

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ZOOTECNIA

BIANCHECCI DANIELLI CONTE

**PREDIÇÃO DO PESO E DO RENDIMENTO DE FILÉ DE TILÁPIA DO NILO A
PARTIR DE MEDIDAS ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS, E
VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO**

Marechal Cândido Rondon - PR

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ZOOTECNIA

BIANCHECCI DANIELLI CONTE

**PREDIÇÃO DO PESO E DO RENDIMENTO DE FILÉ DE TILÁPIA DO NILO A
PARTIR DE MEDIDAS ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS, E
VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Marechal Cândido Rondon, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal e Forragicultura.

Orientador: Nilton Garcia Marengoni, Ph.D.
Coorientador: Newton Tavares Escocard de Oliveira, DSc.

Marechal Cândido Rondon - PR

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

C761	<p>Conte, Bianchecci Danielli</p> <p>Predição do peso e do rendimento de filé de tilápia do Nilo a partir de medidas ultrassonográficas e morfométricas, e validação dos modelos de regressão / Bianchecci Danielli Conte. - Marechal Cândido Rondon, 2011. 70 p.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Nilton Garcia Marengoni Coorientador: Prof. Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira</p> <p>Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2011.</p> <p>1. Tilápia do Nilo. 2. <i>Oreochromis niloticus</i>. 3. Filé de tilápia do Nilo - Rendimento. 4. Piscicultura. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.</p> <p>CDD 21.ed. 639.31 CIP-NBR 12899</p>
------	--

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ZOOTECNIA**

BIANCHECCI DANIELLI CONTE

**PREDIÇÃO DO PESO E DO RENDIMENTO DE FILÉ DE TILÁPIA DO NILO A
PARTIR DE MEDIDAS ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS, E
VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Marechal Cândido Rondon, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal e Forragicultura.

Marechal Cândido Rondon, 9 de dezembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA:

Nilton Garcia Marengoni, Ph.D. (Orientador)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Newton Tavares Escocard de Oliveira, DSc. (Coorientador)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Ana Alix Mendes de Almeida Oliveira, DSc.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Daniel Vieira Crepaldi, DSc.
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos
Recursos Naturais Renováveis (Ibama)

*À minha Sofia, que nasceu durante esse projeto,
passou a ser minha inspiração e alegria, e fez com
que tudo valesse a pena.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), *Campus* Marechal Cândido Rondon, que, como instituição de Ensino Superior e Pós-Graduação, possibilitou a realização do Mestrado em Zootecnia.

Aos funcionários da Unioeste e do Núcleo de Estação Experimental “Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Pessoa”, por disponibilizarem local e material biológico para as análises.

À Fundação Araucária pelo apoio financeiro que permitiu a conclusão deste trabalho.

Ao professor Ph.D. Nilton Garcia Marengoni, pela orientação da dissertação, pela confiança depositada e pelas “injeções de ânimo” quando tudo parecia perdido; sua capacidade e compreensão sempre estiveram presentes na orientação deste trabalho.

Ao professor Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira, pela valiosa colaboração nas análises estatísticas, na correção da dissertação, no interesse em esclarecer dúvidas e por estar sempre disponível para resolver problemas relacionados à metodologia deste projeto. Grande parte desta dissertação é resultado de sua colaboração e empenho todas as vezes que eu aparecia na sua sala pedindo “socorro”. Por isso, acredito que entenda que “nenhuma maçã é eterna, mas os ensinamentos duram para sempre”.

À professora Dra. Christiane Garcia Vilela, pelos ensinamentos em ultrassonografia, correção de artigos e pela contribuição na versão inglesa.

À professora Dra. Yolanda Lopes da Silva, pelos conhecimentos compartilhados, por ter confiado na minha capacidade de ministrar Bioquímica Geral aos graduandos em Zootecnia, pela amizade e momentos de “desestresse”.

À todos os demais professores que colaboraram com seus conhecimentos na minha trajetória de aprendizagem durante o mestrado.

Ao assistente do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Paulo Henrique Morsh, pela disponibilidade, pró-atividade e eficiência.

Aos colegas, Tsiane, Katiane, Ana Paula, Milton, Daniele, Marisa, Monique, Luciana, Kelvin, Cristian, Poliana, Alisson e Amilton, componentes do Grupo de Pesquisa em Tilapicultura (GET), pelo auxílio na coleta de dados. Qualquer trabalho científico só se realiza com a dedicação de um grupo de pessoas, e este não foi diferente. Aprendi muito com vocês todos.

Ao integrante da Banca Examinadora, Daniel Vieira Crepaldi, por ter aceitado o convite e pelo trabalho de leitura e crítica desta dissertação.

Às colegas de classe Elaine Caroline Cardoso e Ana Paula Leonel pela ajuda e amizade. Espero não “perdê-las de vista” com o passar do tempo.

Ao incrível colega Loreno Egídio Taffarel, pela sabedoria de vida partilhada, diminuindo o peso da minha culpa todas as vezes que tive que me despedir da minha filha para dedicar tempo à conclusão deste trabalho.

À minha filha que de modo involuntário e diferente também ajudou muito na conclusão de mais esta etapa na minha vida, porque é ela quem coloca meus pés no chão e que dá sentido para que eu tenha responsabilidade, disciplina e dedicação, conseguindo administrar o meu tempo e concluir tudo o que começo, sem jamais deixar de dedicar-me a ela.

Ao pai da minha filha, Emerson, pela demonstração de parceria e paciência, desempenhando ao mesmo tempo o papel de pai e mãe quando eu não estava presente; por revezar comigo o balançar calmante para o choro de cólica do nosso bebê, o qual se estendia do meio dia às três da manhã durante vários e longos meses seguidos. Assim, possibilitou-me algum tempo para estudar, ainda que eu me encontrasse exausta e quase sem capacidade de apreender conhecimento. Sem dúvida, esta foi a fase mais difícil de todo o mestrado.

À “energia universal” que une a teia da vida e que conecta todas as coisas, a qual, outros chamariam de “Deus”. À esta, agradeço pela existência, pela sorte, e por permitir que meu caminho se abra a novas conquistas.

“A mais pura glória do Mestre não consiste em formar discípulos que o sigam, mas em formar sábios que o superem”

Ramon Y. Cajal

RESUMO GERAL

Este estudo teve por objetivos prever o peso de filé (PF) e o rendimento de filé (RF) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a partir de medidas externas mensuradas por morfometria e medidas da musculatura epiaxial, mensuradas por ultrassonografia, e validar as equações estimadas utilizando outra amostra de dados biométricos. Um total de 102 peixes adultos, da linhagem GIFT, machos invertidos, pesando entre 260 e 580 g, foram avaliados quanto ao peso total (PT), circunferência corporal média (CR) e mensurados por ultrassonografia em quatro regiões corpóreas pré-definidas: (1) entre a base de inserção anterior da nadadeira pélvica até o término anterior da nadadeira dorsal, (2) entre a base da inserção anterior da nadadeira anal até o último raio duro da nadadeira dorsal, (3) entre a inserção final das nadadeiras anal e dorsal e (4) entre a inserção ventral e dorsal da nadadeira caudal. As equações de predição a partir das mensurações realizadas em 50 exemplares foram analisadas pelos procedimentos estatísticos *backward* e *stepwise*. As mensurações feitas nos 52 exemplares restantes foram utilizadas para a validação das equações preditoras para PF e RF. A validação foi feita a partir do ajuste de modelos lineares de 1º grau dos valores observados sobre os valores preditos por cada equação de regressão definida. As equações PF_x e RF_x , estimadas em função dos dados coletados das imagens ultrassonográficas, apresentaram valores de coeficiente de determinação (R^2) de 0,53 ($PF_1 = -17,35 + 3,66HD_2 - 45,20LE_4 + 0,55AE_2 + 4,64AE_4$) e 0,15 ($RF_1 = 26,66 + 0,043AE_2$), no *backward*, e 0,53 ($PF_2 = -58,03 + 5,65HE_4 + 0,33AD_1 + 0,65AD_2$) e 0,19 ($RF_2 = 25,02 + 0,051AD_2$), no *stepwise*. A inclusão das medidas de CR e PT como regressoras permitiu que as equações apresentassem R^2 mais elevados, com valores de 0,97 ($PF_3 = -52,25 - 1,26HE_1 - 2,03HE_3 + 0,40PT + 0,51CR$ e $PF_4 = -18,12 - 1,20HE_1 + 0,425PT$) e 0,73 ($RF_3 = 17,83 - 0,29HE_1 - 0,49HE_3 + 0,02PT + 0,13CR$), no *backward* e no *stepwise*, e 0,68 ($RF_4 = 26,14 - 0,27HE_1 + 0,027PT$), no *stepwise*, e menores valores de quadrado médio do resíduo, indicando que esses modelos de regressão apresentaram elevada aderência aos dados de PF e RF. Na validação das equações preditoras, todas foram eficientes em estimar o PF e o RF na amostra avaliada. As equações PF_3 ($P = 1,0000$), PF_4 ($P = 0,5401$), RF_3 ($P = 1,0000$) e RF_4 ($P = 0,8363$) foram as mais precisas e aplicáveis na predição de PF e RF em tilápia do Nilo. A altura do lado esquerdo nas regiões corporais 1 e 3, mensuradas por imagens ultrassonográficas, em conjunto com o peso e a circunferência corporal média, são regressoras importantes na predição do PF e RF de tilápia do Nilo. As equações de regressão PF_3 , PF_4 , RF_3 e RF_4 são recomendadas para estimar o PF e o RF de tilápia no Nilo adultas, machos fenotípicos, linhagem GIFT, com peso entre 260 e 580g.

Palavras-chave: *backward*, biometria, imagem ultrassonográfica, modelos de regressão, *stepwise*

ABSTRACT

This study aimed to predict the fillet weight (PF) and fillet yield (RF) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from external measures, measured by morphometry and measures of epiaxial muscles using ultrasound and validate the estimated equations using another sample biometric data. A total of 102 adult fish GIFT lineage, reversed males weighing between 260 and 580 g had the total weight (PT) and body circumference average (CR) all measured by ultrasonography in four predefined body regions (1) between the basis of anterior (2) between the basis of anterior insertion of anal fin to the last hard ray of dorsal fin. (3) between the final insertion of anal and dorsal fins and (4) between the ventral and dorsal insertion of caudal fin. The prediction equations from the measurements performed on 50 samples were analyzed by statistical procedures *backward* and *stepwise*. The measurements made in remaining 52 samples were used for validation of predictive equations to PF and RF. The validation were made from adjustment of linear models first degree of values observed above the values predict on each regression equation set. The equations PF_x and RF_x estimated from data collected of ultrasound images showed coefficient of determination (R²) of 0.53 (PF₁ = -17.35 + 3.66HD₂ - 45.20LE₄ + 0.55AE₂ + 4.64AE₄) e 0.15 (RF₁ = 26.66 + 0.043AE₂), in *backward*, and 0.53 (PF₂ = -58.03 + 5.65HE₄ + 0.33AD₁ + 0.65AD₂) e 0.19 (RF₂ = 25.02 + 0.051AD₂), in *stepwise*. The inclusion of measures of CR and PT as regressive equations did allow the equations to show higher values of R² such as 0.97 (PF₃ = - 52.25 - 1.26HE₁ - 2.03HE₃ + 0.40PT + 0.51CR e PF₄ = -18.12 - 1.20HE₁ + 0.425PT) and 0.73 (RF₃ = 17.83 - 0.29HE₁ - 0.49HE₃ + 0.02PT + 0.13CR), in *backward* and *stepwise*, and 0.68 (RF₄ = 26,14 - 0,27HE₁ + 0,027PT), in *stepwise*, and lower values of mean square of residue that these regression models presented high adherence to data of PF and RF. About the validation of prediction equations all of it were effective in estimating the PF and RF in the sample evaluated. The equations (P = 1.0000) PF₃, PF₄ (P = 0.5401), RF₃ (P = 1.0000) and RF₄ (P = 0.8363) were the most accurate and applicable in predicting PF and RF in Nile tilapia. The height of the left side body regions 1 and 3, measured by ultrasound images, together with the average body weight and circumference, are important in predicting of regressive of PF and RF of Nile tilapia. The regression equations, PF₃, PF₄, RF₃, and RF₄ are recommended for estimating the PF and RF of Tilapia in phenotypic males adult Nile tilapia GIFT lineage, weighing between 260 and 580 g.

Key-words: *backward*, biometry, ultrasound imaging, regression models, *stepwise*

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Localização dos quatro pontos utilizados para mensuração ultrassônica: $P_1 =$ Ponto 1, $P_2 =$ Ponto 2, $P_3 =$ Ponto 3 e $P_4 =$ Ponto 4; $CT =$ comprimento total.....	40
Figura 3.2	Imagens ultrassônicas nas diferentes regiões do lado esquerdo do peixe: a) H_1 e L_1 , b) H_2 e L_2 , c) H_3 e L_3 , d) H_4 e L_4	40
Figura 3.3	Imagens ultrassônicas: a) A seta aponta a localização da apófise espinhosa no Ponto 2; b) Ausência da apófise espinhosa no Ponto	43
Figura 4.1	Imagens ultrassônicas nas diferentes regiões do lado esquerdo do peixe: a) H_1 e L_1 , b) H_2 e L_2 , c) H_3 e L_3 , d) H_4 e L_4	56
Figura 4.2	Relação entre os valores de peso de filé observado na amostra de validação e os valores preditos pelas equações: a) $PFO_1 = 0,9539PFE_1$, b) $PFO_2 = 0,8629 * PFE_2$, c) $PFO_3 = 12,4727 + 0,9792 * PFE_3$ e d) $PFO_4 = 1,0697 * PFE_4$	64
Figura 4.3	Relação entre os valores de peso de filé observado na amostra de validação e os valores preditos pelas equações: a) $RFO_1 = 0,9585 * RFE_1$, b) $RFO_2 = 0,9728 * RFE_2$, c) $RFO_3 = 10,7950 + 0,6971 * RFE_3$ e d) $RFO_4 = 1,0666 * RFE_4$	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Modelos de predição disponíveis na literatura pra peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) obtidos por meio de medidas morfométricas.....	27
Tabela 3.1	Estatísticas descritivas de características biométricas e de peso e rendimento em filé de 50 exemplares de tilápia do Nilo.....	42
Tabela 3.2	Estatísticas descritivas de medidas morfométricas de 50 exemplares de tilápia do Nilo avaliadas por ultrassonografia.....	43
Tabela 3.3	Equações de regressão do peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) avaliados por ultrassonografia em função de regressoras morfométricas de tilápia do Nilo selecionadas pelos procedimentos <i>backward</i> e <i>stepwise</i>	44
Tabela 4.1	Equações quadráticas pré-definidas para peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF), utilizando como variáveis medidas ultrassonográficas e morfométricas, em tilápia do Nilo, linhagem GIFT, obtidas pelos procedimentos estatísticos <i>backward</i> e <i>stepwise</i>	57
Tabela 4.2	Estatísticas descritivas de medidas coletadas por ultrassonografia e morfometria em 52 exemplares de tilápia do Nilo	59
Tabela 4.3	Valores médios, desvios-padrão, valores mínimos e valores máximos, e coeficiente de variação (CV) de peso (g) e rendimento (%) de filé observado e estimados por modelos de predição em tilápia do Nilo.....	60
Tabela 4.4	Equações de regressão dos valores observados na amostra de validação em função dos valores estimados de peso e rendimento de filé de tilápia do Nilo, quadrado médio do resíduo (QM_{RES}), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade de significância do teste t parcial para os parâmetros	62
Tabela 4.5	Testes da hipótese de nulidade do modelo linear geral para a validação dos valores observados em função dos valores preditos de peso e rendimento de filé em tilápia do Nilo	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Referências	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Produção de peixes no mundo	17
2.2 Produção de peixes no Brasil.....	18
2.2 A espécie <i>Oreochromis niloticus</i>	20
2.3 Modelos de predição na avaliação zootécnica	23
2.4 Modelos de predição em peixes	24
2.4.1 Morfometria, variáveis regressoras e correlação entre características em peixes	25
2.4.2 Ultrassonografia, variáveis regressoras e correlação entre características em peixes.....	27
2.5 Referências	30
3 PREDIÇÃO DO PESO E DO RENDIMENTO DE FILÉ EM TILÁPIA DO NILO A PARTIR DE MEDIDAS ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS.....	36
RESUMO	36
ABSTRACT	37
3.1 Introdução.....	38
3.2 Materiais e métodos	39
3.3 Resultados e discussão	41
3.4 Conclusão	48
3.5 Referências	49
4 VALIDAÇÃO DE EQUAÇÕES DE REGRESSÃO DO PESO E RENDIMENTO DE FILÉ EM TILÁPIA DO NILO A PARTIR DE MENSURAÇÕES ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS	51
RESUMO	51
ABSTRACT	52
4.1 Introdução.....	53
4.2 Material e métodos.....	54
4.3 Resultados e discussão	59
4.4 Conclusões.....	67
4.5 Referências	68

1 INTRODUÇÃO

O consumo mundial de peixe tem aumentado significativamente nas últimas décadas (FAO, 2011). Pesquisas que apontam elevada qualidade nutricional protéica, lipídica e vitamínica dos produtos de peixe, juntamente com os programas de melhoramento genético, contribuíram para a elevação mundial da ingestão de pescado e seus derivados. Indiretamente, o aumento da resistência à patógenos, a melhor conversão alimentar e maior produção de filé por peso vivo de peixe favoreceram o consumo do produto, ao reduzir o preço de comercialização para a população, que, aos poucos, têm adquirido novos hábitos em países onde a procura por alimentos derivados da aquicultura não eram tão amplamente difundidos.

Devido à maior demanda, a produção mundial da aquicultura tem aumentado (FAO, 2011), opondo-se a atividade da pesca extrativista que está em declínio ou com tendência à estabilização em várias regiões (BOMBARDELLI et al., 2005).

Dentre os peixes produzidos mundialmente, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) tem sido considerada uma das prediletas pelos consumidores, principalmente nos países desenvolvidos, pois apresenta características específicas, como ausência de mioceptos no filé, textura firme, sabor delicado e ausência de odor desagradável (EL-SAYED, 2006).

Segundo dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em 2007, o Brasil foi ranqueado mundialmente como o sexto maior produtor de tilápia, apresentando capacidade elevada de produção e exploração da tilapicultura, visto que possui vasto território, autonomia na produção de cereais, clima ideal para o cultivo de tilápia e grandes reservas naturais de água doce (BRASIL, 2008). Nos anos de 2008 e 2009, a produção oriunda da tilapicultura foi de 132.000 t/ano, sendo a espécie cultivada de maior produção nacionalmente (BRASIL, 2010).

No entanto, para alcançar os índices zootécnicos desejados, são necessários programas de melhoramento genético eficientes. Os programas atuais empregam metodologias que levam ao sacrifício dos peixes. Os programas que optam por gerar informação a partir de animais aparentados são mais demorados, pois necessitam de um grande número de peixes destinados as análises de produção.

Nesse contexto, a utilização da ultrassonografia para quantificar rendimento de carcaça, mostra grandes vantagens se comparadas ao método direto de mensuração a partir da filetagem, tanto porque permite a avaliação “*in vivo*”, o que é importante para seleção inicial

de um plantel de reprodutores, quanto para otimizar o tempo dos programas de melhoramento utilizados.

A ultrassonografia foi bem explorada na avaliação de produção de carne e níveis de deposição de gordura em outras espécies, como bovinos, suínos, caprinos e aves (FISHER, 1997). Em peixes a utilização desta ferramenta permite o afastamento da sonda de leitura, o que, dependendo do tecido avaliado, auxilia na obtenção de imagens melhoradas, o que não é possível em animais terrestres.

Entretanto, esta ferramenta foi pouco utilizada para quantificar rendimentos de carcaça em peixes. Os primeiros trabalhos utilizando a ultrassonografia foram realizados visando avaliações reprodutivas como, para avaliar estágios gonadais em peixes de clima temperado (JENNINGS et al., 2005). Na área de tecnologia, o primeiro trabalho nacional foi desempenhado em surubim (*Pseudoplatystoma* sp.) por Crepaldi et al. (2004). Porém, trabalhos utilizando imagens ultrassonográficas para quantificar peso e rendimento de filé em tilápia do Nilo ainda não foram desenvolvidos.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivos predizer a relação entre o peso de filé (PF) e o rendimento de filé (RF) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a partir de medidas internas da musculatura epiaxial mensuradas por ultrassonografia, e externas selecionadas por morfometria, e validar as equações estimadas utilizando outra amostra de dados biométricos.

1.1 Referências

BOMBARDELLI, R.A.; SYPPERRECK, M.A.; SANCHES, E.A. Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. **Arquivos ciência veterinária zoologia**, v.8, n.2, p.181-195, 2005.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Estatística da pesca no Brasil: grandes regiões e unidades da federação**. Brasília, 2008. 151 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (MPA). **Estatística da Pesca e Aquicultura**. Brasília, 2010. Disponível em : <www.mpa.gov.br>, acesso em 22 de agosto de 2011.

CREPALDI, D.V. **Avaliação da técnica de ultra-sonografia como indicador de rendimento de carcaça e biometria em surubim (*Pseudoplatystoma spp.*)**. 2004. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

EL-SAYED, A.-F.M. **Tilapia Culture**. London: CABI publishing, 2006. 277p.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2006**. Disponível em: <www.fao.org>, acessado em 15/11/2011.

FISHER. A.V. A review of the technique of estimating the composition of livestock using the velocity of ultrasound. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.17, p.217-231, 1997.

JENNINGS, C.A.; WILL, T.A.; REINERT, T.R. Efficacy of a high- and low-frequency ultrasonic probe for measuring ovary volume and estimating fecundity of striped bass *Morone saxatilis* in the Savannah River Estuary. **Fisheries Research**, v.76, n.3, p.445–453, 2005.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de peixes no mundo

Mundialmente, as mudanças no hábito alimentar da população tem contribuído para aumentar a demanda por peixes. Segundo dados da FAO, em 2008 foram consumidas mundialmente, 115 milhões de toneladas de peixes, correspondendo a quase 17 kg por habitante, o que satisfaz 15% da média de consumo de proteína animal de mais de 3 bilhões de pessoas, e um aumento na demanda é esperado para os próximos anos (FAO, 2011a).

Os setores da pesca e aquicultura, tem apresentado crescimento nas oportunidades de emprego. Os números são superiores aos mostrados pela agricultura tradicional. Em 2008, cerca de 45 milhões de pessoas foram diretamente empregadas no setor, que somadas aos dependentes destes trabalhadores, a pesca e a aquicultura contribuíram para a subsistência de 8% da população mundial (FAO, 2009).

Segundo Hazin (2006), a produção mundial de pescado e aquicultura representava no ano de 1950 apenas 17 milhões de toneladas. Em 1960, essa produção alcançou o valor de 35 milhões de toneladas, representando um crescimento de 100% em uma única década. A partir dos anos 70, a percentagem de crescimento passou a declinar de forma acentuada, levando duas décadas para a produção dobrar novamente, obtendo-se cerca de 70 milhões de toneladas somente em 1980.

Apesar da variação do crescimento produtivo mundial de peixes, se comparados os dados de produção em 1950 com os atuais, o aumento na produção deveu-se ao fato de que a partir da década de 50 a logística ligada à produção piscícola foi modernizada pelo desenvolvimento nos meios de transporte e de comunicação, ocorreu aperfeiçoamento da reprodução artificial e grande progresso no campo da nutrição animal, com o desenvolvimento de alimentos balanceados para peixes (CAMARGO e POUHEY, 2005).

Em 2008, a produção mundial ultrapassou 140 milhões de toneladas. Desse montante, mais de 40 milhões foi contribuição da produção chinesa (FAO, 2011a), país onde iniciou-se o cultivo controlado ou semicontrolado de organismos aquáticos a cerca de 4.000 anos (CAMARGO e POUHEY, 2005). A China é o maior produtor mundial de tilápia, com valores que atingiram um milhão de toneladas no ano de 2008, correspondendo a aproximadamente 60% da produção mundial do peixe (FAO, 2009).

As exportações mundiais de pescado e produtos pesqueiros alcançaram em 2008 a cifra recorde de 102.000 milhões de dólares, o que sugere um incremento de 9% se comparado ao ano de 2007. Apesar de ter sofrido uma queda em 2009, os dados correspondentes ao ano de 2010 indicam que o comércio de pescado está se recuperando. De maneira geral, os mercados mundiais desses produtos estão se expandindo, o que representa uma crescente fonte de ingressos de divisas para países em desenvolvimento, como o Brasil (FAO, 2011a).

2.2 Produção de peixes no Brasil

Segundo o Ibama, a produção de animais aquáticos é dividida em duas modalidades: (1) Pesca Extrativa, quando ocorre a retirada de organismos aquáticos da natureza em escala artesanal ou industrial; se esta ocorre no mar é denominada pesca extrativa marinha, quando em águas continentais é denominada pesca extrativa continental; e (2) Aquicultura, que compreende o processo de produção de organismos aquáticos como crustáceos, peixes, moluscos, anfíbios e quelônios em cativeiro, no mar ou em águas continentais, consistindo nas atividades de maricultura ou aquicultura continental, respectivamente (BRASIL, 2008).

Embora o Brasil produza espécimes em ambas as modalidades, a piscicultura vem assumindo valor cada vez maior no fornecimento alimentar da população, uma vez que a taxa de crescimento demográfico está em ritmo de colisão com a oferta de alimentos, principalmente os de origem animal, que requerem uma veemência maior para serem produzidos (FRANÇA NETO et al., 1998).

O Brasil possui um dos menores consumos de peixes do mundo, contribuindo com apenas 5% das carnes consumidas. A falta de hábito no consumo de carne de peixe pelos brasileiros, associada, principalmente a falta de qualidade, praticidade, diversidade (BOMBARDELLI et al., 2005), padronização, forma de apresentação (CARVALHO e LEMOS, 2009), problemas tecnológicos e sanitários dos produtos comercializados (GAGLEAZZI et al., 2002) justificam o baixo consumo de pescado no Brasil.

Segundo Souza (2005), uma das alternativas para incrementar o consumo de proteínas de origem animal é a aquicultura, que representa também, um importante fator de desenvolvimento socioeconômico para o Brasil, mostrando-se um dos sistemas de produção de alimentos que mais cresce no mundo, e que pode contribuir muito com a elevada demanda mundial de pescado.

Embora não esteja entre as dez maiores potências na produção total aquícola, o Brasil destaca-se como o sexto maior produtor de tilápia cultivada do mundo, ou sétimo se for considerado Taiwan em separado da China. O Brasil possui potencial para se tornar um dos maiores fornecedores mundiais de peixes oriundos da aquicultura, incluindo a tilápia, pois tem excelentes condições climáticas para a espécie *Oreochromis niloticus*, o maior volume de água doce do planeta, autonomia na produção de cereais, tecnologia e parque industrial trabalhando com elevada ociosidade, mercado consumidor interno com crescimento potencial, além de profissionais especializados e focados no desenvolvimento do animal para melhor aproveitamento da carne e maior produtividade (BRASIL, 2008).

A tilapicultura brasileira firmou-se como atividade empresarial a partir da década de 1980, quando surgiram os empreendimentos pioneiros no setor, porém foi somente na década de 90 que a atividade prosperou nacionalmente (JUNIOR e JUNIOR, 2008), intensificando-se particularmente no Sudeste e no Nordeste do país (BRASIL, 2008). No entanto, a maioria da produção aquícola do Brasil desenvolve-se em pequenas propriedades (ZIMERMANN, 2004).

Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), de acordo com os dados de 2009, o Nordeste é a maior região produtora de pescado do Brasil com 411.000 toneladas (t) por ano, seguida da região Sul, com 316.000 t/ano. A região Norte está em terceiro lugar, com 263.000 t, a Sudeste com 177.000 t e, por último, a Centro-oeste com 72.000 t. Santa Catarina é o maior produtor entre os estados, com 207 mil t/ano, seguido do Pará com 136.000 t. A Bahia, com 119.000 t, é o terceiro maior produtor nacional, seguida de perto pelo Ceará, com 88 mil toneladas (BRASIL, 2010).

A produção total de pescado brasileira em 2007 foi de 1.072.226 t, das quais a aquicultura corresponde com uma quantia de 210.644,5 t, representando 19,6% da produção de pescado total do Brasil (BRASIL, 2008). A produção brasileira de pescado cresceu em média, no período de 2000 a 2009, 23,8% ao ano, enquanto a aquicultura mundial cresceu 10,2% (FAO, 2009).

Nos anos de 2008 e 2009, a aquicultura foi de suma importância no crescimento da produção de pescado no país. Somente a piscicultura teve elevação de 60,2% quando comparada com dados produtivos de 2007. A criação de tilápia chegou a 132.000 t/ano e se constitui em espécime da produção aquícola, representando 39% do total de pescado cultivado (BRASIL, 2010).

O tambaqui apresentou um crescimento significativo de produção, passando de 30.598 t em 2007 para 46.454 t/ano em 2008 e 2009. A produção de camarão, apesar das

dificuldades que este segmento enfrentou durante o período, também mostrou resultados importantes, conservando-se num patamar de cerca de 70.000 t/ano (BRASIL, 2010).

As exportações brasileiras tiveram como principal destino os EUA, país que em valores absolutos no ano de 2009, responderam por 71 milhões de dólares nas compras de 7.000 toneladas de pescado. A França foi o segundo destino com 28 milhões de dólares distribuídos em 6.000 toneladas. A Espanha ocupa o terceiro lugar, com 13 milhões de dólares por conta de 4.000 toneladas. Se for comparada a relação dólar/kg, a melhor média foi a do Japão, com 16,58, apesar do quarto lugar geral. E a pior média foi a da Coreia do Sul, com 2,74, que ocupou o quinto lugar no ranking de faturamento (BRASIL, 2010).

2.2 A espécie *Oreochromis niloticus*

A tilápia pertence à ordem Perciformes e à família Cichlidae (EL-SAYED, 2006), distribuiu-se em grande número de espécies de peixes de origem exclusivamente africana (excluindo-se Madagascar), que se desenvolveram no vale do rio Nilo e se espalharam para as regiões Central, Oeste e Sul da África e desses locais para os grandes lagos (SILVA, 2009).

Os primeiros estudos relacionados ao cultivo de tilápia iniciaram-se no Congo Belga, atualmente conhecido como Zaire, no início do século dezenove. A partir de 1924 o cultivo de tilápia intensificou-se no Quênia e sua primeira introdução exótica ocorreu na Malásia, e expandindo-se para outras partes do mundo (CAMPO, 2008).

Existem 70 espécies de tilápia distribuídas em quatro gêneros: *Oreochromis*, *Tillapia*, *Danakilia* e *Sarotherodon* (PROENÇA e BITTENCOURT, 1994). Segundo Kubitzka (2010), apenas o gênero *Oreochromis* destaca-se nos cultivos aquícolas mundiais e tem como representantes quatro espécies: *O. niloticus* (tilápia do Nilo), *O. mossambicus* (tilápia de Moçambique), *O. aureus* (tilápia Áurea ou Azul) e *O. urolepis hornorum* (tilápia de Zanbizar).

Dentre os gêneros, o *Oreochromis* sp. é o terceiro grupo de peixes mais cultivado do mundo (FAO, 2009) e foi introduzida em países das regiões tropicais e subtropicais com a finalidade de melhorar a produtividade pesqueira, auxiliar o desenvolvimento da aquicultura, controle de infestantes aquático, pesquisas científicas e pesca recreativa (EL-SAYED, 2006).

No Brasil, a espécie foi introduzida por intermédio do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) em açudes do Nordeste, difundindo-se para todo o país. A primeira espécie introduzida foi a do Congo, em 1952 (SILVA, 2009). As principais

linhagens de tilápia do Nilo no Brasil são a Bouaké, Chitralada e GIFT (*Genetic Improved Farmed Tilapia*), esta última, resultado do programa de melhoramento genético de tilápia do Worldfish Center, na Malásia, a partir da tilápia do Nilo (GUPTA e ACOSTA, 2004).

A tilápia do Nilo tem como temperatura ambiente ideal 28°C, mas sobrevive em temperatura entre 11 e 42°C. Sua coloração varia de prata a cinza escura, com listras transversais na nadadeira caudal, cabeça de coloração clara, nadadeira dorsal longa, nadadeiras peitorais transparentes, escamas grandes de pouco brilho e corpo arredondado (SILVA, 2009).

O filé é o principal produto obtido do processamento de tilápia, com rendimento por peso de peixe vivo, situando-se entre 30,00 e 37,8% (RUTTEN et al., 2004; BARBOSA et al. 2008; SILVA et al. 2009; NGUYEN et al., 2010; FÜLBER et al., 2010) o que é considerado alto, segundo Zimmermann e Fitzsimmons (2004).

Porém esses valores de rendimento de filé em tilápia do Nilo são inferiores aos encontrados em truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), com 43,0% (MACEDO-VIEGAS et al., 2002), jundiá (*Rhamdia quelen*) com 34,3 a 41,6% (LAZZARI et al., 2006) e traíra (*Hoplias malabaricus*) com 44,33% (SANTOS et al., 2001), por exemplo.

Apesar de menor rendimento de filé, se comparada a outros peixes, a tilápia do Nilo representa uma das espécies de peixes com maior potencial para a aquicultura, pois possui alimentação macrófaga e onívora, podendo consumir grande variedade de alimentos naturais, contribuindo para controlar plantas aquáticas submersas e flutuantes, favorecendo o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (SILVA, 2009). É considerada um peixe rústico, precoce e tolerante a diversas condições ambientais como, variação de temperatura, baixa concentração de oxigênio dissolvido (MARENGONI, 2006), salinidade (eurialina), conferindo capacidade de adaptação a ambientes diversos, podendo ser cultivadas em águas doce, salobra ou salgada (KUBITZA, 2005), facilitando sua disseminação.

A *O. niloticus* é resistente ao estresse e a doenças, possui habilidade na reprodução em cativeiro, com curto tempo de geração, alimentando-se de níveis tróficos inferiores. A tilápia aceita alimentos artificiais imediatamente após absorção do saco vitelino (EL-SAYED, 2006), apresenta facilidade de produção e obtenção de alevinos, possui excelente crescimento em cultivos intensivos, com possibilidade de intervenção hormonal para obtenção de machos invertidos (SIMÕES et al., 2007).

A tilápia do Nilo apresenta carne saborosa, com baixo teor de gordura e de calorias, o que a torna apropriada para industrialização. Possuindo elevado valor comercial, principalmente nos países desenvolvidos por ter requisitos típicos dos peixes preferidos pelo

consumidor, tais como carne branca de textura firme, sabor delicado e fácil filetagem por não ter mioceptos (SOUZA, 2002). A presença de espinhos não impede a filetagem em outras espécies de peixes, porém, filés contendo mioceptos são considerados de menor qualidade (OLIVEIRA et al., 2001).

A variação encontrada no rendimento de filé deve-se a fatores como peso ao abate, método de filetagem, destreza do filetador, quantidade de gordura visceral, forma de cultivo e linhagem utilizada (MARENGONI e SANTOS, 2006).

Quanto ao aspecto nutricional, os peixes possuem baixos níveis de colesterol, elevada concentração de vitaminas do complexo B, ácidos graxos Omega 3 e 6, minerais e todos os aminoácidos essenciais, que eleva a digestibilidade protéica, devido a alta concentração de lisina (OETTERER, 2002).

Em sistemas de cultivo, a tilápia do Nilo pode atingir maturidade reprodutiva precoce, que ocorre em torno de 90 a 120 dias após estocagem dos alevinos, dependendo da alimentação e temperatura da água, causando superpopulação nos viveiros e elevando a competição por alimento, o que é prejudicial para a cultura comercial como atividade econômica (CORREIA et al., 2006).

A superpopulação de tilápia em cultivos comerciais, somado ao interesse em aumentar a produção de carne de *O. niloticus* favoreceram trabalhos que priorizavam a produção monosexo desses peixes.

A inversão sexual de fêmeas genótípicas (XX) para machos fenotípicos (XX), ocorre por meio da adição do hormônio sexual masculino 17- α -metiltestosterona na ração. A eficiência da reversão sexual é alta, em torno de 95% (FAO, 2011b). a eficiência da inversão sexual depende da qualidade hormonal, taxa de ingestão de ração e eficiência do manejo.

Segundo Correia et al. (2006), a reversão sexual em tilápia mostra grande vantagem na produção de filé, pois o período de crescimento é duas vezes mais rápido nos machos do que nas fêmeas. Estas utilizam boa parte de sua energia para produção de óvulos e incubação bucal dos embriões em desenvolvimento, permanecendo sem se alimentar num intervalo de aproximadamente 10 dias, dependendo da temperatura da água.

Apesar de sua elevada taxa de reprodução são animais pecilotérmicos sendo que duração dos eventos espermatogênicos pode sofrer interferência direta da temperatura da água. Em temperaturas mais elevadas os eventos são mais acelerados se comparados a exposição de temperatura em torno de 25° C. Segundo Vilela et al. (2003), tilápias cultivadas em temperatura de 20° C podem apresentar uma perda da fase paquíteno avançada.

Na região Nordeste, beneficiada pelas temperaturas mais elevadas durante todo o ano, infraestrutura e logística disponível para beneficiamento e exportação de outros produtos do setor, como o camarão (*Litopenaeus vannamei*), pode ser utilizada para o escoamento dos produtos da tilapicultura. Muitos produtores têm preferido cultivos consorciados (camarão e tilápia) ou pelo monocultivo de tilápia, uma vez que devido a problemas de sanidade nas culturas do camarão marinho, muitos carcinicultores estão apostando na tilapicultura (SOUSA et al., 2010).

2.3 Modelos de predição na avaliação zootécnica

Muitas dificuldades podem ser encontradas na avaliação zootécnica por ensaios tradicionais, em que se destacam os procedimentos de análise complexos e longos, custo oneroso, falta de equipamentos para coleta de dados específicos, metodologias invasivas e que causam grande mortalidade de exemplares.

Estes fatores incentivaram inúmeras pesquisas direcionadas a elaborar e aperfeiçoar modelos de regressão para estimar características difíceis de serem avaliadas em animais e em alimentos destinados a formulação de rações. Isso se deve a grande variabilidade que existe na composição dos alimentos utilizados na formulação de rações para animais.

A qualidade de nutrientes do solo destinado ao cultivo, sazonalidade pluviométrica, armazenamento, idade de colheita, processos industriais, entre outros, contribuem para a grande variabilidade nos teores de energia e digestibilidade dos cereais utilizados na elaboração de dietas.

Neste contexto, os primeiros trabalhos utilizando predição por equações na zootecnia foram realizados com alimentos ingredientes de rações. Na bibliografia, as equações mais sugeridas buscam estimar valores energéticos gerais em alimentos (ALVARENGA et al., 2011), digestibilidade da matéria orgânica (MAHIPALA et al., 2009), proteína metabolizável (NSAHLAI et al., 2004; SILVA et al., 2007), energia metabolizável (LUO et al., 2004; ZHOU et al., 2010; TAGLIAPIETRA et al., 2011; ROBINSON et al., 2011), energia digestível (BLAS et al., 1992), energia líquida (BOEVER et al., 1988)

Equações que predizem taxa de consumo (ROSELER et al., 1997), peso e rendimento de carcaça (GREINER et al., 2003), foram posteriormente desenvolvidas para

animais, enquanto àquelas para ingredientes estavam constantemente sendo sugeridas e testadas em ensaios *in vivo*.

Apesar do grande esforço em buscar equações de predição, muitas preditoras, aparentemente bem ajustadas aos dados originais, não respondem satisfatoriamente quando testadas com dados independentes (ALVARENGA, 2009). Porém, existe uma tendência de aumento na exatidão das estimativas produzidas por modelos de predição, pois, segundo Detmann et al. (2005), o conceito moderno de ‘pecuária de precisão’, exige que respostas produtivas devem ser previstas, impostas e contabilizadas o mais acuradamente possível.

A meta-análise tem sido utilizada recentemente para aumentar a confiabilidade das equações desenvolvidas para predição. Esta metodologia consiste em combinar resultados de vários estudos para fazer uma síntese reproduzível e quantificável dos dados, estimando com maior precisão o efeito dos tratamentos, ajustando-os para a heterogeneidade experimental (LOVATTO et al., 2007). O que justifica essa combinação de dados na meta-análise é que o resultados alcançados em pesquisas únicas reflete as condições ambientais do experimento, e não devem ser utilizados para inferências populacionais (SAUVANT et al., 2005).

2.4 Modelos de predição em peixes

Pesquisas que sugerem modelos de equações de predição na piscicultura são recentes. Na literatura, há equações para prever digestibilidade protéica e conteúdo de aminoácidos em rações para peixes (SALES, 2008), canibalismo em juvenis em tilápia do Nilo (FESSEHAYE et al., 2006), conteúdo lipídico em filé de dourada *Sparus aurata* (BALLESTER-LOZANO et al. 2011), requerimentos alimentares em carpa gibel *Carassius auratus gibelio* (ZHOU et al. 2005).

Na área de tecnologia do pescado, mudanças do frescor de carpa capim durante o armazenamento (ZHANG et al., 2011) também foram trabalhados visando-se estimar estas características.

O primeiro trabalho sugerindo equações de predição para avaliar características de rendimento na piscicultura foi realizado por Bosworth et al. (2001), por meio de ultrassonografia, técnica não invasiva de coleta de dados, em bagres do canal (*Pangasianodon* sp.).

Posteriormente, estudos neste sentido, porém utilizando dados morfométricos como metodologia não invasiva, foram realizados em tilápia do Nilo (RUTTEN et al., 2004; PIRES et al., 2011) e em catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* (SANG et al., 2009).

Crepaldi et al. (2008), utilizaram ambas metodologias não invasivas para formular equações para prever rendimentos em surubins híbridos (*Pseudoplatystoma* spp.).

2.4.1 Morfometria, variáveis regressoras e correlação entre características em peixes

A morfometria consiste em uma técnica não invasiva, recentemente utilizada para avaliar rendimento corporal na piscicultura. Esta apresenta variação de acordo com as características de cada espécie, prática do avaliador, metodologia utilizada (BOSWORTH et al., 2001) e influencia no rendimento e peso de filé do peixe (CIBERT et al., 1999).

Geralmente, a mensuração de estruturas externas do peixe resulta em altos valores de correlação (r) e de coeficiente de determinação (R^2) para comprimento e peso. Porém, Rutten et al. (2004) comentaram que muitos destes trabalhos que utilizaram biometria externa têm apresentado baixa relação linear entre rendimento do filé e as características corporais. Gonçalves et al. (2001) concluíram que os rendimentos de carcaça e filé não dependem do peso com que as tilápia do Nilo são abatidas.

Nguyen et al. (2010) mostraram que em tilápia do Nilo (linhagem GIFT), o peso de filé tem maior correlação genética com o peso corporal (0,96) do que com o tamanho do corpo (0,82). A correlação genética entre rendimento de filé e peso do peixe foi baixa (0,44). Santos (2004), ao correlacionar medidas de conformação e peso de carcaça e filé em tilápia do Nilo, encontrou valores superiores a 0,90. Charo-Karisa et al. (2007) encontraram correlações fenotípicas entre 0,64 e 0,89 para medidas corporais com o peso vivo da tilápia.

Bentes et al. (2009) mostraram em urijuba (*Arius parkeri*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e dourada (*Brachyplatystoma flavicans*), espécies de peixes amazônicos, que os modelos de regressão linear múltipla estimados apresentaram-se adequados para explicar o peso em função do comprimento e da circunferência nas três espécies, o que pode ser observado pelos elevados coeficientes de determinação ($R^2 > 0,89$). As variáveis comprimento e circunferência estiveram fortemente associadas ao peso, devido aos elevados valores de coeficiente de correlação.

Cibert et al. (1999) propuseram um modelo baseado na análise de imagem automática da projeção lateral de carpa comum (*Cyprinus carpio*) relacionando-a com o rendimento de filé. A partir da análise dos dados morfométricos, os autores sugeriram um morfotipo que indicasse alto rendimento de filé. Este foi definido por quatro ângulos e duas distâncias que quantificam o formato da cabeça e da posição do pedúnculo caudal, respectivamente. A principal característica desse morfotipo é a ausência de um grande desenvolvimento ventral e a posição dorsal do pedúnculo caudal. Os autores observaram que em peixes grandes e pesados havia interferência no rendimento de filé, devido ao aumento na região abdominal dos peixes, o que não acontece em peixes menores.

Em piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), Freato et al. (2005) mostraram que os peixes abatidos com pesos mais elevados proporcionaram maior rendimento de filé sem pele ($R^2 = 0,91$) e menores porcentagens de rendimento de cabeça ($R^2 = 0,80$) e de resíduo de filetagem ($R^2 = 0,90$). Entretanto, a redução da porcentagem de cabeça não foi suficiente para aumentar o rendimento de carcaça devido, provavelmente, ao aumento da porcentagem visceral ($R^2 = 0,99$) em função do aumento do peso corpora.

Sang et al. (2009), utilizaram medidas externas do corpo do catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) com o objetivo de prever o peso e o rendimento de filé em peixes vivos e alcançaram valores de coeficiente de determinação (R^2) para peso de filé igual a 0,86 e rendimento de filé igual a 0,77 (Tabela 1.1). Esses resultados indicaram que as medidas do corpo podem ser utilizadas para prever o peso e o rendimento de filé em catfish, porém, as equações podem ser melhoradas reduzindo os erros de medição na filetagem, buscando variáveis adicionais ou aumentando o banco de dados.

Rutten et al. (2004) coletaram dados pré-abate para peso corporal, comprimento, altura, largura e comprimento corrigido de filé, mensurados em 1215 tilápias do Nilo, com peso médio de 700g, de três diferentes origens/linhagens. Esses dados foram posteriormente utilizados para prever o peso de filé e rendimento de filé utilizando modelos de regressão linear. O rendimento de filé obtido foi de 35,7%, com grandes diferenças entre as linhagens (34,4-38%).

No mesmo trabalho, os autores obtiveram uma relação quase linear entre as medidas do corpo e o peso de filé ($R^2 = 0,95$), porém, as relações com o rendimento de filé ($R^2 = 0,15$) foram baixas (Tabela 1.1); a correlação entre os valores observados e preditos de peso de filé foram de 0,98 e os de rendimento de filé foram de 0,38. A correlação entre peso de filé e largura do peixe (0,76) e entre peso de filé e altura do peixe (0,91) foi elevada. A correlação

entre largura do peixe e rendimento de filé foi quase duas vezes a magnitude da correlação entre o comprimento corrigido e o rendimento de filé.

Tabela 2.1 Modelos de predição disponíveis na literatura pra peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) obtidos por meio de medidas morfométricas.

Espécie	Equação ⁽¹⁾	R ²	Referência
<i>Oreochromis niloticus</i>	PF = 4,19 + 0,38b _(BW) - 0,61b _(L) - 6,089b _(H) + 13,02b _(W) + 11,71b _(CL) RF = 32,44 - 0,94b _(L) - 0,96b _(H) + 1,86 b _(W) + 1,39 b _(CL)	0,15 0,95	RUTTEN et al. (2004)
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>	PF = -73,18 + 0,29V + 8,35L ₄ - 54,87H ₄ + 53,10W ₄ - 8,76H ₁ + 16,72W ₁ RF = 5,72 + 27,76V _{BW} - 3096,26W _{BW1} + 1414,39W _{BW2} + 312,76L _{BW4} + 2303,50W _{BW4}	0,86 0,77	SANG et al. (2009)
<i>Oreochromis niloticus</i>	PF = 237,4430 + 0,2462PESO - 9,9097CC - 3,1205AC ₁ - 1,8192CT - 2,2232CTR RF = 59,4165 - 1,1853CC - 0,2029CT - 0,0083PESO - 0,3393AC ₁ - 0,2636CTR	0,80 0,16	PIRES et al. (2011)

⁽¹⁾ b_(BW) = peso corporal, b_(L) = comprimento padrão, b_(H) = altura, b_(W) = largura, b_(CL) = comprimento do filé corrigido, V = volume, L = comprimento, H = altura, W = largura para as respectivas posições 1,2,3 e 4, ou para os pesos corporais (BW) utilizados no estudo, PESO = peso corporal, CC = comprimento da cabeça, AC₁ = altura caudal, CT = comprimento total e CTR = comprimento do tronco.

R² = coeficiente de determinação.

Pires et al. (2011) obtiveram um modelo de regressão linear a partir de parâmetros corporais externos de fácil observação ao avaliarem 890 tilápias do Nilo, das quais foram mensuradas o comprimento total, o comprimento-padrão, o comprimento da cabeça e do tronco, a altura da cabeça, a altura lombar, a altura caudal, a espessura lombar e caudal, o peso corporal, o peso de filé e o rendimento de filé. O R² para o modelo do PF foi 0,80, demonstrando que as medidas corporais são confiáveis para se estimar o peso do filé nesta espécie (Tabela 1.1). O mesmo não foi obtido para o RF, que apresentou R² de 0,16, valor não considerado adequado para se estimar o rendimento do filé. Os autores comentam que devem ser realizados novos estudos para se obter um modelo mais confiável.

2.4.2 Ultrassonografia, variáveis regressoras e correlação entre características em peixes

Desde 1950 o ultrassom tem sido utilizado na produção animal para avaliar a composição corporal e proporção de tecidos (FISHER, 1997). A partir da década de oitenta,

esta técnica vem sendo utilizada como uma ferramenta não invasiva para avaliação de uma série de condições corporais em organismos aquáticos (JENNINGS et al., 2005).

A técnica de ultrassonografia baseia-se na captação de sons refletidos (ecos) que passam por tecidos de impedâncias diferentes, gerando imagens que podem ser facilmente interpretadas (GODDARD, 1995). As ondas sonoras são produzidas por vibrações de cristais especializados (cristais piezoelétricos) alojados no transdutor de ultrassom em resposta a pulsos de energia elétrica (GRIFFIN e GINTHER, 1992).

Segundo Griffin e Ginther (1992), para a leitura das imagens a sonda ultrassônica emite ondas de alta frequência sendo, na piscicultura, comumente utilizadas ondas entre 3,5 e 7,5 MHz. Quanto maior a frequência da onda transmitida, menor a capacidade de transpassar o tecido e melhor a resolução das imagens obtidas. Portanto, em estruturas pequenas situadas próximas ao transdutor, como a região muscular em peixes, o ideal é que a leitura seja realizada com sonda de 5.0 a 7.5 MHz.

A velocidade do ultrassom está em função da densidade e da compressibilidade adiabática do meio de propagação. O pulso de ultrassom é propagado como uma onda que gradualmente perde sua pressão pela absorção da energia que se dissipa como calor, e por espalhamentos parciais e reflexão de estruturas de tecidos que desviam a energia do feixe. Essas proporções de energia refletida e transmitida dependem da impedância do tecido em questão (FISHER, 1997).

A qualidade da imagem gerada pode ser influenciada diretamente pela composição corporal do animal, pela interferência do ar do meio quando há formação de bolhas na leitura realizada em meio líquido (CREPALDI et al., 2006), pelo número de elementos em cristais do transdutor, pela taxa de captação de imagens por segundo e muitos outros fatores (GRIFFIN e GINTHER, 1992).

A impedância acústica, que é o produto da densidade do tecido e da velocidade do som nesse meio, é bastante semelhante nos tecidos magros e gordurosos, com valores de 1,70 e $1,30 \times 10^6$ kg/s/m², respectivamente. Devido essa semelhança, 98% da energia é transmitida através da segunda camada de tecidos gordos ou magros, e apenas 2% da energia é refletida para captura do transdutor gerando as imagens ultrassonográficas (FISHER, 1997).

Dessa forma, em peixes não gordurosos, como tilápia, a ultrassonografia é eficiente para determinar estruturas de tecidos musculares em apenas uma leitura. Além disso, pode ser considerado um método rápido e não destrutivo para avaliar a composição em tecidos de peixes (GHAEDIAN et al., 1998).

Segundo Crepaldi et al. (2008), a utilização da ultrassonografia para quantificar parâmetros de carcaça em piscicultura é uma metodologia relativamente nova e pouco aplicada em espécies de peixes de clima tropical, pois a maioria destes trabalhos tem sido desenvolvida em espécies de clima temperado. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com outras espécies animais visando correlacionar as medidas obtidas por ultrassom de áreas específicas, como a área do *Longissimus dorsi* e a espessura de gordura com o rendimento após o abate.

Bosworth et al. (2001) avaliaram imagens ultrassônicas de 30 bagres do canal pesando de 535 a 867g e as relacionaram com o rendimento de carcaça dos animais após o abate, comparando-se as imagens transversais de ultrassom feitas na musculatura e sua posterior medição nos cortes transversais do músculo. A mensuração dos cortes congelados e a área obtida pelo ultrassom não mostraram diferenças significativas entre si e as correlações entre tais medidas foram altas ($r = 0,84$ a $0,94$, $P < 0,001$), indicando que as imagens de ultrassom podem ser utilizadas para se calcular a área da musculatura desses peixes.

No Brasil, o primeiro trabalho utilizando a ultrassonografia na avaliação do rendimento em peixes foi o de Crepaldi (2004), que avaliaram 34 surubins híbridos (*Pseudoplatystoma coruscans* X *Pseudoplatystoma fasciatum*) vivos, divididos em dois grupos (grupo1: peso médio de 2,5 kg e grupo2: peso médio de 1,5 kg). O autor mensurou o comprimento total do peixe, o comprimento padrão, o comprimento de cabeça e o peso total do peixe. Por meio de imagens ultrassonográficas, foi mensurada a altura, largura e área da musculatura epiaxial em quatro pontos definidos: (1) base anterior da nadadeira dorsal, (2) base posterior da nadadeira dorsal, (3) base anterior da nadadeira adiposa e (4) base do pedúnculo caudal. Todas as mensurações descritas foram correlacionadas com o peso da cabeça, peso da carcaça, peso do filé de barriga e peso do filé de lombo. A partir disso o autor estabeleceu o melhor ponto de leitura ultrassônica para quantificar o rendimento de carcaça em surubins, qual situou-se na porção anterior da nadadeira adiposa.

2.5 Referências

ALVARENGA, R.R. Valores energéticos de alimentos concentrados determinados com frangos de corte e por equações de predição. 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ALVARENGA, R.R.; RODRIGUES, P.B.; ZANGERONIMO, M.G. et al. Energetic values of feedstuffs for broilers determined with in vivo assays and prediction equations. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, n.3-4, p. 257-266, 2011.

BALLESTER-LOZANO, G.F.; BENEDITO-PALOS, L.; NAVARRO, J.C. et al. Prediction of fillet fatty acid composition of market-size gilthead sea bream (*Sparus aurata*) using a regression modelling approach. **Aquaculture**, v.319, n.1-2, p. 81-88, 2011.

BARBOSA, A.C.B.; CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M. et al. Desempenho e Avaliação Sensorial de Duas Linhagens de Tilápia do Nilo. **Revista Científica Produção Animal**, v.10, n.1, p.50-59, 2008.

BENTES, A.S.; SOUZA, H.A.L; MENDONÇA, X.M.F.D. et al. Caracterização física e química e perfil lipídico de três espécies de peixes amazônicos. **Revista Brasileira de tecnologia Agroindustrial**, v.03, n.2, p.97-108, 2009.

BLAS, C.; WISEMAN, J.; FRAGA, M.J. et al. Prediction of the digestible energy and digestibility of gross energy of feeds for rabbits. 2. Mixed diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, n.1-2, p.39-59, 1992.

BOEVER, J.L. COTTYN, B.G. ANDRIES, J.I. et al. The use of a cellulase technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of forages. **Animal Feed Science and Technology**, v.19, n.3, p.247-260, 1988.

BOMBARDELLI, R.A.; SYPPERRECK, M.A.; SANCHES, E.A. Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. **Arquivos de ciência, veterinária e zoologia**, v.8, n.2, p.181-195, 2005.

BOSWORTH, B.G.; HOLLAND, M.; BRAZIL, B.L. Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish. **Journal of Animal Science**, v.79, n.6, p.1483-1490, 2001.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Estatística da pesca no Brasil: grandes regiões e unidades da federação**. Brasília, 2008. 151 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (MPA). **Estatística da Pesca e Aquicultura**. Brasília, 2010. Disponível em : <www.mpa.gov.br>, acesso em 22 de agosto de 2011.

CAMARGO, S.G.O; POUHEY, J.L.O.F. Aquicultura – Um mercado em expansão. **Revista Brasileira de Agrociências**, v.11, n.4, p.393-396, 2005.

CAMPO, L.F.C. **La tilapia roja: una evolucion de 26 años, de la incertidumbre al exito.** 1ed. México, 2008. 147p.

CARVALHO, R.; LEMOS, R. Aquicultura e consumo de carnes no Brasil e no mundo. **Panorama da Aquicultura.** v.19, n.112, 2009.

CHARO-KARISA, H.; BOVENHUIS, H.; REZK, M.A. et al. Phenotypic and genetic parameters for body measurements, reproductive traits and gut length of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for growth in low-input earthen ponds. **Aquaculture**, v.273, p.15-23, 2007.

CIBERT, C.; FERMON, Y.; VALLOD, D.; et al. Morphological screening of carp *Cyprinus carpio*: relationship between morphology and fillet yield. **Aquatic Living Resources**, v.12, n.1, p.1-10, 1999.

CORREIA, A.P.; ALVES, A.R.M.; LOPES, J.P. et al. Reversão sexual em larvas de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758), em diferentes condições ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v.1, n.1, p.10-18, 2006.

CREPALDI, D.V. **Avaliação da técnica de ultra-sonografia como indicador de rendimento de carcaça e biometria em surubim (*Pseudoplatystoma* spp.).** 2004. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CREPALDI, D.V.; TEIXEIRA, E.A.; FARIA, P.M. et al. A ultrasonografia na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.30, n.3/4, p. 174-181, 2006.

CREPALDI, D.V.; TEIXEIRA, E.A.; FARIA, P.M. et al. Rendimento de carcaça em surubim (*Pseudoplatystoma* spp.) avaliado por ultra-som. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.4, p.813-824, 2008.

DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; CABRAL, L.S. et al. Simulação e validação de parâmetros da cinética digestiva em novilhos mestiços suplementados a pasto, por intermédio do sistema *in vitro* de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2112-2122, 2005.

EL-SAYED, A.-F.M. **Tilapia Culture.** London: CABI publishing, 2006. 277p.

FAO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008.** 2009, 196 p.

FAO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010.** 2011a, 219 p.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cultured aquatic species information programe *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).** 2011b. Disponível em: <
http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en >.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2006.** Disponível em: <www.fao.org>.

FESSEHAYE, Y.; KABIR, A.; BOVENHUIS, H. et al. Prediction of cannibalism in juvenile *Oreochromis niloticus* based on predator to prey weight ratio, and effects of age and stocking density. **Aquaculture**, v.255, n.1-4, p.314-322, 2006.

FISHER, A.V. A review of the technique of estimating the composition of livestock using the velocity of ultrasound. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.17, p.217-231, 1997.

FRANÇA NETO, V.L.; COSTA, F.H.F.; LIMA, M.F.; et al. Capacitação de pessoal de cultivo de machos revertidos de tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus* (L., 1766) em tanques-rede, nos municípios do Ceará. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AQUICULTURA. I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1998, Recife. **Anais ...** 1998, p.796.

FREATO, T.A.; FREITAS, R.T.F.; SANTOS, V.B. et al. Efeito do peso de abate nos rendimentos do processamento da piracanjuba (*Brycon orbignyanus*, VALENCIENNES, 1849). **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.676-682, 2005.

FÜLBER, V.M.; RIBEIRO, R.P.; VARGAS, L.D.; et al. Desempenho produtivo de três linhagens de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dois níveis de proteína. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.32, n.1, p.77-83, 2010.

GAGLEAZZI, U.A.; GARCIA, F.T.; BLISKA, F.M.M. Caracterização do consumo de carnes no Brasil. **Revista Nacional da Carne**, v.26, n.310, p.152-160, 2002.

GHAEDIAN, R.; COUPLAND, J.N.; DECKER, E.A. et al. Ultrasonic determination of fish composition. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.323-337, 1998.

GODDARD, P.J. General principles. In: Goddard, P.J. **Veterinary Ultrasonography**. 1.ed. Weybridge: CAB International. 1995. p.1-19.

GONÇALVES, T.M.; ALMEIDA, A.J.L.; OLIVEIRA, H.N. Avaliação de características de carcaças de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 38.

GREINER, S.P.; ROUSE, G.H.; WILSON, D.E. et al. Accuracy of predicting weight and percentage of beef carcass retail product using ultrasound and live animal measures. **Journal of Animal Science**, v.81, p. 466-473, 2003.

GRIFFIN, P.G.; GINTHER, O.J. Research applications of ultrasonic imaging in reproductive biology. *Journal of Animal Science*, v.70, n.3, p.953-972, 1992.

GUPTA, M. V.; ACOSTA, B. O. From drawing board to dining table: the success story of the GIFT project. **NAGA, WorldFish Center Quarterly**, v.27, n.3-4, p. 4-14, 2004.

HAZIN, F.H.V. A pesca na zona econômica exclusiva, zee: sua importância para o Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v.1, n.1, p.10-18, 2006.

JENNINGS, C.A.; WILL, T.A.; REINERT, T.R. Efficacy of a high- and low-frequency ultrasonic probe for measuring ovary volume and estimating fecundity of striped bass *Morone saxatilis* in the Savannah River Estuary. **Fisheries Research**, v.76, p.445–453, 2005.

JÚNIOR, C.A.F.; JÚNIOR, A.S.V. Cultivo de tilápias no Brasil: origens e cenário atual. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SORBER, 2008.

KUBITZA, F. Tilápia em água salobra e salgada: uma boa alternativa de cultivo para estuários e viveiros litorâneos. **Revista Panorama da Aqüicultura**, v.15, n.88, p.14-18, 2005.

KUBITZA, F. **Tilápia**: tecnologia e planejamento na produção comercial. 2 ed. Jundiaí: SP. 2010, 285p., p. 6-9, 19-26, 28, 112.

LAZZARI, R.; JOÃO RADÜNZ NETO, J.R.; EMANUELLI, t. et al. Diferentes fontes protéicas para a alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.240-246, 2006.

LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; ANDRETTA I. et al. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.285-294, 2007.

LUO, J.; GOESTCH, A.L.; NS AHLAI, I.V. et al. Prediction of metabolizable energy and protein requirements for maintenance, gain and fiber growth of Angora goats. **Small Ruminant Research**, v.53, n.3, p.339-356, 2004.

MACEDO-VIEGAS, E.M.; SOUZA, M.L.R.; ZUANON, J.A.S. et al. Rendimento e composição centesimal de filés in natura e pré-cozido em truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss* (Wallbaum). **Acta Scientiarum**, v.24, n.4, p.1191-1195, 2002.

MAHIPALA, M.B.P.K.; KREBS, G.L.; MCCAFFERTY, P. et al. Faecal indices predict organic matter digestibility, short chain fatty acid production and metabolizable energy content of browse-containing sheep diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.154, n.1-2, p.68-75, 2009.

MARENGONI, N.G. Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.210, p.127-138, 2006.

MARENGONI, N.G.; SANTOS, R.S. Rendimento e composição de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) cultivados em pesque-pagues. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.211, p. 227-238, 2006.

NGUYEN H.N.; PONZONI, R.W.; ABU-BAKAR, K.R. et al. Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.305, p.1-5, 2010.

NS AHLAI, I.V.; GOETSCH, A.L.; LUO, J. et al. Metabolizable protein requirements of lactating goats. **Small Ruminant Research**, v.53, n.3, p. 327-337, 2004.

PIRES, A.V.; PEDREIRA, M.M.; PEREIRA, I.G. et al. Predição do Rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.33, n.3, p.315-319, 2011.

OETTERER, M. **Industrialização de pescado cultivado**. 1ed. Guaíba: Agropecuária, 2002. 200 p.

OLIVEIRA, L. G. et al. Avaliação de carcaça e características morfométricas do Curimbatá (*Prochilodus lineatus*) e do Piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) machos e fêmeas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 12., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: FAEP, 2001. (CD-ROOM). Conferir demais autores.

PIRES, A.V.; PEDREIRA, M.M.; PEREIRA, I.G. et al. Predição do Rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n.3, p.315-319, 2011.

PROENÇA, C.E.M.; BITTENCOURT, P.R.L. **Manual de piscicultura tropical**. 1 ed. Brasília: IBAMA. 1994, 196p., p.115-141 e 163-166.

ROBINSON, P.H.; GIVENS, D.I.; GETACHEW G. Evaluation of NRC, UC Davis and ADAS approaches to estimate the metabolizable energy values of feeds at maintenance energy intake from equations utilizing chemical assays and in vitro determinations. **Animal Feed Science and Technology**, v.114, n.1-4, p. 75-90, 2011.

ROSELER, D.K.; FOX, D.G.; CHASE, L.E. et al. Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating holstein dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.5, p.878-893, 1997.

RUTTEN, M.J.M.; BOVENHUIS, H.; KOMEN, H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.231, n.1-4, p.113-122, 2004.

SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, v.278, n.1-4, p.128-142, 2008.

SANG, N.V.; THOMASSEN, M.; KLEMETSDAL, G. et al. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). **Aquaculture**, v.288, p.166-171, 2009.

SANTOS, A.B.; MELO, J.F.B.; LOPES, P.R.S. et al. Composição química e rendimento do filé da traíra (*Hoplias malabaricus*). **Revista da FZVA**, v.7/8, n.1, p.140-150, 2001.

SANTOS, V.B. **Crescimento morfométrico e alométrico de linhagens de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Lavras, MG.

SAUVANT, D.; SCHMIDELY, P.; DAUDIN, J.J. Les métaanalyses des données expérimentales: Applications en nutrition animale. **INRA Productions Animales**, v.8, n.1, p.63-73, 2005.

SILVA, A.M.A.; SOBRINHO, A.G.S.; TRINDADE, I.A.C.M. et al. Net and metabolizable protein requirements for body weight gain in hair and wool lambs. **Small Ruminant Research**, v.67, n.2-3, p.192-198, 2007.

SILVA, F.V.; SARMENTO, N.L.A.F.; VIEIRA, J.S. et al. Características morfométricas, rendimentos de carcaça, filé, vísceras e resíduos em tilápias-do-nilo em diferentes faixas de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1407-1412, 2009.

SILVA, J.W.B. **Tilápias: biologia e cultivo. Evolução, situação atual e perspectivas da tilapicultura no Nordeste Brasileiro**. 1.ed. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 326 p.

SIMÕES, M.R.; RIBEIRO, C.F.A.; RIBEIRO, S.C.A. et al. Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.3, p.608-613, 2007.

SOUSA, T.R.P.; SANTOS, C.J.A.; SANTOS, D.L. et al. Desempenho zootécnico da tilápia nilótica da linhagem chitralada sob a influência da salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v.5, n.1, p.10-18, 2010.

SOUZA, M.L.R. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1076-1084, 2002.

TAGLIAPIETRA, F.; CATTANI, M.; HANSEN, H.H. et al. Metabolizable energy content of feeds based on 24 or 48 h in situ NDF digestibility and on in vitro 24 h gas production methods. **Animal Feed Science and Technology**, v.170, n.3-4, p.182-191, 2011.

VILELA, D.A.R.; SILVA, S.G.B.; PEIXOTO, M.T.D. et al. Spermatogenesis in teleost: insights from the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) model. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.28, p.187-190, 2005.

ZHANG, L.; LI, X.; LU, W. et al. Quality predictive models of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) at different temperatures during storage. **Food Control**, v.22, n.8, p.1197-1202, 2011.

ZHOU, Z.; WAN, H.F.; LI, Y. et al. The influence of the amylopectin/amylose ratio in samples of corn on the true metabolizable energy value for ducks. **Animal Feed Science and Technology**, v.157, n.1-2, p. 99-103, 2010.

ZHOU, Z.; XIE, S.; LEI, W. et al. A bioenergetic model to estimate feed requirement of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture**, v.248, n.1-4, p.287-297, 2005.

ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSI, D.M. et al. (Eds), **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**, São Paulo: TecArt, 2004. p.239-266.

ZIMMERMANN, S. Oportunidades na aquicultura: piscicultura. **Food Ingredientes Catálogo oficial**. São Paulo, 2004.

3 PREDIÇÃO DO PESO E DO RENDIMENTO DE FILÉ EM TILÁPIA DO NILO A PARTIR DE MEDIDAS ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS

RESUMO

Este estudo teve por objetivo prever o peso de filé (PF) e o rendimento de filé (RF) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por meio de estimativas de equações de regressão, a partir de medidas internas, mensuradas por ultrassonografia e externas obtidas por morfometria. Um total de 50 peixes adultos, da linhagem GIFT, pesando entre 260 e 580 g, foi avaliado em quatro regiões corpóreas pré-definidas: (1) entre a base anterior da nadadeira pélvica até a base anterior da nadadeira dorsal, (2) entre a base anterior da nadadeira anal até o último raio duro da nadadeira dorsal, (3) entre a inserção final das nadadeiras anal e dorsal e (4) entre a inserção ventral e dorsal da nadadeira caudal. As mensurações coletadas foram analisadas pelos procedimentos estatísticos *backward* e *stepwise*. As equações estimadas para PF e RF em função dos dados coletados por imagens ultrassonográficas, apresentaram valores de coeficiente de determinação (R^2) de 0,53 (PF) e 0,15 (RF), no *backward*, e 0,53 (PF) e 0,19 (RF), no *stepwise*. A inclusão de dados de comprimento, peso e circunferência corporal como regressoras permitiu que as equações apresentassem R^2 mais elevados, com valores de 0,97 (PF) e 0,73 (RF), no *backward* e no *stepwise*, respectivamente, e menores valores de quadrado médio do resíduo, indicando que esses modelos de regressão apresentaram elevada aderência aos dados de PF e RF. A altura do lado esquerdo nas regiões 1 e 3, mensuradas por imagens ultrassonográficas, em conjunto com o peso e a circunferência corporal média, são regressoras importantes na predição do PF e RF de tilápia do Nilo.

Palavras-chave: *backward*, imagem ultrassônica, modelos de regressão, *stepwise*

ABSTRACT

This study aimed to predict the weight of fillet (PF) and fillet yield (RF) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using estimates of regression equations, based on internal measures, measured by ultrasonography and external obtained by morphometry. A total of 50 adult fish, the GIFT strain, weighing between 260 and 580 g, was evaluated in four pre-defined body regions: 1) between the base of anterior insertion of pelvic fin to the anterior end of dorsal fin, (2) between the base of the anterior insertion of anal fin to the last ray hard of the dorsal fin, (3) between the insertion end of the anal and dorsal fins and (4) between the ventral and dorsal insertion of caudal fin. The measurements collected were analyzed by statistical procedures, *backward* and *stepwise*. The estimated equation for PF and RF depending on the data collected by ultrasound images showed coefficients of determination (R^2) of 0.53 (PF) and 0.15 (RF), in *backward*, and 0.53 (PF) and 0.19 (RF), in *stepwise*. The presence of data of length, weight and body circumference as allowed regressive equations presented higher R^2 , with values of 0.97 (PF) and 0.73 (RF) in *backward* and *stepwise*, respectively, and lowest the residual mean square, indicating that these regression models showed high adherence to the PF and RF data. The height of the left side in regions 1 and 3, measured by ultrasound images, together with the mean body weight and circumference are important predictors of PF and RF of Nile tilapia.

Key-words: *backward*, ultrasonic imaging, regression models, *stepwise*

3.1 Introdução

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) tem sido considerada um dos peixes com maior potencial para a aquicultura devido ao alto índice zootécnico em rendimento de filé, crescimento rápido e capacidade de produção em elevada densidade (EL-SAYED, 2006). Na tentativa de aumentar sua produção, várias metodologias têm sido desenvolvidas e aplicadas com sucesso, como a inversão sexual possível pela adição de hormônio na alimentação de larvas, e a produção e utilização de reprodutores homogaméticos machos, com genótipo YY (BALDISSEROTTO, 2009).

Porém, como se espera aumento na demanda por carne de peixe nas próximas décadas (FAO, 2011), além da obtenção de prole 100% machos, programas de melhoramento genético que utilizem técnicas eficientes e rápidas serão necessários. Nos programas atuais, geralmente têm sido empregadas metodologias que levam ao sacrifício dos peixes e, naqueles que geram informação a partir de uma estrutura de parentesco a resposta é mais demorada.

A ultrassonografia vem se destacando como uma ferramenta inovadora na avaliação de índices zootécnicos em peixes, e tem como principal vantagem, em comparação ao método direto de filetagem, manter o peixe vivo, além de permitir a redução do seu manuseio se comparado a outras técnicas não invasivas de coleta de medidas utilizadas para predição, como é verificada na mensuração de uma série estruturas externas, estressantes para o peixe.

Porém, a utilização de imagens ultrassônicas para quantificar a produção de filé em peixes é uma metodologia pouco aplicada em espécies tropicais (CREPALDI et al., 2008). Em catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*), Bosworth et al. (2001), verificaram que as correlações entre as características de carcaça e a área do músculo mensurada por ultrassonografia foram mais elevados que as correlações entre as características de carcaça e o formato externo do corpo.

Ao correlacionar medidas da musculatura de surubins híbridos (*Pseudoplatystoma* spp.) obtidas por ultrassonografia com medidas morfométricas externas, Crepaldi et al. (2008) obtiveram coeficiente de determinação para peso de filé de lombo igual a 0,90 e para rendimento de carcaça igual a 0,78.

Pires et al. (2011) obtiveram um modelo de regressão linear de fácil observação a partir de parâmetros corporais externos de tilápia do Nilo, mostrando que medidas corporais externas são confiáveis para estimar o peso do filé, porém não são adequadas para estimar o rendimento de filé dos peixes.

Nesse contexto, torna-se justificável a utilização de medidas corporais externas, juntamente com medidas coletadas em imagens ultrassonográficas da musculatura epiaxial, como variáveis explicativas, visando prever o peso e o rendimento cárneo em tilápia do Nilo.

Em busca de um método não invasivo e aplicável, o presente trabalho teve por objetivo prever o peso e o rendimento de filé de tilápia do Nilo a partir de medições corporais internas, realizadas por ultrassonografia da musculatura epiaxial, e externas, coletadas por morfometria.

3.2 Materiais e métodos

Foram utilizados 50 exemplares de tilápia do Nilo da linhagem GIFT, com peso vivo entre 260 e 580g, machos invertidos em fase final de crescimento, provenientes do Núcleo de Estação Experimental “Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Pessoa” da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), *Campus* de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.

Os exemplares foram insensibilizados individualmente com tensão elétrica de 220 Volts, por um minuto, em tanque de plástico contendo 10 L de água a 25°C proveniente do tanque de crescimento dos peixes e, posteriormente abatidos por deslocamento da coluna cervical. Esses procedimentos estão de acordo com as Normas Técnicas Internacionais de Abate Humanitário e com o Comitê de Ética na Experimentação Animal e Aulas Práticas-CEEAAP/Unioeste, sob protocolo número 20/2010.

As imagens ultrassônicas foram realizadas utilizando aparelho Pic medical[®], modelo Aquila, com sonda linear de 6,0 MHz e com sensor de leitura de 7 cm, disposta perpendicularmente à musculatura epiaxial, enquanto o peixe permanecia em decúbito lateral e submerso em recipiente plástico com água.

Para a coleta das imagens foram utilizadas quatro regiões corporais, consistindo nas regiões referentes aos pontos: P₁ = base de inserção anterior da nadadeira pélvica até a base anterior da nadadeira dorsal; P₂ = base da inserção anterior da nadadeira anal até o último raio duro da nadadeira dorsal; P₃ = entre a inserção final das nadadeiras anal e dorsal e P₄ = entre a inserção ventral e dorsal da nadadeira caudal, na região do pedúnculo caudal (Figura 3.1).

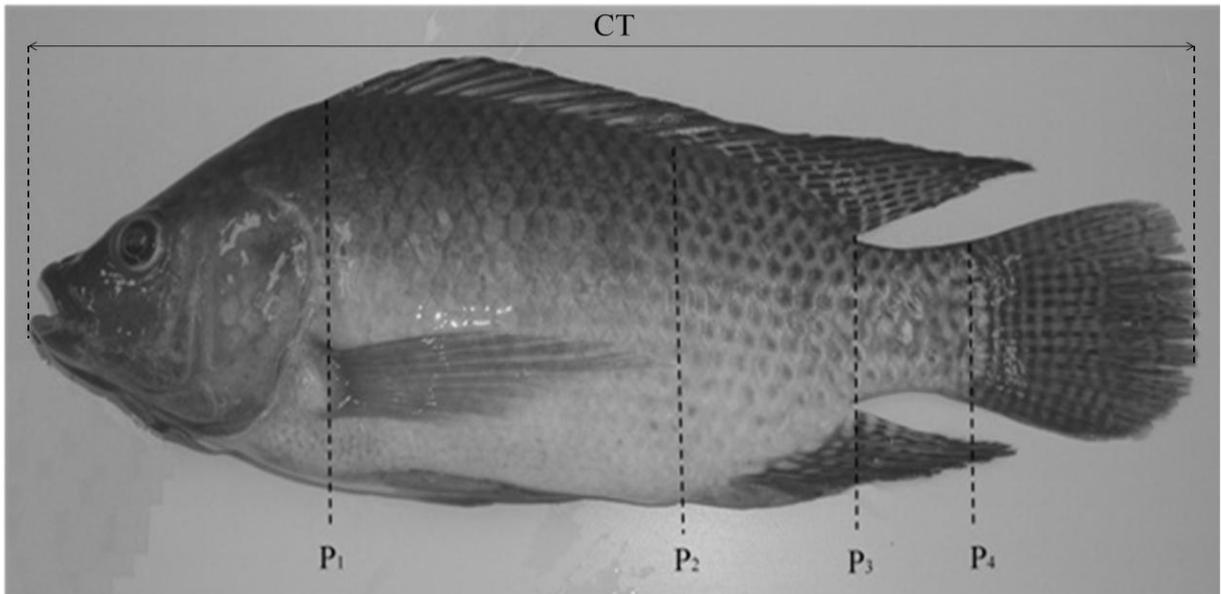


Figura 3.1 Localização dos quatro pontos utilizados para mensuração ultrassônica: P₁ = Ponto 1, P₂ = Ponto 2, P₃ = Ponto 3 e P₄ = Ponto 4; CT = comprimento total

Em cada ponto foram tomadas duas medidas ultrassônicas na musculatura epiaxial, uma de altura (H) e outra de largura (L), aferidas nos lados direito (D) e esquerdo (E) em cada tilápia (Figura 3.2). As medidas constituíram-se em altura direita (HD), largura direita (LD), altura esquerda (HE), largura esquerda (LE). A área (A), também mensurada nos lados direito (AD) e esquerdo (AE), foi obtida a partir da altura e largura em cada ponto ($A = H \cdot L$).

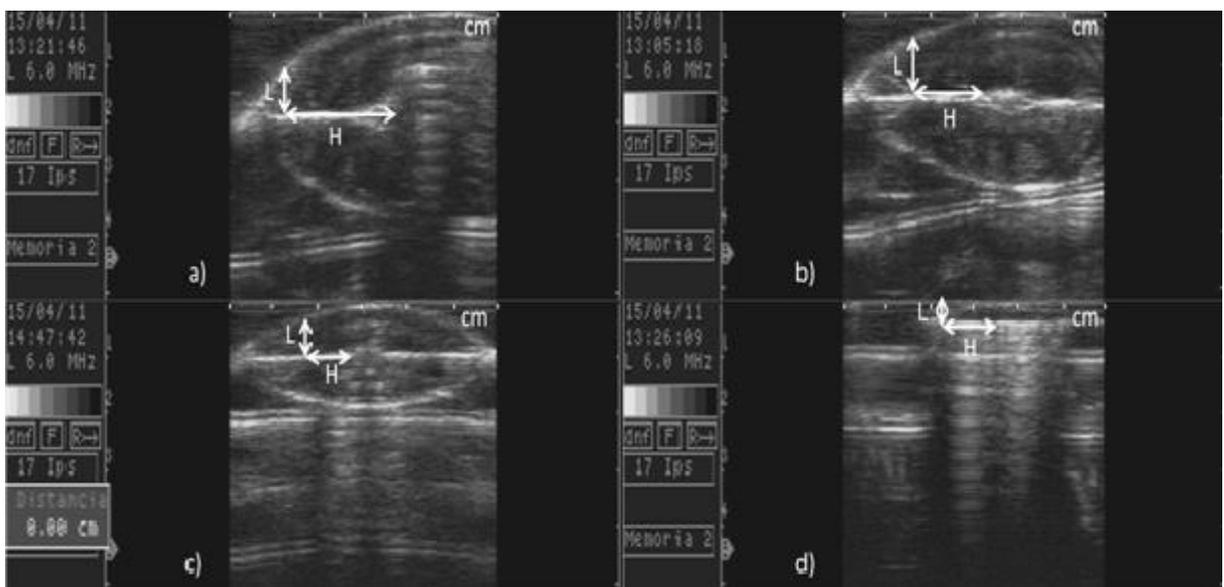


Figura 3.2 Imagens ultrassônicas nas diferentes regiões do lado esquerdo do peixe: a) H₁ e L₁, b) H₂ e L₂, c) H₃ e L₃, d) H₄ e L₄

As tilápias foram identificadas e avaliadas individualmente em relação ao peso total (PT), utilizando balança com precisão de 0,10 g, e medidas quanto ao comprimento total (CT)

e circunferência corporal média (CR) com o auxílio de fita métrica com precisão de 1 mm. O CT corresponde a distância em linha reta entre o focinho e o término da nadadeira caudal e CR foi mensurada nos mesmos pontos utilizados para a leitura das imagens ultrassonográficas (Figura 3.1).

A filetagem foi realizada por um único profissional treinado e experiente, segundo metodologia proposta por Souza et al. (2005).

Após a coleta e tabulação dos dados, foram estimadas equações de regressão linear do peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) em função das medidas corporais internas (HD, HE, LD, LE, AD, AE) e externas (PT, CT, CR).

As equações foram estimadas utilizando-se os procedimentos *backward* e *stepwise*, com e sem inclusão de medidas corporais externas como regressoras.

O critério principal para a seleção das regressoras foi a significância dos parâmetros dos modelos de regressão pelo teste t parcial. Os parâmetros não significativos foram retirados do modelo e a análise foi reprocessada. Após a obtenção da equação estimada, observou-se o fator de inflação de variância (VIF) para cada regressora, sendo eliminada sequencialmente a regressora que apresentou o maior VIF superior a 10.

O VIF para o i-ésimo coeficiente de regressão pode ser calculado pela expressão: $VIF_i = 1/(1-R_i^2)$, em que R_i^2 é o coeficiente de determinação múltiplo obtido ao se regredir a variável dependente em função das demais variáveis regressoras do modelo.

A qualidade de ajuste dos modelos de regressão aos dados de PF e RF foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e quadrado médio do resíduo (QM_{RES}). O nível de significância de 0,05 foi adotado em todas as análises.

3.3 Resultados e discussão

O valor médio e o desvio-padrão para rendimento de filé foram de $31,26\% \pm 2,09$, respectivamente. O peso de filé (PF) foi a variável mais instável dentre as características biométricas avaliadas, apresentando coeficiente de variação (CV) igual a 21,72%. O peso total (PT) do peixe também produziu CV elevado (16,49%), porém, o menor CV (6,66%) foi obtido para o rendimento de filé (RF) se comparado ao PF e ao PT (Tabela 3.1).

Em tilápia do Nilo, Fülber et al. (2010) encontraram valores de CV semelhantes aos do presente trabalho, pois obtiveram 18,02% para PF, valor mais elevado que para peso do peixe (17,45%) e para rendimento de filé (10,13). Rutten et al. (2004) comentaram que o PT e

o PF encontram-se diretamente relacionados e que essa tendência não é observada entre PT e RF.

Na literatura o rendimento de filé em tilápia do Nilo, com peso médio semelhante ao utilizado no presente estudo, situa-se entre 30,00 e 37,80% (RUTTEN et al., 2004; BARBOSA et al. 2008; FÜLBER et al., 2010; NGUYEN et al., 2010). Esse valor dificilmente situa-se acima de 40% nesta espécie (SOUZA et al., 2005). Fatores como sexo, método de filetagem, destreza do filetador, peso ao abate, gordura visceral e formas de cultivo podem interferir no rendimento de filé do peixe (MARENGONI e SANTOS, 2006).

Tabela 3.1 Estatísticas descritivas de características biométricas e de peso e rendimento em filé de 50 exemplares de tilápia do Nilo.

Característica ⁽¹⁾	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
CR (mm)	143,15	7,59	126,00	160,00	5,30
CT (mm)	305,16	17,32	260,00	335,00	5,67
PT (g)	420,80	69,40	260,00	580,00	16,49
Kn	1,47	0,12	1,19	1,75	8,30
PF (g)	132,63	28,82	72,80	127,20	21,72
RF (%)	31,26	2,09	27,60	35,00	6,66

⁽¹⁾ CR = circunferência média, CT = comprimento total, PT = peso total, Kn = fator de condição relativa ($Kn = PT(g)/CT^3(cm) \times 100$), PF = peso de filé, RF = rendimento de filé, CV = coeficiente de variação

O fator de condição relativa (Kn) encontrado foi de 1,47 para a amostra utilizada. Esta medida consiste em uma variável indicadora do bem estar do peixe e de sua condição corporal, considerada adequada quando os valores encontram-se entre 1,00 e 2,00.

As regressoras que apresentaram maiores valores de coeficiente de variação (CV) foram a largura do Ponto 4 (L_4) e área do Ponto 4 (A_4) dos lados direito ($L_4 = 31,89\%$ e $A_4 = 33,71\%$) e esquerdo ($L_4 = 25,37\%$ e $A_4 = 29,87\%$) em relação às respectivas medidas coletadas nos demais pontos utilizados para a coleta das imagens (Tabela 3.2).

Esses resultados sugeriram que a morfometria do filé diferiu acentuadamente na porção final do pedúnculo caudal de tilápia com peso entre 260 e 580 g.

As maiores variabilidades de L_4 e A_4 podem ser explicadas pela ausência do processo espinhoso utilizado nos demais pontos para demarcar a localização exata para a mensuração de L_4 (Figura 3.3).

Tabela 3.2 Estatísticas descritivas de medidas morfométricas de 50 exemplares de tilápia do Nilo avaliadas por ultrassonografia.

P ⁽¹⁾	Lado									
	Direito (mm)					Esquerdo (mm)				
	Média	s	Min	Max	CV(%)	Média	s	Min	Max	CV(%)
	Altura									
1	24,00	2,66	18,60	31,10	11,10	23,61	2,31	17,80	29,60	9,80
2	19,04	2,88	13,80	27,20	15,11	17,91	2,66	12,70	25,90	14,87
3	15,90	2,49	11,20	22,50	15,70	12,95	1,96	8,60	22,00	15,06
4	12,34	1,58	9,50	16,20	12,84	13,20	2,14	8,40	17,90	16,19
	Largura									
1	4,74	1,22	2,40	7,30	25,78	4,30	1,07	2,40	6,80	24,33
2	6,49	1,11	3,90	8,80	17,05	6,04	0,97	3,40	7,80	16,10
3	2,71	0,67	1,50	5,40	24,90	2,49	0,40	1,50	3,40	16,19
4	1,65	0,52	1,00	3,40	31,89	1,35	0,34	0,50	2,10	25,37
	Área									
1	112,80	27,70	55,80	202,20	24,56	103,06	25,84	56,90	163,20	25,07
2	121,82	17,77	80,70	152,70	14,59	106,50	18,88	68,20	158,70	17,73
3	42,82	11,24	20,40	67,50	26,26	32,36	7,62	17,20	52,80	23,54
4	20,40	6,88	9,50	35,40	33,71	17,86	5,33	5,80	30,60	29,87

⁽¹⁾ P = ponto, s = desvio padrão, Min = valor mínimo, Max = valor máximo, CV = coeficiente de variação

Essa estrutura foi selecionada como local para medir as larguras de cada ponto porque permite produzir uma área que não ultrapassa os limites musculares de cada região utilizada para a leitura ultrassônica (Figura 3.3). Dessa forma, o alto CV de A₄ foi resultado da influência da medida de L₄ no cálculo de área ($A = H \cdot L$).

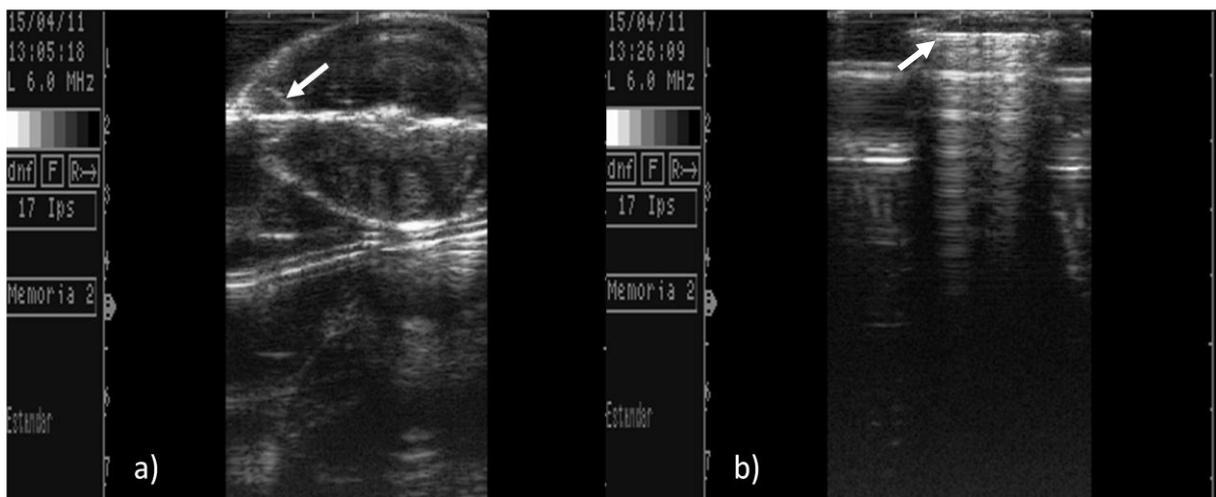


Figura 3.3. Imagens ultrassônicas: a) A seta aponta a localização da apófise espinhosa no Ponto 2; b) Ausência da apófise espinhosa no Ponto 4

A leitura ultrassônica utilizando sonda de 6,0 MHz é rápida e permite a coleta de dados dos dois lados do peixe (Figura 3.3). Como a região muscular obtida por leitura ultrassônica transversal em tilápia, com peso entre 260 e 580 g, não é muito profunda, o ideal, segundo Griffin e Ginther (1992), é que a leitura seja realizada com sonda de capacidade entre 5.0 e 7.5 MHz, resultando em maior nitidez das imagens.

Uma maior nitidez da apófise espinhosa pode ser observada durante a ultrassonografia na região do P₂ (Figura 3.3), se comparada às demais imagens. Isso facilitou a coleta das medidas nesse ponto e contribuiu para que o mesmo apresentasse o menor CV de largura e área em comparação aos demais pontos. Porém, dentre todas as regressoras, o menor CV foi para altura do P₁ nos lados direito e esquerdo da tilápia (Tabela 3.2), possivelmente pelos seus maiores valores médios em relação aos valores médios de altura e largura nos demais pontos.

Apesar das elevadas dispersões, a AE₄ e a LE₄ exerceram influência significativa no PF ao se utilizar o procedimento *backward* e sem a inclusão de medidas morfométricas nos modelos. A HE₄ foi regressora significativa para a predição do PF utilizando o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras, considerando somente as mensurações ultrassônicas como regressoras nos modelos (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Equações de regressão do peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) avaliados por ultrassonografia em função de regressoras morfométricas de tilápia do Nilo selecionadas pelos procedimentos *backward* e *stepwise*.

Medidas	Equação	R ²	QM _{RES}
Exclusas	<i>Backward</i> (B)	PF = -17,35+3,66HD ₂ - 45,20LE ₄ +0,55AE ₂ +4,64AE ₄	0,53 425,72
		RF = 26,66 + 0,043AE ₂	0,15 3,75
	<i>Stepwise</i> (S)	PF = -58,03 + 5,65HE ₄ + 0,33AD ₁ + 0,65AD ₂	0,53 417,47
		RF = 25,02 + 0,051AD ₂	0,19 3,58
Inclusas	B e S	PF = - 52,25 - 1,26HE ₁ - 2,03HE ₃ + 0,40PT +0,51CR	0,97 24,95
	B e S	PF = - 18,12 - 1,20HE ₁ + 0,425PT *	0,97 26,70
	B e S	RF = 17,83 - 0,29HE ₁ - 0,49HE ₃ + 0,02PT + 0,13CR	0,73 1,35
	S	RF = 26,14 - 0,27HE ₁ + 0,027PT *	0,68 1,45

R² = coeficiente de determinação, QM_{RES} = quadrado médio do resíduo, PT = peso total, CR = circunferência média, A = área, H = altura, D = direita, E = esquerda para os respectivos Pontos 1, 2, 3 e 4, * Procedimento estatístico realizado sem a inclusão da variável CR no modelo

Embora o P₄ represente a menor porção muscular da região epiaxial da tilápia em comparação aos outros pontos, a contribuição das medidas do P₄ na explicação da variação de

PF se justifica porque o cálculo de sua área nas mensurações ultrassonográficas abrange quase toda porção da musculatura desta região, o que não acontece nos demais pontos (Figura 3.3).

Quando não se incluíram as medidas biométricas externas aos modelos de regressão, as mensurações de área do P₂ foram significativas para RF nos procedimentos *backward* e *stepwise*. Para PF as medidas significativas foram as coletadas no P₂, P₄ e P₁, sendo esta última, significativa apenas a medida de AD. Não foi detectada a importância das variáveis coletadas no P₃ na predição de PF e RF pelos dois procedimentos estatísticos, *backward* e *stepwise*.

Resultados diferentes foram encontrados por Crepaldi et al. (2008), que mostraram as melhores relações entre medidas coletadas por ultrassom e características de rendimento em peixes no ponto localizado na porção anterior da nadadeira adiposa em surubins híbridos, que corresponderia ao P₃ do presente estudo. Porém, tilápia do Nilo apresenta formato do corpo fusiforme e o surubim tem o corpo achatado dorsi-ventralmente, salientando a importância na incorporação de medidas que levem em consideração o formato do corpo da espécie utilizada.

Com base na análise de imagem da projeção lateral de carpa comum (*Cyprinus carpio*), definido por quatro ângulos e duas distâncias, Cibert et al. (1999) verificaram maior influência no RF quando alterada a região do pedúnculo caudal, correspondente a região situada entre o P₃ e o P₄ do presente trabalho. Sugerindo uma forte relação entre a porção muscular caudal dos peixes com o RF em diferentes espécies, evidenciando que a diferenciação morfológica influencia na definição dos melhores pontos para coleta das imagens ultrassônicas.

Ao serem incluídas as medidas corpóreas externas nos modelos, as mensurações do P₂ e P₄ não exerceram efeito significativo, passando a serem significantes as regressoras HE₁ e HE₃. As regressoras obtidas para PF pelos procedimentos *backward* e *stepwise* foram idênticas e os modelos apresentaram aderência semelhante aos dados mesmo quando removida a variável CR da análise (Tabela 3.3).

Os valores de R² para PF obtidos no presente estudo, ao serem ajustados modelos com variáveis morfométricas externas, foram maiores do que 0,93, valor de R² para PF de surubins medida por ultrassom por Crepaldi et al. (2008), e maiores do que os verificados por Bosworth et al. (2001), que utilizaram ultrassom para coleta de medidas internas e observaram R² = 0,56 para PF em catfish, alcançado ao se ajustar modelos de regressão sem intercepto e utilizando o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras. Sang et al. (2009) encontraram R² = 0,86 para PF e R² = 0,77 para RF com a inclusão de intercepto nos modelos.

Na predição de uma variável dependente a partir de mensurações biométricas externas em peixes pequenos, como os utilizados no presente estudo, existe forte relação entre o peso do peixe com o peso de filé produzido. No entanto, Cibert et al. (1999) relataram que medidas externas de peixes grandes e pesados relacionam-se com baixo rendimento de filé, porque em peixes maiores ocorre um maior desenvolvimento ventral, que não está relacionado com o aumento do rendimento cárneo, pois o maior filé extraído fica na região epiaxial e o ventre na porção hipoaxial do peixe.

Crepaldi et al. (2008) comentaram que o baixo valor de coeficiente de determinação (R^2) para rendimento de filé pode ser atribuído à possível interferência das vísceras no peso total de surubins, em que a variação de tamanho das gônadas e as diferentes quantidades de gordura celomática depositada são determinantes na confiabilidade da equação. Esse tipo de variação não acontece na tilapicultura, pois utiliza-se o monossexo macho e, a gordura visceral em tilápia do Nilo situa-se em torno de 1,30% (FURUYA et al., 2005), valor considerado baixo se comparado com outras espécies.

A inclusão da circunferência média nos modelos foi significativa e promoveu a elevação dos valores de coeficiente de determinação para PF e RF, e a redução nos valores de quadrado médio do resíduo (Tabela 3.3). Esses resultados sugeriram que o formato do corpo interfere nas precisões das estimativas de PF e RF em tilápia do Nilo, evidenciando a necessidade de se incluir, em modelos para predição de PF e RF, medidas externas que reflitam o formato do corpo da espécie que será avaliada. Rutten et al. (2004) relataram alta relação entre PF e PT e baixa relação entre RF e PT de tilápia do Nilo. Tais resultados foram divergentes dos obtidos no presente estudo.

As equações estimadas sem a inclusão de regressoras externas e utilizando-se do procedimento *stepwise* apresentaram melhores ajustes aos dados das variáveis dependentes se comparadas aos respectivos modelos em que se utilizou o procedimento *backward*. Embora não tenham apresentado valores de R^2 elevados, as equações estimadas pelo procedimento *stepwise* apresentaram menores valores de QM_{RES} do que as equações sem regressoras externas estimadas pelo *backward* (Tabela 3.3).

Os modelos de predição das variáveis dependentes em função de H, L e A medidas no ultrassom, com inclusão de PT, CT e CR como regressoras, apresentaram valores elevados de coeficiente de determinação (R^2) e menores valores de QM_{RES} se comparados aos modelos em que foram incluídas somente as regressoras relacionadas a medidas obtidas no ultrassom, indicando maior precisão nas estimativas (Tabela 3.3).

Quando se incluiu as medidas externas em conjunto com as medidas internas nos modelos, os sinais das regressoras internas tornaram-se negativos, indicando que as medidas biométricas externas apresentam maior efeito positivo sobre o PF e o RF do que as medidas ultrassonográficas internas.

O PT foi a regressora externa que apresentou o maior efeito significativo pelo teste t sobre o PF avaliado por ultrassom, estando presente em todas as equações estimadas utilizando os procedimentos *stepwise* e *backward* (Tabela 3.3). Pois o PT apresentou maior correlação com o PF e RF e foi a regressora que mais contribuiu para a elevação do R^2 nos modelos em que foram incluídas as medidas biométricas externas como variáveis independentes, explicando grande parte da variação do PF e do RF avaliados por imagens ultrassônicas e medidas externas.

O acréscimo de 1g no PT levou ao aumento de 0,43 g do PF, se mantida fixa a altura esquerda do P_1 (HE_1). Esse resultado foi divergente ao encontrado por Crepaldi et al. (2008), que constataram haver maior relação entre o comprimento do corpo e o PF de surubins, em que para cada milímetro mensurado correspondeu um aumento de 0,42g no filé do peixe.

Com as equações obtidas, observou-se que o aumento de 1g no PT do peixe causa apenas 0,02% de aumento no RF (Tabela 3.3). Contudo, a CR foi a regressora coletada por morfometria que representou a maior magnitude de aumento do PF e RF, pois o acréscimo de uma unidade na CR causou elevação de 0,51 g no PF e 0,13% no RF. Em tilápia do Nilo da linhagem GIFT, Nguyen et al. (2010) obtiveram correlação mais elevada entre peso corporal e peso de filé do que entre tamanho do corpo e peso de filé.

A utilização isolada como regressoras de medidas obtidas no ultrassom não foi sugerida para estimar o RF de tilápia em razão da baixa aderência (15% no *backward* e 19% no *stepwise*) dos modelos (Tabela 3.3). De outro modo, Rutten et al. (2004) não recomendou a utilização isolada de medidas morfométricas externas como regressoras, em tilápia com peso aproximado de 700g, pois o valor de R^2 do modelo ajustado sobre o RF foi igual a 0,15. Pires et al. (2011) também sugeriram a não utilização das medidas de morfometria externa como únicas variáveis independentes, pois ocorreu baixa qualidade de ajuste do modelo aos dados de RF ($R^2 = 0,16$) de tilápia com peso médio de 833,82g.

No presente estudo, os resultados sugeriram que a utilização como regressoras de medidas biométricas externas não-invasivas juntamente com a morfometria interna obtida por ultrassom contribuiu para explicar 97% e 73% da variação de PF e RF em tilápia do Nilo, respectivamente.

3.4 Conclusão

As equações de predição estimadas pelo procedimento *stepwise* e que apresentam como regressoras a altura do lado esquerdo mensuradas por ultrassom no Ponto 1, localizado entre base anterior da nadadeira pélvica até o término anterior da nadadeira dorsal e, a altura do lado esquerdo no Ponto 3, localizado entre a inserção final das nadadeiras anal e dorsal, juntamente com o peso e a circunferência média apresentam elevada aderência aos dados de peso e rendimento de filé de tilápia do Nilo da linhagem GIFT com peso entre 260 e 580g, podem ser utilizadas para predição do peso de filé e rendimento de filé.

3.5 Referências

- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2ed. RS: Editora UFSM, 2009. 349p.
- BARBOSA, A.C.B.; CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M. et al. Desempenho e Avaliação Sensorial de Duas Linhagens de Tilápia do Nilo. **Revista Científica Produção Animal**, v.10, n.1, p.50-59, 2008.
- BOSWORTH, B.G.; HOLLAND, M.; BRAZIL, B.L. Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish. **Journal of Animal Science**, v.79, n.6, p.1483-1490, 2001.
- CIBERT, C.; FERMON, Y.; VALLOD, D.; et al. Morphological screening of carp *Cyprinus carpio*: relationship between morphology and fillet yield. **Aquatic Living Resources**, v.12, n.1, p.1-10, 1999.
- CREPALDI, D.V.; TEIXEIRA, E.A.; FARIA, P.M. et al. Rendimento de carcaça em surubim (*Pseudoplatystoma* spp.) avaliado por ultra-som. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.4, p.813-824, 2008.
- EL-SAYED, A.F.M. (2006) **Tilapia culture**. London: CABI Publishing, 2006, 277p.
- FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010**, 2011, 219 p.
- FÜLBER, V.M.; RIBEIRO, R.P.; VARGAS, L.D.; et al. Desempenho produtivo de três linhagens de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dois níveis de proteína. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.32, n.1, p.77-83, 2010.
- FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; MACEDO, R.M.G. et al. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n.5, p.1433-1441, 2005.
- GRIFFIN, P.G. E GINTHER, O.J. Research applications of ultrasonic imaging in reproductive biology. **Journal of Animal Science**, v.70, n.3, p.953-972, 1992.
- MARENGONI, N.G.; SANTOS, R.S. Rendimento e composição de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) cultivados em pesque-pagues. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.211, p. 227-238, 2006.
- NGUYEN H.N.; PONZONI, R.W.; ABU-BAKAR, K.R. et al. Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.305, p.1-5, 2010.
- PIRES, A.V.; PEDREIRA, M.M.; PEREIRA, I.G. et al. Predição do Rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n.3, p.315-319, 2011.

RUTTEN, M.J.M.; BOVENHUIS, H.; KOMEN, H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.231, n.1/4, p.113-122, 2004.

SANG, N.V.; THOMASSEN, M.; KLEMETS DAL, G. et al. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). **Aquaculture**, v.288, p.166-171, 2009.

SILVA, J.W.B. **Tilápias**: biologia e cultivo. Evolução, situação atual e perspectivas da tilapicultura no Nordeste Brasileiro. 1.ed. Fortaleza: Edições UFC, 2009, 326p.

SOUZA, M.L.R.; VIEGAS, E.M.M.; SOBRAL, P.J.A. et al. Efeito do peso de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre o rendimento e a qualidade de seus filés defumados com e sem pele. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.1, p.51-59, 2005.

4 VALIDAÇÃO DE EQUAÇÕES DE REGRESSÃO DO PESO E RENDIMENTO DE FILÉ EM TILÁPIA DO NILO A PARTIR DE MENSURAÇÕES ULTRASSONOGRÁFICAS E MORFOMÉTRICAS

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi validar as equações estimadas para peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) em tilápia do Nilo, a partir de medidas ultrassonográficas e morfométricas coletadas em outra amostra. Foram utilizados 52 exemplares da espécie *Oreochromis niloticus*, linhagem GIFT, machos revertidos, em fase final de crescimento, pesando entre 260 e 560 g. A predição de valores estimados de PF e RF em função dos valores observados foi realizada por meio do ajuste de modelos de 1° grau, utilizando o método dos mínimos quadrados. A validação da predição dos modelos de 1° grau, e em consequência, a validação das equações pré-definidas para PF e RF foi determinada a partir do ajuste de modelos lineares de 1° grau dos valores observados (Y) em função dos valores preditos (\hat{Y}), em que a não rejeição da hipótese de nulidade ($H_0 : \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$) determinou a semelhança entre os valores Y e \hat{Y} . Todas as equações foram eficientes em estimar o PF e o RF na amostra avaliada. As equações $PF_3 = - 52,25 - 1,26HE_1 - 2,03HE_3 + 0,40PT + 0,51CR$ ($P = 1,0000$), $PF_4 = - 18,12 - 1,20HE_1 + 0,425PT$ ($P = 0,5401$), $RF_3 = 17,83 - 0,29HE_1 - 0,49HE_3 + 0,02PT + 0,13CR$ ($P = 1,0000$) e $RF_4 = 26,14 - 0,27HE_1 + 0,027PT$ ($P = 0,8363$) foram as que apresentaram os maiores valores de nível descritivo e são as mais precisas e aplicáveis na predição de PF e RF em tilápia do Nilo adultas, machos fenotípicos, linhagem GIFT, com peso entre 260 e 580g.

Palavras-chave: biometria, imagem ultrassonográfica, método não-invasivo, modelos lineares de 1° grau

ABSTRACT

The objective of this study was to validate the equations estimated for fillet weight (PF) and fillet yield (RF) in Nile tilapia from ultrasound and morphometric measurements collected in another sample. There were used 52 specimens of *Oreochromis niloticus*, GIFT strain, reversed males, in the final growth stage, weighing between 260 and 580 g. The prediction of estimated values of *PF and RF depending* on the observed values was performed through 1st-degree model adjustment, using the method of least squares. The validation of 1st-degree models prediction and consequently, the validation of pre-defined equations for PF and RF was determined from the 1st-degree linear models adjustments of the observed values (Y) depending on the predicted values (\hat{Y}), where the non-rejection of the null hypothesis ($H_0 : \beta_0 = 0$ and $\beta_1 = 1$) determined the similarity between the Y and \hat{Y} values. All equations were effective in estimating the PF and RF in the sample evaluated. The equations $PF = - 52.25 - 1.26HE_1 - 2.03HE_3 + 0.40PT + 0.51CR$ (P = 1.0000), $PF = - 18.12 - 1.20HE_1 + 0.425PT$ (P = 0.5401), $RF = 17.83 - 0.29HE_1 - 0.49HE_3 + 0.02PT + 0.13CR$ (P = 1.0000) and $RF = 26.14 - 0.27HE_1 + 0.027PT$ (P = 0.8363) were the ones with the highest values of descriptive level and the most accurate and applicable in the prediction of PF and RF in Nile tilapia adults, phenotypic male, GIFT strain, weighing between 260 and 580g.

Keywords: biometrics; ultrasound imaging; non-invasive method; 1st-degree linear models

4.1 Introdução

Dentre as espécies utilizadas na piscicultura mundial, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), originária da África (SILVA, 2009), representa um dos peixes com maior potencial produtivo, pois possui elevado rendimento de filé (SOUZA et al., 2005), rápido crescimento, resistência a doenças e pode se adaptar à diferentes ambientes e sistemas de produção (EL-SAYED, 2006).

O filé é o principal produto obtido de tilápia do Nilo, sendo comercializado, principalmente, nas formas fresco, refrigerado ou congelado. Essa forma de comercialização faz a proporção de produtos cárneos obtidos em tilápia do Nilo ser muito inferior aos alcançados pela maioria dos mamíferos destinados ao consumo humano, que têm a carcaça como principal produto de comercialização. Souza et al. (2005) avaliaram o efeito de diferentes pesos de tilápia do Nilo sobre o rendimento e a qualidade dos filés com pele e sem pele submetidos ou não à defumação, e obtiveram rendimento de filé in natura e sem pele entre 38,54 e 40,47%.

Índices mais elevados de produção de filé em tilápia do Nilo podem ser alcançados com programas de melhoramento genético direcionados. Porém, os programas atuais utilizam o método direto de filetagem em peixes aparentados com os potenciais reprodutores, como método de estimativa do rendimento e do peso de filé. Essa forma de avaliação demanda tempo, pois o desenvolvimento de linhagens melhoradas depende de características genotípicas complexas.

A predição de peso e rendimento de filé em tilápia do Nilo por meio de equações regressoras consiste em alternativa para evitar o sacrifício do peixe na avaliação da produção de filé, e pode ser realizada diretamente no exemplar que será destinado à reprodução dentro do plantel aquícola. Porém, devem ser utilizadas equações preditoras que tenham como variáveis explicativas mensurações coletadas por método não invasivo.

Grande parte das equações de predição encontradas na literatura estão direcionadas para ruminantes, suínos e aves, e consistem na avaliação de fatores resultantes da interação entre animais e alimentos utilizados para elaboração de rações, obtidas de experimentos realizados *in vivo*. Valores energéticos gerais de alimentos (ALVARENGA et al. 2011), digestibilidade da matéria orgânica (MAHIPALA et al. 2009), proteína metabolizável (NSAHLAI et al. 2004; SILVA et al. 2007), energia metabolizável (LUO et al. 2004; ZHOU et al. 2010; TAGLIAPIETRA et al. 2011; ROBINSON et al. 2011), energia digestível (BLAS

et al. 1992), energia líquida (BOEVER et al. 1988) e taxa de consumo (ROSELER et al. 1997), são exemplos.

Sugestões de equações preditoras para avaliar alimentos componentes de rações para peixes (ZHOU et al. 2005; SALES, 2008) e na área de tecnologia do pescado (BALLESTER-LOZANO et al. 2011; ZHANG et al., 2011) também são encontradas.

O primeiro trabalho sugerindo equações de predição para avaliar características de rendimento em peixe por técnica não invasiva de coleta de dados, foi realizado por Bosworth et al. (2001), utilizando ultrassonografia em bagres do canal, *Pangasianodon* sp. Posteriormente, trabalhos neste sentido foram realizados para tilápia do Nilo por morfometria (RUTTEN et al., 2004; PIRES et al., 2011;) e catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* (SANG et al., 2009). Crepaldi et al. (2008) utilizaram, além da morfometria, a ultrassonografia para estimar equações para predizem rendimentos em surubins híbridos, *Pseudoplatystoma* spp.

Segundo Alvarenga (2011), muitas preditoras, aparentemente bem ajustadas aos dados originais, não respondem satisfatoriamente quando testadas em novas amostragens. Recentemente, para solucionar esse problema tem sido utilizada a méta-análise, metodologia que consiste na combinação de resultados de vários trabalhos gerando uma síntese reproduzível e quantificável dos dados (LOVATTO et al., 2007), justificada porque o resultado alcançado em pesquisas únicas, reflete as condições ambientais do experimento, e não devem ser utilizados para inferências populacionais, ainda que seguida a metodologia criteriosamente (SAUVANT et al., 2005).

Modelos de predição para estimar índices de produção cárnea em tilápia do Nilo são raros na literatura e utilizam metodologias não invasivas distintas, dificultando a meta-análise dos dados.

Neste contexto, este estudo tem por objetivo validar as equações estimadas para peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a partir de outra amostra de dados ultrassonográficos da musculatura epiaxial e morfométricos.

4.2 Material e métodos

Após a estimação dos modelos de regressão dos valores de peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF) de tilápia do Nilo em função de medidas biométricas coletadas por

ultrassonografia e morfometria na amostra de predição, foi coletada uma amostra de 52 tilápias adultas, da linhagem GIFT, machos revertidos, com peso vivo variando entre 260 e 580 g, para fins de validação dos modelos.

Os espécimes, provenientes de uma cultura comercial localizada no município de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil, foram transportados vivos ao Laboratório de Genética e Reprodução da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de Marechal Cândido Rondon em caixas plásticas, com aeração individual e água proveniente do tanque de cultivo dos peixes.

Para a coleta dos dados, as tilápias foram submersas em caixa plástica contendo água e insensibilizadas com tensão elétrica de 220 Volts, por um minuto, visando melhorar o manuseio e diminuir o estresse ao animal. Os procedimentos de transporte, insensibilização e abate, utilizados neste experimento, foram aprovados pelo Comitê de Ética na Experimentação Animal e Aulas Práticas-CEEAAP/Unioeste, sob protocolo número 20/2010.

Os exemplares foram identificados, e, posteriormente, procedeu-se a coleta das imagens ultrassonográficas, utilizando aparelho Pic Medical[®], modelo Aquila, com sonda linear de capacidade 6,0 MHz e 7,0 cm de superfície de transdução.

As imagens foram coletadas em quatro regiões corporais, totalizando quatro Pontos (P): entre a base anterior da nadadeira pélvica até o término anterior da nadadeira dorsal (P₁), entre a base anterior da nadadeira anal até o último raio duro da nadadeira dorsal (P₂), entre a inserção final das nadadeiras anal e dorsal (P₃) e entre a inserção ventral e dorsal da nadadeira caudal (P₄), enquanto o peixe permanecia em decúbito lateral submerso em recipiente com água.

Para cada região corporal, submetida à leitura ultrassonográfica, foram coletadas medidas diretas, correspondentes a altura (H) e largura (L), nos lados direito (D) e esquerdo (E) da tilápia, e uma medida indireta de área (A), obtida a partir das medidas de H e L para cada região e lado do peixe ($A = H * L$).

As medidas de H coletadas na musculatura epiaxial da tilápia, correspondem a distância reta entre a coluna vertebral e o início da apófise espinhosa da nadadeira dorsal, visualizada na imagem ultrassonográfica dos Pontos 1, 2 e 3. Para o Ponto 4, a medida de H foi obtida pela distância entre a coluna vertebral e a base dorsal da nadadeira caudal. Para as mensurações de L, foi tomada a distância reta entre o início da apófise espinhosa da nadadeira dorsal e o término da musculatura epiaxial, adjacente a pele da tilápia, formando um ângulo de noventa graus em relação a medida de H, exceto no ponto quatro, onde a medida de largura

pode ser obtida em qualquer ponto existente entre o limite interno da musculatura epiaxial e o final desta musculatura na porção lateral da tilápia (Figura 4.1).

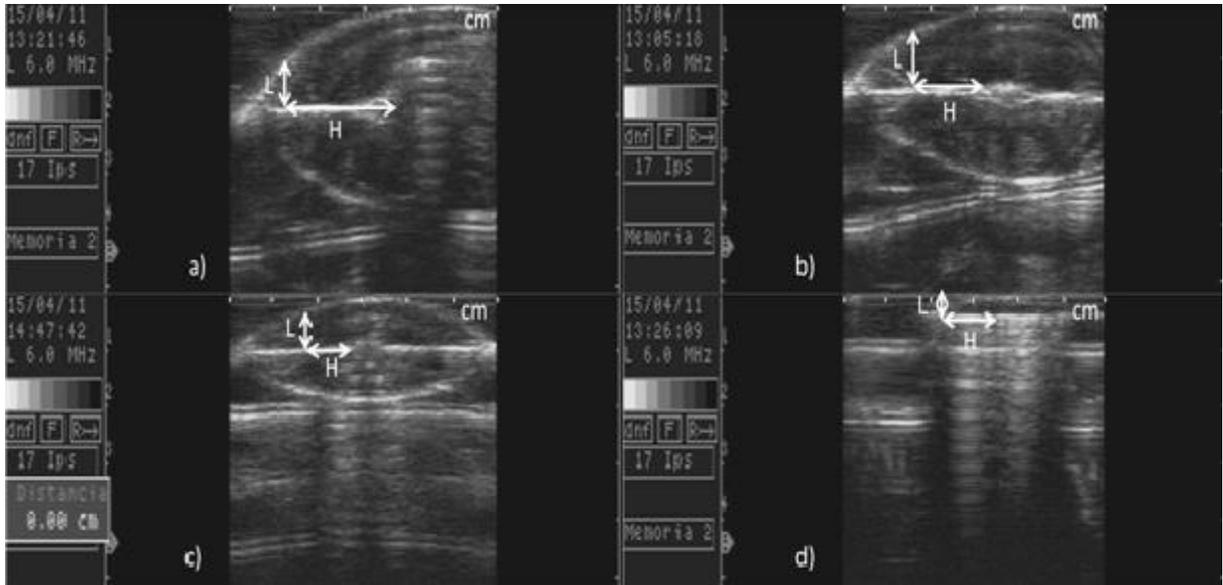


Figura 4.1 Imagens ultrassônicas nas diferentes regiões do lado esquerdo do peixe: a) H_1 e L_1 , b) H_2 e L_2 , c) H_3 e L_3 , d) H_4 e L_4

Para a avaliação morfométrica, foram coletadas informações individuais de circunferência média (CR), utilizando fita métrica, com precisão de 1 mm. A CR foi obtida pela média das mensurações coletadas nas quatro regiões corporais descritas para a leitura ultrassonográfica.

O peso total (PT) foi mensurado utilizando balança com precisão de 0,10g, e, na sequência, as tilápias foram abatidas por secção da veia jugular, armazenadas em bandejas com gelo, na proporção gelo/peixe de 2:1, e encaminhadas para a refrigeração por 24 horas, quando procedeu-se a filetagem manual, realizada por único profissional treinado e experiente, segundo metodologia descrita por Souza et al. (2005). O peso de filé (PF) foi mensurado utilizando balança de mesa, com precisão de 0,10 g, e o rendimento de filé (RF) foi obtido em função do PT de cada peixe.

Após a mensuração das características biométricas, os valores de PT, CR, HD_2 , HE_1 , HE_3 , LE_4 , AD_1 , AD_2 , AE_2 e AE_4 , mensurados na amostra de validação foram substituídos nas equações estimadas na amostra de predição (Tabela 4.1) para serem gerados os respectivos valores de peso de filé estimado (PFE) e rendimento de filé estimado (RFE), totalizando 52 pares de valores observados e estimados.

As equações testadas foram obtidas pelos procedimentos estatísticos *backward* e *stepwise*, resultando em:

Tabela 4.1 Equações quadráticas pré-definidas para peso de filé (PF) e rendimento de filé (RF), utilizando como variáveis medidas ultrassonográficas e morfométricas, em tilápia do Nilo, linhagem GIFT, obtidas pelos procedimentos estatísticos *backward* e *stepwise*.

	Equação	R ²	QM _{RES}
<i>Backward</i> (B)	PF ₁ = -17,35+3,66HD ₂ -45,20LE ₄ +0,55AE ₂ +4,64AE ₄	0,53	425,72
<i>Stepwise</i> (S)	PF ₂ = -58,03 + 5,65HE ₄ + 0,33AD ₁ + 0,65AD ₂	0,53	417,47
B e S	PF ₃ = - 52,25 - 1,26HE ₁ - 2,03HE ₃ + 0,40PT +0,51CR	0,97	24,95
B e S	PF ₄ = - 18,12 - 1,20HE ₁ + 0,425PT *	0,97	26,70
B	RF ₁ = 26,66 + 0,043AE ₂	0,15	3,75
S	RF ₂ = 25,02 + 0,051AD ₂	0,19	3,58
B e S	RF ₃ = 17,83 - 0,29HE ₁ - 0,49HE ₃ + 0,02PT + 0,13CR	0,73	1,35
S	RF ₄ = 26,14 - 0,27HE ₁ + 0,027PT *	0,68	1,45

QM_{RES} = quadrado médio do resíduo, R² = coeficiente de determinação, CT = comprimento total, PT = peso total, CR = circunferência média, A = área, H = altura, D = direita, E = esquerda para os seus respectivos Pontos 1, 2, 3 e 4, * Procedimento estatístico realizado sem a inclusão da variável CR no modelo

A validação das equações de regressão de valores de peso e rendimento de filé em função de valores de medidas biométricas externas e internas por ultrassom foi avaliada inicialmente com o ajuste de modelos de regressão linear de 1º grau ($Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$) dos valores observados de peso de filé (PFO) sobre os valores de PFE e dos valores observados de rendimento de filé (RFO) sobre os valores de RFE, utilizando-se do método dos mínimos quadrados, em que $Y = PFO$ ou RFO e $X = PFE$ ou RFE .

Um total de oito modelos de regressão de 1º grau foi ajustado, sendo quatro para peso de filé e quatro para rendimento de filé. A existência da regressão, ou seja, a detecção da significância das estimativas dos parâmetros β_0 e β_1 , foi verificada pelo teste “t” parcial aplicado individualmente a cada parâmetro.

Para situações em que ocorreu significância do intercepto e do coeficiente angular, a hipótese de nulidade testada foi $H_0: \beta_i = 0$ e a hipótese alternativa bilateral foi $H_a: \beta_i \neq 0$. A não aceitação da hipótese de nulidade para o coeficiente angular sugeriu a influência dos valores estimados para explicar a variação nos valores observados.

Nos casos em que a predição do modelo de 1º grau apresentou-se não-significativa para o intercepto, a análise foi reprocessada considerando-o nulo, ou seja, foi ajustado o modelo:

$$Y_i = \beta_1 X_i + \epsilon_i$$

onde, a hipótese de nulidade testada foi restrita ao coeficiente angular ($H_0: \beta_1=0$), contra a hipótese alternativa bilateral ($H_a: \beta_1 \neq 0$).

A validação da predição dos modelos de regressão de 1º grau e, em consequência, a validação das equações estimadas como preditoras da relação linear de peso e rendimento de filé a partir dos valores de medidas morfométricas externas e ultrassonográficas internas foi verificada a partir do ajuste de um modelo linear de 1º grau dos valores observados em função dos valores preditos (\hat{Y}) de peso e rendimento de filé pelas equações lineares estimadas inicialmente. Os valores preditos foram obtidos considerando-se as seguintes possibilidades:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_i \text{ ou } \hat{Y} = \beta_1 X_i$$

onde, a hipótese de nulidade (H_0) testada foi a hipótese conjunta para os parâmetros da regressão linear, em que $\beta_0=0$ e $\beta_1=1$ versus $H_a: \beta_0 \neq 0$ e $\beta_1 \neq 1$. A validação das equações foi verificada quando a H_0 não foi rejeitada, ao se aplicar o teste F (MONTGOMERY et al., 2006), indicando semelhança entre valores preditos (\hat{Y}) e observados (Y), ou seja, baixa magnitude nos valores de resíduo ($\epsilon_i = Y - \hat{Y}$).

Matricialmente, o valor da estatística F calculada para teste da hipótese de nulidade do modelo linear geral ($H_0: T\beta = \theta$) pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$F_{H_0} = \text{Numerador/Denominador} = \{[(T\beta - \theta)'(T(X'X)^{-1}(T\beta - \theta))]/m\}/QM_{RES},$$

em que: T é uma matriz identidade de ordem 2, β é o valor dos parâmetros estimados, θ é um vetor coluna relacionado a esperança do vetor β , m é o número de equações a serem testadas na H_0 ($m = 2$) e $(X'X)^{-1}$ é a matriz inversa da matriz $X'X$, com duas linhas e duas colunas.

O valor tabelado da estatística F é dependente do nível de significância (α) pré estabelecido, de m e dos graus de liberdade do resíduo ($n-p$), em que n é o número de observações e p é o número de parâmetros do modelo ($F_{\alpha\%}(m;n-p)$).

O nível de significância de 0,05 foi adotado em todos os procedimentos estatísticos. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa Statistical Analysis System (SAS, 2000).

4.3 Resultados e discussão

A variabilidade das medidas ultrassonográficas da musculatura epiaxial e morfométricas de tilápia do Nilo, obtida na amostra utilizada para a validação das equações, apresentou comportamento correspondente as variáveis explicativas coletadas na amostra utilizada para estimar as equações de predição (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Estatísticas descritivas de medidas coletadas por ultrassonografia e morfometria em 52 exemplares de tilápia do Nilo

	Variável ⁽¹⁾	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
Morfometria	CR (mm)	143,18	9,25	119,50	162,25	6,46
	PT (g)	405,80	80,00	260,00	580,00	17,50
	PF (g)	127,91	30,21	72,80	188,50	23,62
	RF (%)	31,20	2,26	28,00	35,48	7,24
Ultrassonografia	HE ₁ (mm)	29,12	2,19	24,40	33,50	7,52
	AD ₁ (mm)	133,24	28,94	67,00	195,84	21,72
	HD ₂ (mm)	15,83	2,04	11,40	21,40	12,89
	AD ₂ (mm)	137,59	27,79	88,92	199,02	20,20
	AE ₂ (mm)	136,72	23,98	77,19	191,88	17,54
	HE ₃ (mm)	14,04	2,33	10,80	22,50	16,59
	HE ₄ (mm)	12,66	1,96	3,80	16,00	15,46
	AE ₄ (mm)	15,75	5,23	5,70	30,60	33,24

⁽¹⁾ PT = peso total, PF = peso de filé, RF = rendimento de filé, CR = circunferência média, CV = coeficiente de variação, HE = altura esquerda, HD = altura direita, AD = área direita, AE = área esquerda para os respectivos Pontos 1, 2, 3 e 4

A área esquerda no Ponto 4 (AE₄) foi a mensuração coletada por ultrassonografia que mostrou maior CV, correspondendo a 33,24 % (Tabela 4.2), possivelmente pela ausência da apófise espinhosa utilizada para mensurar a largura nessa região corporal da tilápia. A variável que mostrou menor CV (7,51%) foi a medida altura esquerda do Ponto 1 (HE₁).

O rendimento de filé (RF) médio e desvio-padrão para os 52 exemplares de tilápia do Nilo avaliados foram de 31,20% \pm 2,26, com valor mínimo observado de 28,00% e máximo de 35,48%. O CV para RF foi de 7,24% (Tabela 4.2).

Em peixes da mesma espécie e classe de peso semelhantes aos utilizados no presente estudo, Silva et al. (2009), Nguyen et al. (2010) e Fülber et al. (2010) encontraram valores para RF = 34,18% (CV = 6,41 %), 33,60% (CV = 9,6%) e 30,04% (CV = 10,13%), respectivamente. Marengoni e Santos (2006) comentaram que a variação no RF de tilápia do Nilo deve-se à falta de padronização na filetagem do peixe.

O peso de filé (PF) variou acentuadamente (CV = 23,62%) na amostra avaliada. Este foi influenciado pelo CV (17,50%) do peso total (PT) do peixe (Tabela 4.2), visto que, segundo Rutten et al. (2004), o PF e o PT estão intimamente relacionados e o mesmo não acontece entre RF e PT.

O comportamento similar dos coeficientes de variação obtidos na amostra utilizada para estimação de equações preditoras em comparação ao CV das características mensuradas nos peixes aferidos para a validação destas equações, pode se atribuído à elevada semelhança genética dos exemplares de tilápia do Nilo GIFT trazidos da Malásia para o Brasil. Segundo estudo realizado por Massago et al. (2009), a linhagem GIFT possui semelhança genética de 93,2% entre exemplares avaliados.

Para os valores de PF estimados pelos modelos de regressão, a maior estimativa de CV (25,26%) ocorreu quando utilizada a equação PF₃. O menor valor de CV (19,09%) foi obtido para o PF estimado pela equação PF₁. As equações PF₁ e PF₂ superestimaram o PF médio de tilápia do Nilo, enquanto as equações PF₃ e PF₄ subestimaram os valores médios de PF dos peixes da nova amostra (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 Valores médios, desvios-padrão, valores mínimos e valores máximos, e coeficiente de variação (CV) de peso (g) e rendimento (%) de filé observado e estimados por modelos de predição em tilápia do Nilo

Variável ⁽¹⁾	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	CV
PFE ₁	133,05	25,40	68,23	193,78	19,09
PFE ₂	146,91	29,40	70,21	214,01	20,02
PFE ₃	117,89	29,79	60,73	178,85	25,26
PFE ₄	119,39	28,56	63,10	180,04	23,92
PFO	127,91	30,21	72,80	188,50	23,62
RFE ₁	32,54	1,03	29,98	34,91	3,17
RFE ₂	32,04	1,42	29,55	35,17	4,42
RFE ₃	29,23	2,10	24,81	33,30	7,20
RFE ₄	29,23	1,60	26,33	32,54	5,49
RFO	31,17	2,22	28,00	35,00	7,12

⁽¹⁾ PFO = peso de filé observado, PFE = peso de filé estimado para as seguintes equações: PF₁ (-17,35+3,66HD₂-45,20LE₄+0,55AE₂+4,64AE₄), PF₂ (-58,03 + 5,65HE₄ + 0,33AD₁ + 0,65AD₂), PF₃ (- 52,25 - 1,26HE₁ - 2,03HE₃ + 0,40PT +0,51CR) e PF₄ (- 18,12 - 1,20HE₁ + 0,425PT), RFO = rendimento de filé observado, RFE = rendimento de filé estimado para as seguintes equações: RF₁ (26,66 + 0,043AE₂), RF₂ (25,02 + 0,051AD₂), RF₃ (17,83 - 0,29HE₁ - 0,49HE₃ + 0,02PT + 0,13CR) e RF₄ (26,14 - 0,27HE₁ + 0,027PT)

Os valores de CV das variáveis estimadas para RF apresentaram comportamento semelhante aos estimados para PF. O maior CV foi observado para regressora RF₃ e o menor

CV foi para o rendimento de filé estimado pela equação 1 (RF₁), com valores de 7,20 e 3,17%, respectivamente (Tabela 4.3).

As estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão para PF e RF observado em função de PF e RF estimado, respectivamente, estão apresentadas na Tabela 4.4. As Figuras 4.2a, 4.2b, 4.2c, 4.2d, 4.3a, 4.3b, 4.3c e 4.3d, representam a dispersão dos pontos em relação à condição ideal ($Y = X$) entre os valores observados coletados nas tilápias e os preditos pelas equações lineares de 1º grau.

A análise estatística do coeficiente de inclinação da reta (β_1) para PF₁, PF₂, PF₃, PF₄, RF₁, RF₂, RF₃ e RF₄ (Tabela 4.4) apontou a não-aceitação da hipótese de nulidade pelo teste “t” parcial, ou seja $\beta_1 = 0$, para todas as variáveis ($P < 0,0001$). Para o intercepto (β_0), observou-se a não-aceitação da hipótese de nulidade apenas para PF₃ ($P = 0,0087$) e RF₃ ($P = 0,0018$), dada por $\beta_0 = 0$.

Esse resultado sugeriu que houve relação linear entre os valores observados em função dos valores estimados de peso e rendimento de filé de tilápia do Nilo, ou seja, os valores estimados explicaram significativamente a variação das respostas nos valores observados na nova amostra.

O maior valor absoluto de resíduo ordinário de PF e RF entre os dados observados em função dos estimados em tilápia do Nilo pelas equações PF₁, PF₂, PF₃, PF₄, RF₁, RF₂ e RF₃ e RF₄ (Tabela 4.4) foram de 63,11 g (PF₁), 28,62 g (PF₂), 28,33 g (PF₃), 19,90 g (PF₄), 3,65% (RF₁), 4,85% (RF₂), 3,60% (RF₃) e 3,80% (RF₄), representando respectivamente 48,85% (PF₁), 53,11% (PF₂), 17,36% (PF₃), 14,20% (PF₄), 13,03 % (RF₁), 16,61% (RF₂), 10,59% (RF₃) e 13,01% (RF₄) do valor observado para PF e RF na amostra. A menor distância positiva para PF foi observada quando utilizada a equação PF₄ (19,90 g). Pela equação RF₃ obteve-se a menor distância positiva (3,60%) para RF.

Os menores valores absolutos de resíduo ordinário ($\epsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$) entre os dados observados e estimados foram de 1,20 g (PF₁), 0,30 g (PF₂), 0,34 g (PF₃), 0,45 g (PF₄), 0,02% (RF₁), 0,15% (RF₂), 0,15% (RF₃) e 0,12% (RF₄), valores que representaram 1,13% (PF₁), 0,22% (PF₂), 0,23% (PF₃), 0,33% (PF₄), 0,48% (RF₁), 0,06% (RF₂), 0,52% (RF₃) e 0,37% (RF₄) do observado para PF e RF nos 52 exemplares de tilápia do Nilo.

Tabela 4.4 Equações de regressão dos valores observados na amostra de validação em função dos valores estimados de peso e rendimento de filé de tilápia do Nilo, quadrado médio do resíduo (QM_{RES}), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade de significância do teste t parcial para os parâmetros

Equação estimada ⁽¹⁾	Equação de regressão ⁽²⁾	QM_{RES}	R^2	p-valor ⁽³⁾	
				β_0	β_1
PF ₁	PFO ₁ = 0,9539*PFE ₁	582,2851	0,9669	-	<0,0001
PF ₂	PFO ₂ = 0,8629*PFE ₂	564,5447	0,9679	-	<0,0001
PF ₃	PFO ₃ =12,4727+0,9792*PFE ₃	63,8376	0,9314	0,0087	<0,0001
PF ₄	PFO ₄ =1,0697*PFE ₄	31,5335	0,9982	-	<0,0001
RF ₁	RFO ₁ = 0,9585*RFE ₁	3,1890	0,9968	-	<0,0001
RF ₂	RFO ₂ =0,9728*RFE ₂	3,7048	0,9963	-	<0,0001
RF ₃	RFO ₃ =10,7950+0,6971*RFE ₃	2,8289	0,4370	0,0018	<0,0001
RF ₄	RFO ₄ =1,0666*RFE ₄	1,6303	0,9984	-	<0,0001

⁽¹⁾ PF₁ (-17,35+3,66HD₂-45,20LE₄+0,55AE₂+4,64AE₄), PF₂ (-58,03 + 5,65HE₄ + 0,33AD₁ + 0,65AD₂), PF₃ (- 52,25 - 1,26HE₁ - 2,03HE₃ + 0,40PT +0,51CR), PF₄ (- 18,12 - 1,20HE₁ + 0,425PT), RF₁ (26,66 + 0,043AE₂), RF₂ (25,02 + 0,051AD₂), RF₃ (17,83 - 0,29HE₁ - 0,49HE₃ + 0,02PT + 0,13CR) e RF₄ (26,14 - 0,27HE₁ + 0,027PT)

⁽²⁾ PFO = peso de filé observado para as respectivas equações PF₁, PF₂, PF₃ e PF₄

RFO = rendimento de filé observado para as respectivas equações RF₁, RF₂, RF₃ e PF₄

⁽³⁾ Probabilidade de significância

H₀ : $\beta_0 = 0$ H₀ : $\beta_1 = 0$

H_a : $\beta_0 \neq 0$ H_a : $\beta_1 \neq 0$

A partir do ajuste dos modelos de 1° grau (Tabela 4.4), foram gerados os valores preditos ($\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$ ou $\hat{Y} = \beta_1 X$), em que $X = PFE$ ou RFE . O ajuste dos valores observados em função dos preditos, pra todos os modelos de predição avaliados, mostrou que os respectivos coeficientes de probabilidade atestaram a aceitação da hipótese H₀ : $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ (Tabela 4.5).

A supressão do intercepto em oito equações da Tabela 4.4, causada pela sua não significância, proporcionou a obtenção de valores preditos mais apropriados para teste posterior da hipótese linear geral.

Pelo teste F aplicado, a aceitação da hipótese de nulidade (H₀ : $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$) indicou a correspondência entre valores preditos (\hat{Y}) e observados (Y), ou seja, a parte explicada pelos modelos de 1° grau estiveram próximas (P > 0,05) dos valores reais observados (Tabela 4.5), resultando em baixa magnitude nos valores de resíduo ($\epsilon_i = Y - \hat{Y}$). Assim, todas as equações avaliadas foram válidas pra predizer o peso e o rendimento de filé em tilápia do Nilo, com peso entre 260 e 580g, na nova amostra.

Tabela 4.5 Testes da hipótese de nulidade do modelo linear geral para a validação dos valores observados em função dos valores preditos de peso e rendimento de filé em tilápia do Nilo

Equação ⁽¹⁾	Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	p-valor ⁽²⁾
PF ₁	Numerador	2	734,9086	1,30	0,2811
	Denominador	50	564,5345		
PF ₂	Numerador	2	890,4172	1,65	0,2027
	Denominador	50	540,2189		
PF ₃	Numerador	2	2,51x10 ⁻²⁴	0,00	1,0000
	Denominador	50	63,8376		
PF ₄	Numerador	2	19,5686	0,62	0,5401
	Denominador	50	31,3814		
RF ₁	Numerador	2	3,7811	1,22	0,3041
	Denominador	50	3,1016		
RF ₂	Numerador	2	1,5530	0,42	0,6607
	Denominador	50	3,7168		
RF ₃	Numerador	2	3,69x10 ⁻²⁶	0,00	1,0000
	Denominador	50	2,8289		
RF ₄	Numerador	2	0,2961	0,18	0,8363
	Denominador	50	1,6511		

⁽¹⁾ PF₁ (-17,35+3,66HD₂-45,20LE₄+0,55AE₂+4,64AE₄), PF₂ (-58,03 + 5,65HE₄ + 0,33AD₁ + 0,65AD₂), PF₃ (- 52,25 - 1,26HE₁ - 2,03HE₃ + 0,40PT +0,51CR), PF₄ (- 18,12 - 1,20HE₁ + 0,425PT), RF₁ (26,66 + 0,043AE₂), RF₂ (25,02 + 0,051AD₂), RF₃ (17,83 - 0,29HE₁ - 0,49HE₃ + 0,02PT + 0,13CR) e RF₄ (26,14 - 0,27HE₁ + 0,027PT)

⁽²⁾ Probabilidade de significância

H₀ : $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$

H_a: $\beta_0 \neq 0$ e $\beta_1 \neq 1$

Segundo Alvarenga et al. (2011), a semelhança entre valores observados e preditos apenas mostram a relação entre eles, não apontam qual a melhor equação dentre as avaliadas, nem qual ajusta melhor os dados estimados aos observados.

As regressoras PF₁, PF₂, PF₃, PF₄, RF₁, RF₂, RF₃ e RF₄ estimaram valores para peso e rendimento de filé sem presença de vício global de predição, assumindo a forma pré estabelecida de condição ideal, ou seja, $Y = 0 + 1X$, ou simplesmente $Y = X$ (Figuras 4.2a, 4.2b, 4.2c, 4.2d, 4.3a, 4.3b, 4.3c e 4.3d).

Contudo, se comparadas às equações PF₃ e PF₄ para estimar PF em tilápia do Nilo, o modelo PF₁, obtido pelo procedimento estatístico *backward*, e o modelo PF₂, obtido pelo procedimento estatístico *stepwise*, ambos a partir de mensurações coletadas de imagens ultrassonográficas, foram os modelos que mostraram relação mais dispersa entre os valores de peso de filé observado na amostra de validação e os valores preditos.

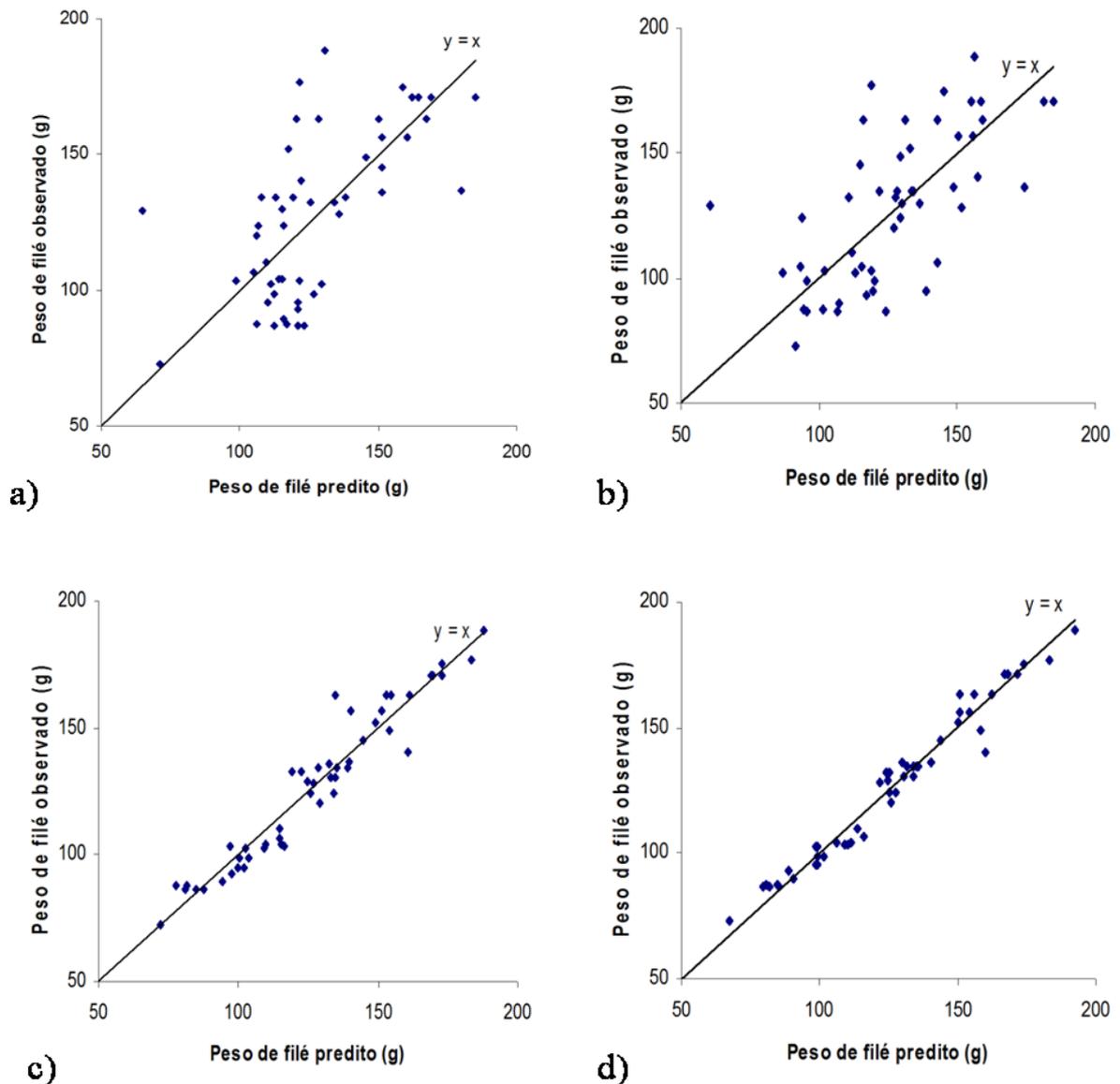


Figura 4.2 Relação entre os valores de peso de filé observado na amostra de validação e os valores preditos pelas equações: a) $PFO_1 = 0,9539PFE_1$, b) $PFO_2 = 0,862PFE_2$, c) $PFO_3 = 12,4727 + 0,9792PFE_3$ e d) $PFO_4 = 1,0697PFE_4$

A precisão com que as estimativas foram obtidas, quando utilizadas as equações de predição, pode ser analisada pelo quadrado médio do resíduo (QM_{RES}) do teste F (Tabela 4.6), que foi 564,5345 para PF_1 , 540,2189 para PF_2 , 63,8376 para PF_3 e 31,3814 para PF_4 . Dentre os modelos específicos para PF, o que apresentou menor erro de predição foi a equação PF_4 , resultando em melhor ajuste dos valores observados sobre os preditos para PF, aproximando-se do eixo central (Figura 4.2d).

Além disso, pode-se notar visualmente que a distribuição espacial dos pontos de PF_1 e PF_2 foi mais distante do eixo central (condição ideal) se comparadas à distribuição dos pontos das equações PF_3 e PF_4 (Figuras 4.2c e 4.2d).

Durante a etapa de estimação das equações de regressão e seleção de variáveis regressoras, as equações PF₃ (-52,25 - 1,26HE₁ - 2,03HE₃ + 0,40PT + 0,51CR) e PF₄ (- 18,12 - 1,20HE₁ + 0,425PT) apresentaram os menores valores de QM_{RES}, iguais a 24,95 e 26,70, respectivamente. A equação PF₃ possui como variável explicativa a circunferência média (CR) e as medidas ultrassonográfica altura esquerda do Ponto 3 (HE₃). A equação PF₄ não possui estas variáveis explicativas. As variáveis peso total (PT) e altura esquerda do Ponto 1 (HE₁) mensurada pelo ultrassom, são comuns à ambas equações de predição (Tabelas 4.2 e 4.3).

Apesar de PF₄ apresentar QM_{RES} superior à PF₃ (Tabela 4.1), a primeira ajustou melhor os valores observados aos preditos para PF (Tabela 4.4). Esse ajuste pode ser explicado com base no CV das variáveis explicativas (β_i) de ambas as equações predictoras na amostra de validação. Dentre todas as variáveis explicativas contidas nos modelos avaliados PF₃ e PF₄, o PT foi a mensuração morfométrica que apresentou a maior variação (CV = 17,50%), seguido de HE₃ (CV = 16,59%) e HE₁ (CV = 7,52%), mensuradas no ultrassom, e CR (CV = 6,46 %).

A equação PF₃ apresentou constante $\beta_3 = 2,03$, que multiplicada pela variável HE₃ apresentou a maior contribuição dentre os parâmetros explicativos estimados ($\beta_i X_i$). Todas as demais constantes (β_i) incluídas nos modelos PF₃ e PF₄ apresentaram valores menores (Tabela 4.1). Dessa forma, o pior ajuste dos valores observados em função dos valores preditos para PF₃ em relação à PF₄ na nova amostra, foi consequência do elevado CV de HE₃ (Tabela 4.2).

A utilização da equação PF₄ apresenta vantagem se comparada à equação PF₃ na predição do peso de filé em tilápia do Nilo, porque tem menor número de variáveis explicativas quando comparada a PF₃. Dessa forma, ocorre diminuição da exposição do peixe ao estresse causado pela biometria e, conseqüentemente, diminui o tempo gasto na avaliação do exemplar e na obtenção dos valores estimados pela equação.

As equações RF₁ e RF₂ foram as mais dispersas em relação ao eixo de condição ideal ou reta de qualidade (Figura 4.3c e 4.3d). Porém, o impacto visual dos pontos no gráfico das figuras, pode levar a tomada de decisão inadequada, pois os pontos obtidos pelo modelo RF₁ sugerem visualmente menos dispersão que os pontos do modelo RF₃. Portanto, com base no QM_{RES} da análise de variância de regressão de valores observados em função dos valores preditos (Tabela 4.5) e também considerando a análise de resíduos, o modelo avaliado RF₃ supera a equação RF₁ em precisão. Os valores obtidos com a análise de resíduos foram de 162,64 (RF₁), 188,35 (RF₂), 141,44 (RF₃) e 83,14 (RF₄).

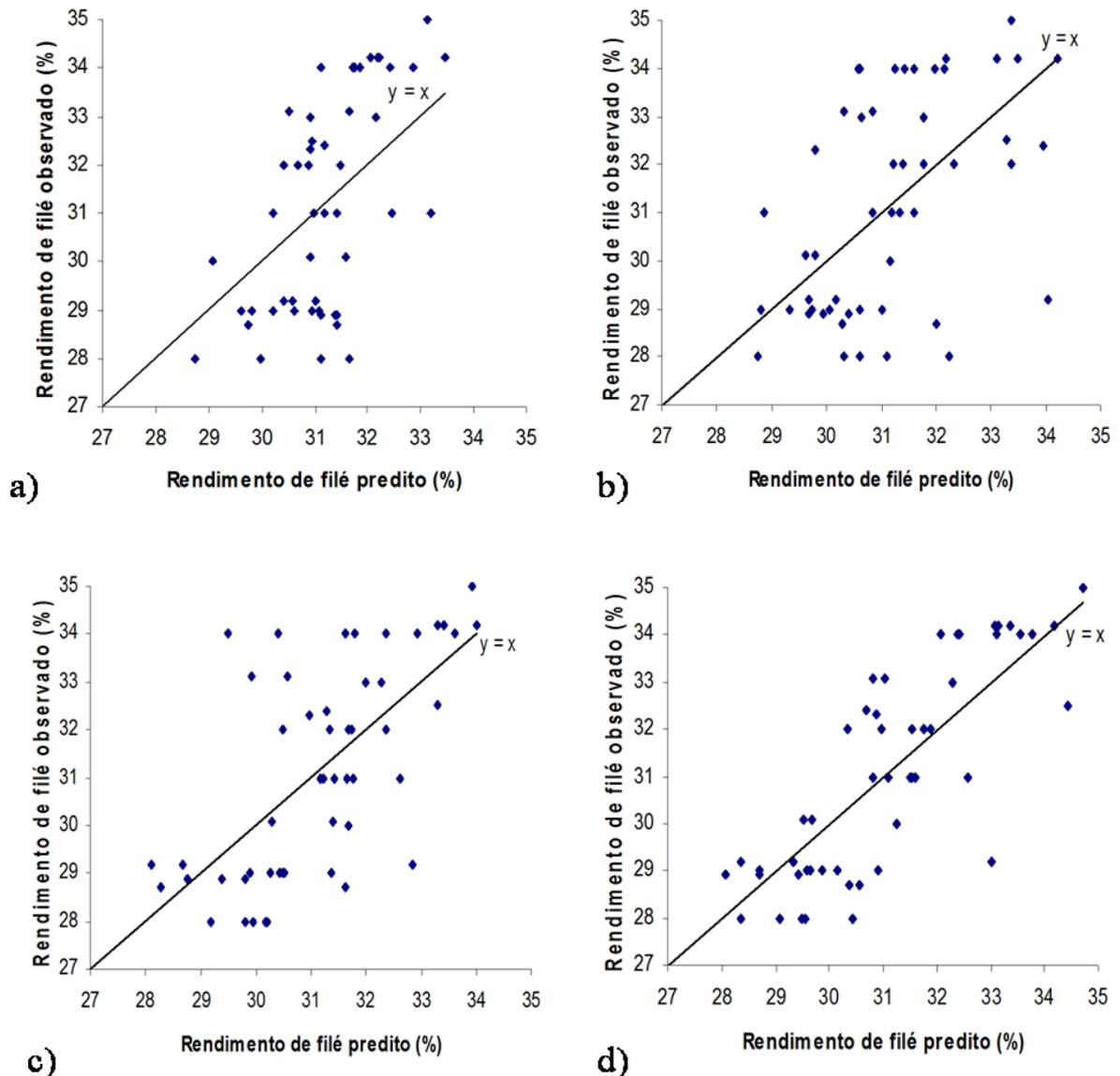


Figura 4.3 Relação entre os valores de rendimento de filé observado na amostra de validação e os valores preditos pelas equações: a) $RFO_1 = 0,9585RFE_1$, b) $RFO_2 = 0,9728RFE_2$, c) $RFO_3 = 10,7950 + 0,6971RFE_3$, e d) $RFO_4 = 1,0666RFE_4$

A distribuição proporcional dos pontos em relação a reta de condição ideal ($Y = X$), mostrou não haver vício de predição das estimativas, embora, quando observada a média dos valores preditos pelas equações de estimação, houve leve subestimação do peso de filé e do rendimento de filé pelas equações PF_3 , PF_4 , e RF_3 , RF_4 , respectivamente. As equações PF_1 , PF_2 , RF_1 e RF_2 hiperestimaram levemente os valores de PF e RF, quando comparados estes aos observados (Tabela 4.3).

O vício de predição ou vício global das estimativas pode ser calculado pela fórmula $B = (\beta - 1) \times 100$, em que: B é o vício global das estimativas (%), β é a estimativa do

coeficiente angular da equação ajustada sem a consideração do intercepto (DETMANN et al., 2005). Somente havendo vício de predição quando a hipótese de nulidade conjunta ($H_0 : \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$) não for aceita.

Do ponto de vista prático, é preferível utilizar as equações PF₄ (- 18,12 - 1,20HE₁ + 0,425PT) e RF₄ (26,14 - 0,27HE₁ + 0,027PT) para predizer peso e rendimento de filé em tilápia do Nilo, respectivamente. Este modelos, se comparados à PF₃ e RF₃, apresentam menor número de variáveis explicativas, o que agiliza a coleta de dados e diminui o estresse causado ao peixe, além de considerar como variável regressora a altura esquerda do Ponto 1 (HE₁), qual possui menor CV dentre todas as variáveis explicativas coletadas pela ferramenta ultrassonográfica.

4.4 Conclusões

As equações PF₃ = - 52,25 - 1,26HE₁ - 2,03HE₃ + 0,40PT + 0,51CR e PF₄ = - 18,12 - 1,20HE₁ + 0,425PT predizem acuradamente os pesos observados de filé de tilápia do Nilo, machos invertidos, adultos, com peso entre 260 e 580g.

Todas as equações de predição do peso e rendimento de filé em tilápia do Nilo são válidas e não mostram vício global de predição.

A utilização das equações PF₃ e PF₄ para predizer o peso de filé, e as equações RF₃ = 17,83 - 0,29HE₁ - 0,49HE₃ + 0,02PT + 0,13CR e RF₄ = 26,14 - 0,27HE₁ + 0,027PT para predizer o rendimento de filé em tilápia do Nilo adultas, machos fenotípicos, linhagem GIFT, com peso entre 260 e 580g deve ser preferida.

4.5 Referências

- ALVARENGA, R.R.; RODRIGUES, P.B.; ZANGERONIMO, M.G. et al. Energetic values of feedstuffs for broilers determined with in vivo assays and prediction equations. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, n.3-4, p. 257-266, 2011.
- BALLESTER-LOZANO, G.F.; BENEDITO-PALOS, L.; NAVARRO, J.C. et al. Prediction of fillet fatty acid composition of market-size gilthead sea bream (*Sparus aurata*) using a regression modelling approach. **Aquaculture**, v.319, n.1-2, p. 81-88, 2011.
- BLAS, C.; WISEMAN, J.; FRAGA, M.J. et al. Prediction of the digestible energy and digestibility of gross energy of feeds for rabbits. 2. Mixed diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, n.1-2, p.39-59, 1992.
- BOEVER, J.L. COTTYN, B.G. ANDRIES, J.I. et al. The use of a cellulase technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of forages. **Animal Feed Science and Technology**, v.19, n.3, p.247-260, 1988.
- BOSWORTH, B.G.; HOLLAND, M.; BRAZIL, B.L. Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1483-1490, 2001.
- CREPALDI, D.V.; TEIXEIRA, E.A.; FARIA, P.M. et al. Rendimento de carcaça em surubim (*Pseudoplatystoma* spp.) avaliado por ultra-som. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.4, p.813-824, 2008.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; CABRAL, L.S. et al. Simulação e validação de parâmetros da cinética digestiva em novilhos mestiços suplementados a pasto, por intermédio do sistema *in vitro* de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2112-2122, 2005.
- EL-SAYED, A.F.M. **Tilapia culture**. London: CABI publishing, 2006. 277p.
- FÜLBER, V.M.; RIBEIRO, R.P.; VARGAS, L.D.; et al. Desempenho produtivo de três linhagens de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dois níveis de proteína. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.32, n.1, p.77-83, 2010.
- LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; ANDRETTA I. et al. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.285-294, 2007.
- LUO, J.; GOESTCH, A.L.; NSAHLAI, I.V. et al. Prediction of metabolizable energy and protein requirements for maintenance, gain and fiber growth of Angora goats. **Small Ruminant Research**, v.53, n.3, p.339-356, 2004.
- MAHIPALA, M.B.P.K.; KREBS, G.L.; MCCAFFERTY, P. et al. Faecal indices predict organic matter digestibility, short chain fatty acid production and metabolizable energy content of browse-containing sheep diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.154, n.1-2, p.68-75, 2009.

- MARENGONI, N.G.; SANTOS, R.S. Rendimento e composição de filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e piavuçu (*Leporinus macrocephalus*) cultivados em pesque-pagues. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.211, p. 227-238, 2006.
- MASSAGO, H.; RIBEIRO, R.P.; BARRETO, N.M.L. et al. Diversidade genética de quatro linhagens de *Oreochromis niloticus* utilizando o marcador RAPD. **Biosciencia Journal**, v.25, n.4, p. 150-159, 2009.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to linear regression analysis**. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2006. 612p.
- NGUYEN H.N.; PONZONI, R.W.; ABU-BAKAR, K.R. et al. Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.305, p.1-5, 2010.
- NSAHLAI, I.V.; GOETSCH, A.L.; LUO, J. et al. Metabolizable protein requirements of lactating goats. **Small Ruminant Research**, v.53, n.3, p. 327-337, 2004.
- PIRES, A.V.; PEDREIRA, M.M.; PEREIRA, I.G. et al. Predição do Rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n.3, p.315-319, 2011.
- ROBINSON, P.H.; GIVENS, D.I.; GETACHEW G. Evaluation of NRC, UC Davis and ADAS approaches to estimate the metabolizable energy values of feeds at maintenance energy intake from equations utilizing chemical assays and in vitro determinations. **Animal Feed Science and Technology**, v.114, n.1-4, p. 75-90, 2011.
- ROSELER, D.K.; FOX, D.G.; CHASE, L.E. et al. Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating holstein dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.5, p.878-893, 1997.
- RUTTEN, M.J.M.; BOVENHUIS, H.; KOMEN, H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.231, n.1/4, p.113-122, 2004.
- SALES, J. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, v.278, n.1-4, p.128-142, 2008.
- SANG, N.V.; THOMASSEN, M.; KLEMETS DAL, G. et al. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). **Aquaculture**, v.288, p.166-171, 2009.
- SAUVANT, D.; SCHMIDELY, P.; DAUDIN, J.J. Les métaanalyses des données expérimentales: Applications en nutrition animale. **INRA Productions Animales**, v.8, n.1, p.63-73, 2005.
- SILVA, A.M.A.; SOBRINHO, A.G.S.; TRINDADE, I.A.C.M. et al. Net and metabolizable protein requirements for body weight gain in hair and wool lambs. **Small Ruminant Research**, v.67, n.2-3, p.192-198, 2007.

SILVA, J.W.B. **Tilápias**: biologia e cultivo. Evolução, situação atual e perspectivas da tilapicultura no Nordeste Brasileiro. 1.ed. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 326 p.

SOUZA, M.L.R.; VIEGAS, E.M.M.; SOBRAL, P.J.A. et al. Efeito do peso de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre o rendimento e a qualidade de seus filés defumados com e sem pele. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.1, p.51-59, 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **SAS/STAT User's guide**. Version 8.2. 4ed. v.2. Cary: 2000.

TAGLIAPIETRA, F.; CATTANI, M.; HANSEN, H.H. et al. Metabolizable energy content of feeds based on 24 or 48 h in situ NDF digestibility and on in vitro 24 h gas production methods. **Animal Feed Science and Technology**, v.170, n.3-4, p.182-191, 2011.

ZHANG, L.; LI, X.; LU, W. et al. Quality predictive models of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) at different temperatures during storage. **Food Control**, v.22, n.8, p.1197-1202, 2011.

ZHOU, Z.; WAN, H.F.; LI, Y. et al. The influence of the amylopectin/amylose ratio in samples of corn on the true metabolizable energy value for ducks. **Animal Feed Science and Technology**, v.157, n.1-2, p. 99-103, 2010.

ZHOU, Z.; XIE, S.; LEI, W. et al. A bioenergetic model to estimate feed requirement of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture**, v.248, n.1-4, p. 287-297, 2005.