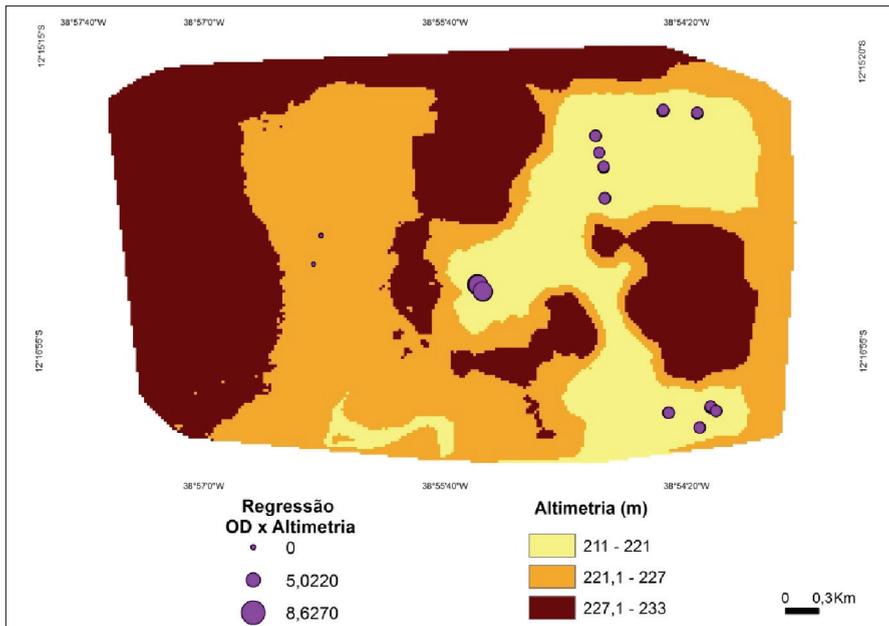


Figura 4 - Espacialização da regressão linear e a relação entre OD e altimetria nas nascentes da bacia do rio Subaé, Feira de Santana (BA)

A classe de declividade de  $0,58^{\circ}$ - $1,52^{\circ}$  e  $1,52^{\circ}$ -  $2,89^{\circ}$  tem uma relação negativa com o OD, comparando-se com a classe de 0 -  $0,58$  (-2,861 e -5,0218, respectivamente) (Figura 5). Isto significa que nas áreas mais íngremes há uma redução nos valores encontrados para OD.

Maiores declives possibilitam que o material alóctone, uma vez alcançando os corpos aquáticos, possa se sedimentar no fundo desses ambientes e também permanecer como material em suspensão, o que reduz a captação de energia luminosa, que, por sua vez, diminui a atividade fotossintética, contribuindo assim com a redução do oxigênio dissolvido

na coluna d'água. Esse efeito pode ser pior caso o material seja de origem orgânica, que exigirá maior atividade decompositora. Esta, por sua vez, requererá maior consumo de oxigênio.

Na técnica de regressão linear simples não foi possível detectar quais variáveis ambientais tinham relação com a DBO e a Turbidez, visto que os modelos selecionados violavam os pressupostos da análise de regressão (homocedasticidade, normalidade e independência).

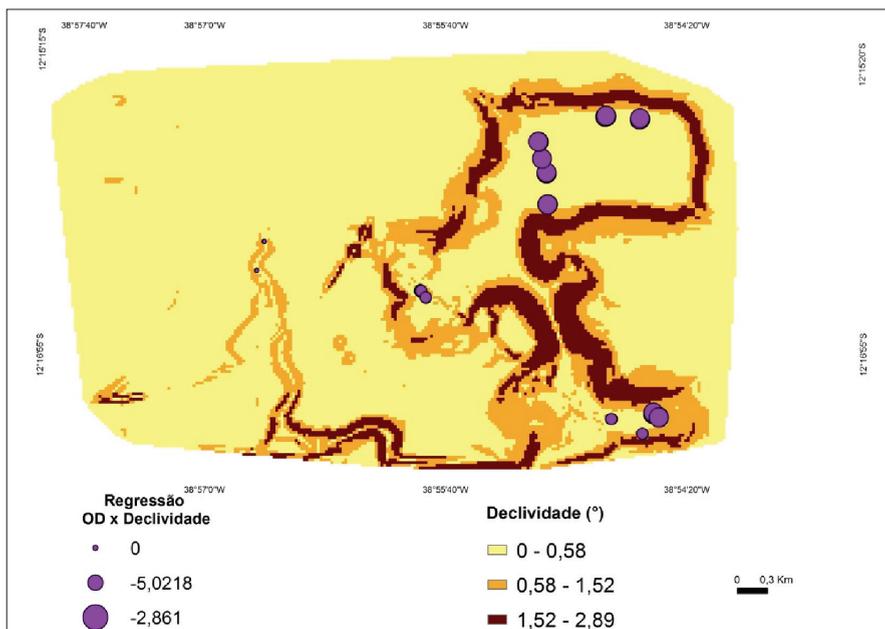


Figura 5 - Espacialização da regressão linear e a relação entre OD e declividade nas nascentes da bacia do rio Subaé, Feira de Santana (BA)

### Considerações Finais

As análises realizadas demonstraram que, dentre os parâmetros analisados, o oxigênio dissolvido foi o que mais representou o estado de qualidade do ambiente. E os baixos valores para este parâmetro foram registrados nas nascentes da bacia hidrográfica do Subaé, o que compromete o estado ecológico desse ambiente.

Este estudo demonstrou a possibilidade de se adotarem ferramentas estatísticas, como a análise de regressão, para associar uma ou mais variáveis químicas e físicas ao uso e ocupação das nascentes do rio Subaé, auxiliando os estudos sobre qualidade ambiental, principalmente em bacias hidrográficas.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Evolução da organização e implementação da gestão de bacias no Brasil*, 2002. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/14714174/Evolucao-da-Organizacao-e-Implementacao-da-Gestao-de-Bacias-no-Brasil>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *O planeta das águas*. Disponível em: <[http://www.caminhoaguas.org.br/internas/sala\\_planeta.html](http://www.caminhoaguas.org.br/internas/sala_planeta.html)>. Acesso em: 10 maio 2010.

ALMEIDA, J. A. P. Aplicação da metodologia sistêmica ao estudo do sítio urbano de Feira de Santana – BA. *Sitientibus*, Feira de Santana, n. 22, p. 9-26, 2000.

BAHIA (Estado). Superintendência de Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH)*, 2005. Disponível em: <<http://geobahia.inema.ba.gov.br/geobahia3/interface.htm?72227bbf5f1b9f2b19452e75a6286f4e>>. Acesso em: 29 out. 2012.

BEZERRA-NETO, J. F. B.; PINTO-COELHO, R. M. Migração vertical das larvas de *Chaoborus brasiliensis* (Diptera: Chaoboridae) em um reservatório tropical: Lagoa do Nado, Belo Horizonte, Minas Gerais. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 2, p. 329-336, 2002.

BRANDÃO, T. F.; SANTOS, R. L. *Caracterização da precipitação no município de Feira de Santana (BA) através da técnica dos Quantis*. Trabalho apresentado na 54ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria e 13º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica, São Carlos, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R020.htm>>. Acesso em: 1 fev. 2010.

BRASIL. *Lei n° 9.433 de 8/1/97*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos... Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 10 maio 2011.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 826 p.

ESTEVES, E.; SOUSA, C. *Análise de dados e planejamento experimental*. Escola Superior de Tecnologia. Universidade do Algarve. Faro, Portugal, 2007. Disponível

em: <<http://w3.ualg.pt/~eesteves/docs/RegressaoLinearSimples.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A. *Subsídio à avaliação de risco ambiental de agrotóxicos em solos agrícolas brasileiros*. Comunicado Técnico, EMBRAPA, 2004. 5p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados da sinopse por setor censitário*. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Projeto RADAMBRASIL. *Levantamento dos recursos naturais*. Folha SD24, Salvador, Rio de Janeiro, 1981. 624p.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). *Brasil em relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/>>. Acesso em: 28 out. 2012.

MOITA, R.; CUDO, K. *Aspectos gerais da qualidade da água no Brasil*. Trabalho apresentado na reunião técnica sobre qualidade da água para consumo humano e saúde no Brasil, 1991, Brasília. *Anais...* Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria do Meio Ambiente, p. 1-6, 1991.

SOUZA, S. *Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais à degradação da qualidade da água*. Trabalho apresentado para obtenção do grau de especialista em Geoprocessamento – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 47p.

SPERLING, E. *Morfologia de lagos e represas*. Belo Horizonte: Segrac, 1999. 137p.

TEIXEIRA, Wilson et al. *Decifrando a terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 558p.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE, 1977. 91p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA. *Projeto: Nascentes, lagoas e rios de Feira de Santana* – Relatório Final de Pesquisa. Feira de Santana: UEF, 1998.

VENTICINQUE E. M.; CARNEIRO J. S.; MOREIRA M. P.; FERREIRA L. Uso de regressão logística para espacialização de probabilidade. *Revista Megadiversidade*, v. 3, n. 1-3, dez. 2007.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG, 1996. 458 p.

Este trabalho contou com o financiamento da FAPESB.

Data de vigência: 2010/2012.

Erivaldo Adôrno - Geógrafo formado pela Universidade Federal da Bahia (2009), tendo por tema da monografia as APPs (Área de Preservação Permanente) como indicadoras de estabilidade ambiental. Estudo de caso do alto da bacia hidrográfica do rio de Ondas, no oeste baiano. Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

---

Elinaldo Sacramento dos Santos - Bacharel em Estatística pela Universidade Federal da Bahia.

---

Taise Bomfim de Jesus - Graduada em Biologia pela Universidade Católica de Salvador - Mestre em Geoquímica e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Bahia - Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Professora Adjunta da Universidade Estadual de Feira de Santana.

---

Recebido para publicação em 7 de abril de 2013

Aceito para publicação em 11 de julho de 2013