

**Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicos da água em viveiros de piscicultura**

*Samuel Ferreira da Silva<sup>1</sup>; Jéferson Luiz Ferrari<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso Superior de Tecnologia em Aquicultura, Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre – ES, samuelfd.silva@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Licenciado em Ciências Agrícolas, Professor do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre – ES, ferrarijlui@gmail.com

**Resumo** – Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial de alguns parâmetros físico-químicos da água em dois viveiros de piscicultura com formatos e áreas diferentes. Foram realizadas amostragens de temperatura da água, temperatura do ar, oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação de oxigênio nos pontos de interseção de uma malha regular de 5 x 5 m implantada em tais ambientes aquáticos. Verificou-se que as variáveis analisadas, nos dois ambientes, apresentaram baixa dependência espacial. No viveiro regular, a dependência foi descrita pelo método gaussiano, com alcances de 15,74 m, 28,58 m, 13,12 m e 12,43 m, respectivamente, para os parâmetros: temperatura da água, temperatura do ar, oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação de oxigênio; já no viveiro irregular, os alcances foram menores: 6,44 m, 3,72 m, 8,88 m e 5,22 m, respectivamente para os parâmetros: temperatura da água (modelo exponencial), temperatura do ar (modelo exponencial), oxigênio dissolvido (modelo esférico) e porcentagem de saturação de oxigênio (modelo exponencial).

**Palavras-chave:** Geoestatística; manejo racional; qualidade de água.

**Abstract** - This work aimed to study the spatial variability of some physical and chemical parameters of water in two fishponds with different shapes and areas. It was Sampled the water temperature, air temperature, dissolved oxygen and oxygen saturation percentage at the intersection points of a regular grid of 5 x 5 m implanted in such aquatic environments. It was found that the variables analyzed in both environments, showed low spatial dependence. In the regular fishponds, the dependence was described by the method gaussian with ranges of 15.74 m, 28.58 m, 13.12 m, 12.43 m, respectively, for the parameters: water temperature, air temperature, dissolved oxygen and percentage of oxygen saturation, in the irregular fishponds, the ranges were smaller: 6.44 m, 3.72 m, 8.88 m and 5.22 m, respectively, for the parameters: water temperature (exponential model), temperature air (exponential model), dissolved oxygen (spherical model) and percentage of oxygen saturation (exponential model).

**Key words:** Geostatistics; rational management, water quality.

**Introdução**

A aquicultura é uma atividade agrícola crescente em nosso País que consiste na arte de criar e multiplicar animais e plantas aquáticas. Para a garantia de sucesso deste empreendimento é fundamental que a água utilizada nos tanques, viveiros, lagos e represas apresentem boa qualidade, sendo a temperatura, o oxigênio dissolvido e a porcentagem de saturação do oxigênio da água importantes parâmetros que devem ser monitorados para a otimização da produção (KUBTIZA, 1998; OLIVEIRA, 2009).

É a temperatura que determina o metabolismo dos organismos vivos, sendo responsável pelas atividades fisiológicas, como a respiração, digestão, reprodução e alimentação (DIAS-KOBERSTEIN et al., 2004). Quando ocorrem oscilações de temperaturas, os peixes, por exemplo, ficam com dificuldades para se alimentar, ficando susceptíveis à doenças (HEIN & BRIANESE, 2004). De uma maneira geral, as velocidades das reações químicas dobram ou triplicam para cada 10 °C de aumento na temperatura, isso significa que os organismos aquáticos usarão duas ou três vezes mais oxigênio dissolvido a 30 °C do que a 20 °C (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2003; SILVA et al., 2006).

O oxigênio dissolvido é de extrema importância para a sobrevivência dos organismos cultivados. Quando os níveis de oxigênio nos viveiros de aquicultura tornam-se baixos, os organismos cultivados podem apresentar uma condição de estresse fisiológico, com o enfraquecimento do sistema imunológico e o aparecimento de infecções (RODRIGUEZ & MOULLAC, 2000). Taxas reduzidas desse gás podem comprometer a sobrevivência da fauna aeróbica aquática (LIMBERGER & CORRÊA, 2005). Vale destacar que a aquicultura convencional considera as áreas de cultivo homogêneas, o que implica em práticas de manejos das águas uniformes, todavia, a globalização da economia e a competitividade de preços dos produtos agrícolas aliados à busca pela conservação dos recursos naturais, tem imposto a atividade novos desafios, métodos e técnicas de produção em relação ao que se pratica hoje.

O manejo localizado da qualidade da água é um bom exemplo dessa inovação realizada a partir do conhecimento da variabilidade espacial de atributos de interesse, permitindo um melhor entendimento das relações entre seus atributos e os fatores ambientais (GOOVAERTS, 1998), e ajudando a determinar práticas de manejo específico para sua aplicação na produção de várias culturas (PLANT, 2001). Segundo Vieira (2000), quando o atributo estudado varia de um local para o outro, a geoestatística é uma ferramenta que permite uma visão espacial desse comportamento baseada na dependência espacial.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade de alguns parâmetros físico-químicos da água em viveiros de piscicultura com formatos e áreas diferentes.

### **Material e Métodos**

Foram utilizados dois viveiros de piscicultura, sendo um com formato retangular (50 m x 25 m), e outro com formato irregular (área de 2.147 m<sup>2</sup>). Estes ambientes aquáticos ficam localizados no Setor de Aquicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre - ES, nas coordenadas geográficas aproximadas de 20° 45' 30" latitude Sul e 41° 27' 23" longitude Oeste.

A primeira etapa para elaboração deste trabalho foi o levantamento planimétrico dos viveiros, utilizando uma Estação Total, marca FOIF OTS 856L e método da irradiação, conforme Espartel (1987). Em seguida, foram implantadas malhas regulares de 5 x 5 m, por toda a extensão desses ambientes, totalizando 46 pontos de coleta para o viveiro regular e 82 pontos para o viveiro irregular.

Nos dias 23 e 24 de junho de 2010, no período das 7 às 9 horas, foram realizadas as seguintes medições em cada vértice resultante do transecto: temperatura da água (°C), temperatura do ar (°C), oxigênio dissolvido da água O. D. (mg.L<sup>-1</sup>) e porcentagem de saturação de oxigênio da água O. S. (%), utilizando-se para isso, um oxímetro microprocessador modelo AT – 150. Destaca-se que, durante o período dessas coletas, foi monitorada também a transparência da água, com auxílio de um disco de Secchi.

Os dados foram avaliados usando as estatísticas descritivas e geoestatística. Nas análises descritivas dos dados, foram calculadas as medidas de posição, de dispersão e da forma da distribuição. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste Lilliefors, com 5 % de significância, utilizando-se o programa computacional SAEG - versão 9.1, marca registrada Ribeiro Junior (2008). A análise geoestatística foi realizada ajustando modelos teóricos aos semivariogramas experimentais utilizando o *Software* GS+ (ROBERTSON, 2000). A semivariância dos dados em função da distância de amostragem é estimada pela equação abaixo.

$$\gamma^*(h) = \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 / 2N(h) \quad (1)$$

em que, N(h) = o número de pares de valores medidos; Z(x<sub>i</sub>), Z(x<sub>i</sub> + h) = valores medidos na posição x<sub>i</sub> e x<sub>i</sub> + h, separados por um vetor h.

O gráfico de gama asterisco (γ\*) em função da distância (h) é denominado semivariograma. A escolha dos modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano, linear, sem patamar e efeito pepita puro) seguiu critérios adotados pelo software GS+®, que utiliza a menor soma dos quadrados do resíduo e o maior coeficiente de determinação. O ajuste dos dados, a partir dos semivariogramas, possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C), alcance (a) e o Índice de Dependência Espacial (IDE). O IDE foi calculado pela relação [C/C0 + C], conforme estabelecidos por ZIMBACK (2001). Conhecido o semivariograma da variável e mostrando a dependência espacial entre as amostras,

interpolou-se, pelo Software GS<sup>+</sup>, por combinação linear, os valores medidos na posição 5 x 5 m pelo método de krigagem ordinária.

A estimativa por krigagem ordinária segue a equação:

$$Z^*(x) = \sum \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (2)$$

em que,  $Z^*$  = valor estimado;  $\lambda_i$  = pesos de cada valor medido;  $Z$  = valor medido.

### Resultados e Discussão

Na Tabela 1, observam-se os momentos estatísticos dos dados analisados nos pontos amostrados dos dois viveiros.

**Tabela 1.** Estatística descritiva e distribuição de frequências dos parâmetros analisados no viveiro regular e irregular

Viveiros	Variáveis	Média	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose	Normal*
Regular	Temp. água (°C)	23,67	24,50	0,10	0,14 (b)	- 0,43 (A)	Sim
	Temp. ar (°C)	23,05	25,50	0,96	1,97 (b)	2,25 (A)	Sim
	O. D. (mg.L <sup>-1</sup> )	3,41	4,48	0,29	0,54 (b)	- 1,15 (A)	Sim
	O. S. (%)	43,90	56,00	32,64	0,72 (b)	- 0,63 (A)	Sim
Irregular	Temp. água (°C)	23,69	24,50	0,07	0,07 (b)	- 0,23 (A)	Sim
	Temp. ar (°C)	22,95	25,50	0,41	2,26 (b)	6,52 (A)	Sim
	O. D. (mg.L <sup>-1</sup> )	2,71	3,49	0,20	0,08 (b)	- 1,29 (A)	Sim
	O. S. (%)	31,53	48,00	47,68	0,68 (b)	- 0,53 (A)	Sim

\* Teste de normalidade Lilliefors. Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b) e assimetria negativa (c). Curtose - leptocúrtica (A), platocúrtica (B) e mesocúrtica (C). Não houve variação da transparência da água durante as análises, portanto não teve variabilidade espacial.

De acordo com esta tabela, podemos observar que os valores de temperatura da água ficaram com média de 23,67 °C e 23,69 °C, no viveiro regular e irregular, respectivamente. Tais temperaturas, analisadas pontualmente, são consideradas de conforto para inúmeras espécies cultivadas no Brasil. Valores abaixo dos encontrados podem acarretar problemas na alimentação, reprodução e desenvolvimento das espécies, prejudicando o sistema imunológico e deixando-os susceptíveis a doenças (DIAS-KOBERSTEIN et al., 2004; HEIN; BRIANESE, 2004; SILVA et al., 2006).

Com relação ao oxigênio dissolvido, este se manteve numa média de 3,41 mg.L<sup>-1</sup> e 2,71 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente para o viveiro regular e irregular. Essas concentrações são consideradas baixas e podem levar os peixes à morte, caso esses níveis permaneçam por muito tempo (RODRIGUEZ; MOULLAC, 2000; LIMBERGER; CORRÊA, 2005). Segundo esses mesmos autores, o oxigênio dissolvido é considerado um dos parâmetros mais importantes para o bom desenvolvimento dos peixes cultivados, sendo imprescindível que seja efetuado um manejo correto de modo a garantir níveis que situem entre 5 e 12 mg.L<sup>-1</sup>. Vale destacar que esses resultados referem-se a observações pontuais realizadas numa época de inverno e na parte da manhã, das às 9 horas, onde a disponibilidade de oxigênio é menor devido ao consumo ocorrido durante a noite pelos organismos aeróbicos (FERNANDES et al., 2004).

Finalmente, fazendo-se referência ao oxigênio saturado (%), verificaram-se altos valores de coeficientes de variação durante a coleta de dados, sendo 32,64 % para o viveiro regular e 47,68 % para o viveiro irregular (CRESPO, 2009). É importante salientar que este parâmetro apresenta alta capacidade de oscilação, o que é normal acontecer em ambientes de cultivo ao longo do dia (KUBITZA, 1998; ABDO; SILVA, 2000). Ainda, segundo este mesmo autor, em ambos os ambientes aquáticos, todos os parâmetros apresentaram assimetria positiva, com média maior que a moda; e curtose leptocúrtica com uma curva de frequência mais fechada que a normal, ou mais aguda em sua parte superior.

Após as análises desses parâmetros, construíram-se os semivariogramas com o objetivo de melhor explicarem o comportamento de cada variável no ambiente estudado conforme sugere Angelico e Silva

(2006). Na Tabela 2, podem ser verificados os parâmetros e os modelos dos semivariogramas ajustados para as variáveis estudadas.

Verifica-se que as variáveis analisadas no viveiro regular tiveram seus melhores ajustes através do modelo gaussiano, enquanto que no viveiro irregular, os modelos que melhor explicaram os comportamentos de dependência espacial foram: temperatura da água (modelo exponencial), temperatura do ar (modelo exponencial), oxigênio dissolvido (modelo esférico) e oxigênio saturado (modelo exponencial). Tais constatações, apesar da necessidade de maiores estudos para a elucidação de tais comportamentos, talvez possam estar relacionadas às diferenças geométricas entre esses ambientes aquáticos, sendo que, as diferenças entre os ambientes podem originar uma maior ou menor variabilidades dos parâmetros analisados.

**Tabela 2.** Parâmetros e modelos de semivariogramas ajustados das variáveis estudadas

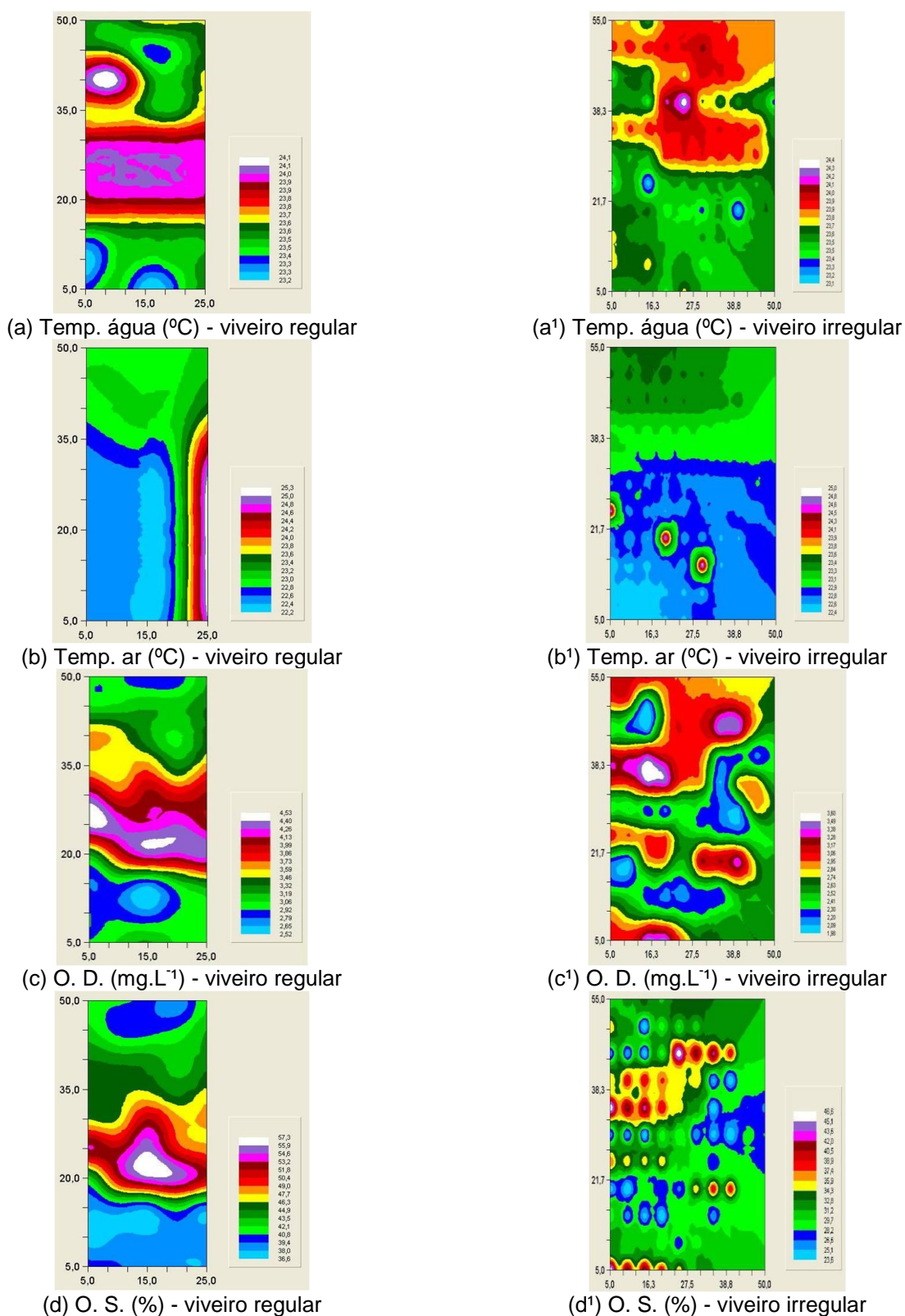
Viveiros	Parâmetros	Valores obtidos			
		Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	O.D (mg.L <sup>-1</sup> )	O. S. (%)
Regular	Co	0,06	0,42	0,02	4,90
	Co + C	0,14	2,85	0,49	51,11
	a	15,74	28,58	13,12	12,43
	IDE	1,13 (a)	6,21 (a)	8,52 (a)	0,74 (a)
	r <sup>2</sup>	0,95	0,99	0,99	1,00
	Modelo	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano
Irregular	Co	0,01	0,02	0,00	4,10
	Co + C	0,09	0,41	0,21	49,71
	a	6,44	3,72	8,88	5,22
	IDE	3,72 (a)	1,16 (a)	1,20 (a)	4,15 (a)
	r <sup>2</sup>	0,94	0,76	0,35	0,97
	Modelo	Exponencial	Exponencial	Esférico	Gaussiano

Índice de Dependência Espacial (IDE) - fraca (a), moderada (b) e forte (c).

Percebe-se que os alcances (a), para os parâmetros analisados no viveiro regular, foram de: 15,74 m, 28,58 m, 13,12 m e 12,43 m, respectivamente, para os parâmetros: temperatura da água (°C), temperatura do ar (°C), oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) e oxigênio saturado (%); já no viveiro irregular, os alcances foram: 6,44 m, 3,72 m, 8,88 m e 5,22 m, respectivamente para os parâmetros: temperatura da água (°C), temperatura do ar (°C), oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) e oxigênio saturado (%). De acordo com Andrade (2002), o alcance corresponde ao conceito da zona de influência ou dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir das quais as amostras tornam-se independentes. Desta forma, amostragens desses parâmetros devem ser realizadas a distância maior que os alcances para que as amostras sejam consideradas independentes. Destaca-se também que foi observado o fenômeno da isotropia, ou seja, esses alcances são válidos para todas as direções dos viveiros (DRUCK et al., 2004).

Fazendo referência a Tabela 2, pode-se observar que para todos os parâmetros analisados, em ambos os viveiros de estudo, os valores de IDE foram abaixo de 25 %, resultando desta forma em fraca dependência espacial (ZIMBACK, 2001). Com a comprovação da dependência espacial, mesmo que fraca, gerou-se com auxílio do interpolador krigagem ordinária, os mapas de variabilidade dos parâmetros estudados, o que é demonstrado na Figura 1.





**Figura 1.** Distribuição espacial das variáveis estudadas pelo método da krigagem ordinária.

## Conclusão

O uso da geoestatística em construção de mapas de variabilidade espacial, a partir da krigagem, permitiu identificar a distribuição espacial dos parâmetros analisados, sendo, portanto, uma ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisões. Verificou-se que as variáveis analisadas no viveiro regular apresentaram baixa estrutura de dependência espacial descrita pelo método gaussiano e alcances de 15,74 m, 28,58 m, 13,12 m e 12,43 m, respectivamente, para os parâmetros: temperatura da água, ar, oxigênio dissolvido e saturado; já no viveiro irregular, os alcances foram menores, a saber: 6,44 m, 3,72 m, 8,88 m e 5,22 m, respectivamente para os parâmetros: temperatura da água (modelo exponencial), temperatura do ar (modelo exponencial), oxigênio dissolvido (modelo esférico) e saturação de oxigênio (modelo exponencial).

## Referências

- ABDO, M. S. A.; SILVA, C. J. Variação diária limnológica nos períodos de estiagem e cheia na Baía Nihal Curitiba. III Simpósio de Recursos Naturais. **Anais...** Corumbá - MS, 2000.
- ANDRADE, A. R. S. **Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos**. 2002. 181p. Botucatu/SP, Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- ANGELICO, J. C.; SILVA, I. N. Eficiência da krigagem na estimativa das variáveis físicas e químicas do solo. **Rev. Energ. Agric.** Botucatu, vol. 21, n.1, p. 106 - 117, 2006.
- DIAS-KOBERSTEIN, T. C. R.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. Comportamento alimentar de alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) por meio das observações do tempo de retorno do apetite e do tempo de saciação dos peixes em duas temperaturas de cultivo. **Acta Scientiarum**. Animal Ciência Maringá, v. 26, n. 3, p. 339-344, 2004.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004.
- ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 6ª ed. Porto Alegre: Globo. 1987, 655p.
- FERNANDES, L. F.; WOSIAK, A. C.; DOMINGUES, L.; PACHECO, C. V.; LAGOS, P. E. **Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos**. Capítulo 10, p. 39, 2004.
- GOOVAERT, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, V. 27, Nº 4, p. 315 - 334, 1998.
- HEIN, G.; BRIANESE, R. H. Modelo EMATER de Produção de Tilápias. Toledo – PR, 2004.
- KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. **Panorama da AQUICULTURA**, Jan/fev, 1998.
- LIMBERGER L.; CORRÊA, G. T. Diagnóstico ambiental do ribeirão Lindóia (Londrina-PR). Aspectos físico-químicos e bacteriológicos. **Revista eletrônica da associação de geógrafos brasileiros**. Seção Três Lagoas - MS, vol. 2, nº 2, ano 2, 2005.
- OLIVEIRA, R. Nota Técnica: Panorama Geral da Aquicultura no Brasil. Associação Para a Produção Sustentável (APS). Ituberá – Bahia – Brasil. Ed. 1, outubro de 2009.
- PLANT, R. E. Site specific management: the application of production of information technology to crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, V. 30, Nº 1/3, p. 9 - 29, 2001.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Guia prático para utilização do SAEG**/José Ivo Ribeiro Júnior e Ana Lúcia Puerro de Melo. Viçosa, MG, Folha, 2008, 288 p.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geoestatistic for the environment sciences. User's Guide**. Phainwell, Gamma Design Software, 2000, 152p.
- RODRIGUEZ, J.; MOULLAC, G. State of the art of immunological tools and health control of Penaeid shrimp. **Aquaculture**. V. 191, p. 109 – 119, 2000.
- SILVA, V. K.; FERREIRA, M. W.; LOGATO, P. V. R. **Qualidade da água na Piscicultura**. Tese de Graduação. UFLA – Departamento de Zootecnia. Lavras - Minas Gerais, 2006.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; GOMES, J. P. F.; BRAGA, F. M. de S. Effect of liming management on the water quality in *Colossoma macropomum* ("Tambaqui") ponds. **Acta Limnológica Bras.**, 15(3): 95-103, 2003.
- VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade do solo**. In: NOVAIS, P. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG. **Soc. Ciên. sol.** V. 1, p.1 - 54, 2000.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. Tese (Livre-Docência), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.