



ALINE DE ASSIS LAGO

**RETROCRUZAMENTO ENTRE AS
VARIEDADES DE *Oreochromis niloticus* RED
STIRLING E CHITRALADA**

LAVRAS - MG

2014

ALINE DE ASSIS LAGO

**RETROCRUZAMENTO ENTRE AS VARIEDADES DE
Oreochromis niloticus RED STIRLING E CHITRALADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Coorientador

Dr. Alexandre Wagner Silva Hilsdorf

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Lago, Aline de Assis.

Retrocruzamento entre as variedades de *Oreochromis niloticus*
Red Stirling e Chitralada / Aline de Assis Lago. – Lavras : UFLA,
2014.

122 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Rilke Tadeu Fonseca de Freitas.

Bibliografia.

1. Introgessão gênica. 2. Tilápia - Crescimento. 3. Heterose. 4.
Tilápias vermelhas. 5. Análise de trilha. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 639.3758

ALINE DE ASSIS LAGO

**RETROCRUZAMENTO ENTRE AS VARIEDADES DE
Oreochromis niloticus RED STIRLING E CHITRALADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 01 de agosto de 2014.

Dr. Alexandre Wagner Silva Hilsdorf	UFLA
Dra. Maria Emília de Sousa Gomes Pimenta	UFLA
Dr. Samuel Pereira de Carvalho	UFLA
Dr. Rafael Vilhena Reis Neto	UNESP/Registro

Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas
Orientador

LAVRAS-MG

2014

Ao meu pai, Adalcir Pedroza Lago, não tenho palavras para descrever o quão importante o senhor é em minha vida, meu herói. Nos momentos mais difíceis não me deixou desistir, amparou minhas lágrimas e dores, tanto as dores físicas quanto as dores da alma, e continuei seguindo em frente. Enfrentamos muitas perdas nesse período e sem você eu não conseguiria.

À minha mãe, Ma. Elizabete Fátima de Assis Lago (in memoriam), o exemplo que deixou é que me impulsionou a seguir em frente mesmo sentindo tanto a sua ausência.

Aos meus avós, João (in memoriam), Maria Zélia (in memoriam), Vicente (in memoriam) que fizeram parte dessa trilha e deixaram saudade...muita saudade!

Ao André, que teve uma paciência oriental durante esse período.

À minha avó mãe Maria das Dores, a minha tia mãe Ângela, minha tia mãe Belinha e minha irmã Lilian que me acolheram e dedicaram carinho e cuidado nos momentos de angústia.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), e ao Departamento de Zootecnia (DZO), pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

Ao professor Rilke Tadeu Fonseca de Freitas, pela orientação, apoio, paciência e confiança.

Ao professor Alexandre Wagner Silva Hilsdorf pela coorientação, dedicação e ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, processo nº 141583/2011-8.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento do projeto, processo nº 2011/23752-2.

Ao professor Samuel Pereira de Carvalho, pelos conselhos e ensinamentos.

À Royal Fish e aos funcionários, Adilson, Juarez, Jailda e Israel, pela parceria, amizade e colaboração. Aos ex-funcionários Gordinho, Baiano e Paulinho, por toda a ajuda.

Aos colegas da UMC/ UFLA Caio, Fernando, Marco Aurélio e Will, pela ajuda na condução dos experimentos.

Aos amigos e companheiros de pós-graduação, Juliana de Biasi, Suhaila Jaser, Antonio Carlos, Carlos Cicinato e Mateus Hernandes, pela amizade e apoio durante o curso, em especial ao Tiago Teruel, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos amigos e ex-colegas de pós-graduação, hoje professores e pesquisadores Rafael Vilhena Reis Neto, Jamile Araújo, Andréa Vinente, Ivan Allaman, Moacyr Serafini, Ulisses de Souza e Laura Órfão, pelo companheirismo e amizade.

À aluna de iniciação científica Mayra Ribeiro, pela dedicação, colaboração e auxílio nas análises de imagens.

À família Frei Caneco e seus membros Alfinete, Polengo, Morte, Hebreu, Ed, Tucano, Mosca e Frango. As minhas amigas e agregadas Dani e Dory. Em especial ao Smigow, também conhecido como André Zumas, o cara que aguentou meu choro e me ajudou a enfrentar todas as dificuldades, inclusive nas atividades de campo e noites de escrita viradas.

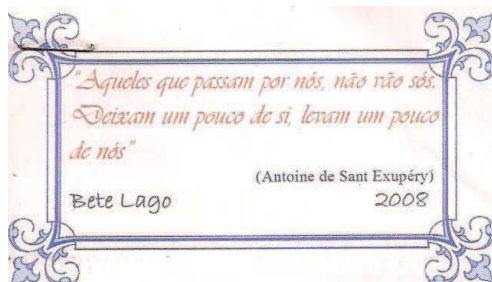
À querida Dona Rosa que cuida da turma Frei Caneco e que me acolheu nessa família com muito carinho.

Aos meus queridos sogros, André e Cida, minha cunhada Ana, minha sobrinha Anita Clara, pelo amor e dedicação, carinho e cuidado.

A todos os meus familiares, pelo apoio, em especial, à minha irmã Lilian e meu pai Adalcir, pelo apoio mútuo nos momentos de angústia e tristezas, dificuldades que enfrentamos juntos durante esse período do doutorado e por estarem sempre ao meu lado, apesar da distância, inclusive nos momentos mais difíceis.

E, finalmente, com todo meu amor, a minha mãe Elizabete (*in memoriam*), que acompanhou o início dessa jornada e deixou saudades no meio do caminho... Mas sempre acreditou que eu seria capaz, e, por entre os obstáculos, sei que ela esteve e sempre estará comigo, em minhas lembranças e em meu coração.

E a todos que contribuíram para a realização desta pesquisa.



RESUMO GERAL

No intuito de propor estratégias para produzir um híbrido intraespecífico de *Oreochromis Niloticus* com desempenho superior e coloração vermelha, foram realizados retrocruzamentos, com genitores da variedade Red Stirling e Chitralada, contendo 50%, 75% e 87,5% da proporção gênica da variedade Chitralada. A incidência de manchas melânicas na variedade Red Stirling e em seus cruzamentos proporciona desvalorização do produto final. Por sua importância comercial, a proporção de manchas foi caracterizada e seus efeitos diretos e indiretos sobre o peso corporal e medidas morfométricas foram avaliados. Os experimentos foram conduzidos na Indústria Brasileira de Peixe Ltda. em Itupeva – SP. Inicialmente, foi realizado um cruzamento entre as variedades Red Stirling e Chitralada para a obtenção da geração F1. Posteriormente, foi obtida a primeira geração de retrocruzamento (RC1). Em sequência, a segunda geração de retrocruzamento recorrente (RC2). Em esquema dialélico, sete grupos genéticos foram formados. Biometrias periódicas foram realizadas, nas quais, foram aferidas as seguintes medidas morfométricas: Comprimento Padrão (CP); Altura (A); Largura (L), Comprimento de cabeça (CC) e altura de cabeça (AC). Foram calculados os valores de heterose, heterose materna, heterose paterna, capacidade geral de combinação, capacidade específica de combinação e efeito materno, para peso e comprimento. Nos estudos de crescimento, para a fase de alevinagem, o modelo logístico foi ajustado, porém não houve diferenças significativas entre os parâmetros A, B e K do modelo. O crescimento foi diferente entre machos e fêmeas na segunda fase, em que o modelo ajustado foi o exponencial. Para os machos, o cruzamento com melhor desempenho foi observado no RC2. Para fêmeas, o melhor desempenho foi observado no RC1 (C×CR). Para as avaliações de manchas, foi registrada uma fotografia para cada lado do peixe. As imagens foram tratadas e a quantificação de manchas foi realizada com a utilização do software ENVI EX. Os dados foram submetidos às análises de resíduos, de variância e teste de Scott-Knott. Para se verificar os efeitos diretos e indiretos da proporção de manchas e medidas morfométricas sobre o peso, realizou-se a análise de trilha. As variáveis avaliadas apresentaram multicolinearidade, dessa forma os coeficientes foram estimados por regressão em crista. A proporção de manchas difere entre o parental Red Stirling, os grupos F1 e retrocruzamentos e não segue um padrão específico, apresentando variação entre e dentro de cada grupo. Diante dos coeficientes de trilha e de correlação, pode-se afirmar que essa característica não apresenta efeitos diretos e indiretos sobre o peso e medidas morfométricas.

Palavras-chave: Introgessão gênica. Crescimento. Heterose. Tilápias vermelhas. Análise de trilha.

GENERAL ABSTRACT

Aiming to propose strategies for breeding an intraspecific hybrid of *Oreochromis niloticus* with high performance and red colouring, were performed backcrossings of Red Stirling parental and Chitralada strains, containing 50%, 75% and 87.5% of genic proportion of Chitralada strain. The incidence of melanic spots of the Red Stirling variety, and on its cross-breeding, afforded depreciation of the final product. Due to its commercial importance, the proportion of spots was characterized, and its direct and indirect effects on the corporeal weight and morphometric measures, were assessed. Experiments were performed in the Indústria Brasileira de Peixe Ltda in Itupeva, State of São Paulo. Firstly, a cross-breeding between the Red Stirling and Chitralada varieties for obtaining the F1 generation was performed. Subsequently, the first generation of backcrossing (RC1) was obtained, and then, the second generation of the recurrent backcrossing (RC2). In diallelic scheme, seven genetic groups were formed. Periodical biometrics were achieved, on which the following morphometric measures were estimated: standard length (SL), height (H), width (W), head length (HL) and head height (HH). Values of heterosis, maternal heterosis, paternal heterosis, general combining ability, specific combining ability, maternal effects for weight and for length, were calculated. In the growth studies, for the nursery phase, the logistic model was adjusted. However, there was no significant statistical differences among the parameters A, B and K of the model. The growth was different between fish-males and fish-females in the second phase, on which the adjusted model was the exponential. For the fish-males, the cross-breeding with the best performance was found in the RC2, while for fish-female was found in the RC1 (C×CR). For spot evaluation, a photograph was taken for each side of the fish. Images were edited, spots quantification was carried out by using the ENVI EX software, and data were subject to residue analysis, analysis of variance, and means were compared by using Scott-Knott test. For assessing the direct and indirect effects on the corporeal weight and morphometric measures, the path analysis was carried out. As we found that all the variables show multicollinearity, their coefficients were determined by means of crest regression. Then, the spots proportion differs among Red Stirling parental, F1 groups and backcrossings. Besides, it does not follow a specific standard, showing variations between and within groups. Therefore, we may infer that there is no direct and indirect effects on the corporeal weight and morphometric measures.

Key-words: Gene introgression. Growth. Heterosis. Red tilapia. Path analysis.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 Medidas morfométricas para *O. niloticus*, comprimento padrão (CP), a altura (A) e largura (L) corporal no primeiro raio da nadadeira dorsal, o comprimento de cabeça (CC), altura de cabeça (AC)..... 58
- Figura 2 Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo Exponencial para as fêmeas dos diferentes grupos genéticos, na fase de crescimento até 190 dias de cultivo..... 66
- Figura 3 Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo Exponencial para os machos dos grupos genéticos, na fase juvenil/engorda até 190 dias de cultivo 67
- Figura 4 Dispersão gráfica dos grupos genéticos na primeira fase de cultivo em relação aos dois primeiros componentes principais, no qual 1 = Red Stirling; 2 = Chitralada; 3 = F1 (RC) ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada; 4 = F1 (CR) ♀ Chitralada × ♂ Red Stirling; 5 = retrocruzamento RC1 (CR)×C = ♀ CR × ♂ Chitralada; 6 = o recíproco RC1 (C×CR) e 7 = recorrente RC2 = ♀ Chitralada × ♂ RC1(C×CR)..... 69
- Figura 5 Dispersão gráfica dos grupos genéticos na segunda fase de cultivo em relação aos dois primeiros componentes principais, no qual 1 = Red Stirling; 2 = Chitralada; 3 = F1 (RC) ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada; 4 = F1 (CR) ♀ Chitralada × ♂ Red Stirling; 5 = retrocruzamento RC1 (CR)×C = ♀ CR × ♂ Chitralada; 6 = o recíproco RC1 (C×CR) e 7 = recorrente RC2 = ♀ Chitralada × ♂ RC1(C×CR)..... 70

Figura 6	Intervalo de confiança entre os grupos e valores de sobrevivência observados para os machos	71
----------	---	----

ARTIGO 2

Figura 1	Medidas morfométricas para <i>O. niloticus</i> , comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L) corporal no primeiro raio da nadadeira dorsal, comprimento de cabeça (CC) e altura de cabeça (AC).....	92
Figura 2	<i>Scala Level 30</i> (A) e <i>Scala Level 70</i> (B). Nível comparativo entre escala A e B demonstrando o agrupamento de pontos considerados manchas	93
Figura 3	Seleção das regiões de mancha (A), área sem mancha (B), e união de áreas afins (C).....	94
Figura 4	Distribuição observada de peixes manchados, de acordo com o percentual de manchas presentes na superfície corporal, dentro dos grupos genéticos	98
Figura 5	Regressão em crista para obtenção dos coeficientes de trilha	102
Figura 6	Diagrama das relações de causa e efeito entre as variáveis explicativas sobre peso corporal, no qual $R^2=0,9215$ e Efeito residual = 0,2802. No qual, comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L), altura de cabeça (AC), comprimento de cabeça (CC) e manchas (man).....	103

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Funções não-lineares ajustadas para descrever o crescimento das variedades e cruzamentos da tilápia do Nilo, por meio da relação peso corporal e idade.	32
----------	--	----

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1	Esquema do retrocruzamento entre as variedades Red Stirling e Chitralada	55
Tabela 2	Estimativas dos parâmetros (a e k) do modelo de crescimento exponencial para peso corporal em função da idade para fêmeas e machos dos grupos genéticos obtidos do cruzamento dialélico e retrocruzamentos.....	64
Tabela 3	Médias e desvio padrão de peso e comprimento padrão (CP) das progênes macho e fêmea dos cruzamentos aos 190 dias de cultivo.....	65
Tabela 4	Valores de Heterose (h), Heterose materna (hm), Heterose paterna (hp), efeito materno, Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC) para o peso corporal e comprimento padrão, obtidos entre os grupos genéticos, para machos e para fêmeas	68

ARTIGO 2

Tabela 1	Comparação entre os grupos genéticos para proporção de manchas*	98
----------	---	----

Tabela 2	Valores médios, desvio padrão, limites máximos, limites mínimos e coeficiente de variação (CV) da quantificação de manchas na superfície corporal entre os grupos genéticos.....	99
Tabela 3	Correlação entre peso corporal (Peso), comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L), altura de cabeça (AC), comprimento de cabeça (CC) e manchas (Man)	100
Tabela 4	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L), altura de cabeça (AC), comprimento de cabeça (CC) e manchas sobre o peso corporal.....	105

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Caracterização das variedades de tilápias estudadas	19
2.2	Tilápias Vermelhas	21
2.2.1	Coloração	22
2.3	Melhoramento genético em tilápias	25
2.3.1	Sistemas de cruzamento e heterose	27
2.4	Crescimento	31
2.4.1	Análise de Trilha	34
2.4.1.1	Regressão em Crista	35
2.4.1.2	Interpretação da análise	36
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	38
	REFERÊNCIAS	39
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	50
	ARTIGO 1 Retrocruzamento recorrente entre híbridos das variedades de Tilápia Nilótica Red Stirling e Chitralada	50
1	INTRODUÇÃO	52
2	MATERIAL E MÉTODOS	54
2.1	Local	54
2.2	Obtenção dos grupos genéticos	54
2.3	Fase de alevinagem	56
2.4	Fase de crescimento	56
2.5	Morfometria	57
2.6	Componentes genéticos	58
2.7	Análises estatísticas	59
3	RESULTADOS	63
3.1	Fase de alevinagem	63
3.2	Fase de crescimento	63
3.3	Componentes genéticos	67
3.4	Componentes principais	68
3.5	Sobrevivência	70
4	DISCUSSÃO	72
4.1	Fase de alevinagem até os 90 dias de cultivo	72
4.2	Fase de crescimento até os 190 dias de cultivo	72
4.3	Componentes genéticos	74
4.4	Componentes principais	76
4.5	Sobrevivência	76
5	CONCLUSÕES	78

	REFERÊNCIAS	81
	ARTIGO 2 Caracterização de manchas e seus efeitos diretos e indiretos sobre medidas morfométricas na variedade de Tilápia Nilótica Red Stirling e híbridos intraespecíficos.....	86
1	INTRODUÇÃO	88
2	MATERIAL E MÉTODOS	90
2.1	Local	90
2.2	Obtenção dos grupos genéticos	90
2.3	Morfometria	91
2.4	Quantificação de manchas	92
2.5	Análises estatísticas	94
3	RESULTADOS	97
3.1	Caracterização e quantificação de manchas	97
3.2	Efeitos diretos e indiretos de manchas e medidas morfométricas sobre o peso corporal	100
4	DISCUSSÃO	107
4.1	Caracterização e quantificação de manchas	107
4.2	Efeitos diretos e indiretos de manchas e medidas morfométricas sobre o peso corporal	110
5	CONCLUSÕES	112
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICES	120

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O mercado de pescados é um dos maiores agronegócios do mundo e a produção mundial de pescado (proveniente tanto da pesca extrativa quanto da aquicultura) atingiu aproximadamente 146 milhões de toneladas em 2009. Nesse cenário, o Brasil ocupa o 18º lugar com produção de 1.240.813 toneladas no mesmo ano. A aquicultura representa cerca de 40% da produção de pescados nacional, sendo um dos setores que mais cresce no país, com incremento de 118%, entre os anos de 2006 e 2010. Sendo a tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* a espécie mais cultivada no Brasil (BRASIL, 2012).

As variedades de tilápias vermelhas acompanham esse crescimento, pois promovem maior aceitação pelos consumidores e a coloração da pele agrega valor ao produto final. A introdução de variedades de coloração vermelha na produção proporcionou maior desenvolvimento do cultivo industrial da tilápia em vários países e foi disseminada rapidamente. Diversas espécies do gênero *Oreochromis* apresentam mutação para a coloração vermelha e algumas variedades vermelhas têm sido obtidas por meio de cruzamentos interespecíficos. Contudo, as variedades vermelhas, geralmente, apresentam desempenho inferior, o qual onera a produção, e a incidência de manchas melânicas escuras promove a perda de valor comercial.

Dentre as variedades de tilápia vermelha cultivadas, a Red Stirling, ou tilápia nilótica vermelha, caracteriza-se pela coloração do *background* vermelho que apresenta herança autossômica dominante, controlada por um gene simples, sobre a coloração de fundo das variedades selvagens (escuras). Todavia, assim como as demais variedades vermelhas, seu desempenho é inferior às variedades escuras comercializadas, além de apresentar baixa variabilidade genética, o que

inviabiliza um programa de melhoramento genético por seleção individual, por proporcionar aumento da endogamia.

Para atenuar o baixo desempenho e aumentar a variabilidade genética, uma das propostas é o retrocruzamento recorrente, que visa a aumentar a frequência gênica da variedade de maior desempenho e manter o fenótipo de interesse da outra variedade, como a coloração. Considera-se essa alternativa eficiente para a transferência de fenótipos controlados por poucos genes. Dessa forma, pode-se obter variedades vermelhas de origens distintas, de acordo com a escolha do genitor recorrente, como a Chitralada, a GIFT, entre outras. Assim contribuir para a formação de linhagens com variabilidade genética suficiente para a formação e proposta de um novo programa de melhoramento genético de tilápias vermelhas. Programas de melhoramento genético para tilápias vermelhas são raros e, no Brasil, não há nenhum relato.

Estudos com retrocruzamentos em tilápias, na literatura, são escassos, muitos são antigos e não tiveram continuidade. Tentativas de hibridização introgressiva entre as variedades Red Stirling e Chitralada, com maiores proporções gênicas de Red Stirling foram realizadas, com o objetivo de diminuir a quantidade de manchas e aumentar o crescimento, contudo os resultados obtidos não foram satisfatórios. Programas de seleção têm sido realizados contra a incidência de manchas para diversas variedades de tilápia e vêm apresentando resultados positivos. No entanto, não há informações sobre o inter-relacionamento da incidência de manchas e outras características produtivas. Conhecer a correlação entre caracteres de importância econômica é fundamental para definir estratégias de seleção em um programa de melhoramento genético e possibilita uma melhor compreensão das causas envolvidas nas associações entre tais caracteres.

No intuito de propor estratégias para produzir linhagens de tilápias de coloração vermelha para futuros programas de melhoramento genético, o

desempenho e os efeitos da heterose foram avaliados em híbridos obtidos por meio do retrocruzamento dos genitores da variedade Red Stirlirg e Chitralada, contendo 50%, 75% e 87,5% da proporção gênica da variedade Chitralada. Em razão de sua importância comercial, a proporção de manchas foi caracterizada e seus efeitos diretos e indiretos sobre o peso corporal e medidas morfométricas foram avaliados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização das variedades de tilápias estudadas

As tilápias são peixes originários da África. Acredita-se que sua domesticação teve início no Egito em 2000 a.C., apesar do primeiro registro de cultivo ter ocorrido no Quênia em 1924 (LOPEZ-FANJUL; TORO, 1990; WAGNER, 2002). Atualmente, encontram-se difundidas em todo o mundo. São descritas 77 espécies de tilápias, pertencentes à família Cichlidae, dos gêneros *Oreochromis*, *Tilapias*, *Sarotherodon* e *Danakilia*, sendo 22 espécies cultivadas em escala experimental ou produção comercial. Atualmente, as principais espécies exploradas são *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis urolepis hornorum* e *Oreochromis aureus* (CYRINO et al., 2004; RANA, 1997) Entre essas espécies a tilápia do Nilo *O. niloticus* é a mais produzida no mundo e o peixe mais cultivado no Brasil (BRASIL, 2012).

A popularidade da tilápia nilótica deve-se a diversos fatores que a tornam atraente para produção a nível mundial. Esses peixes alimentam-se da base da cadeia trófica, aceitando uma ampla variedade de alimentos. São bastante resistentes a doenças, ao superpovoamento e a baixos níveis de oxigênio dissolvido na água. Além disso, possuem boas características sensoriais, tais como: carne com sabor suave, baixo teor de gordura, ausência de espinhos intramusculares em forma de “Y” (miosseptos) e rendimento de filé variando de 30 a 40% (HILSDORF, 1995).

No Brasil, a produção de tilápia apresentou um crescimento de 118% entre os anos de 2006 e 2010, saindo de 71.253 para 155.450 toneladas, representando 39,5% do total de pescado proveniente da piscicultura continental. A China, atualmente, aparece como o principal país produtor de tilápias, com mais de 50% de toda produção mundial (BRASIL, 2012). Considerando o

aumento na produção e a constante intensificação dos sistemas de cultivo, muitas pesquisas são necessárias para a geração de tecnologias que tornem a cadeia produtiva cada vez mais eficiente e sustentável, incluindo a busca por variedades de desempenho superior (COSTA et al., 2009).

Algumas variedades de tilápia *O. niloticus* foram produzidas por processos de cruzamentos e seleção, destacando-se a variedade Chitralada ou Tailandesa que foi desenvolvida no Japão e melhorada na Tailândia, no palácio real de Chitralada. Essa variedade caracteriza-se por apresentar bom desempenho, rápido crescimento, taxas de alimentação mais elevadas, quando comparadas as demais variedades. Em 1996, essa variedade foi introduzida no Brasil por meio de uma doação da *Asian Institute of Technology* (AIT) e foi amplamente difundida na produção nacional (ZIMMERMAN, 2000).

A descoberta de variedades de coloração vermelha pode ser considerada um marco para o desenvolvimento do cultivo industrial da tilápia em vários países, pois proporcionou um aumento da aceitação da tilápia pelo consumidor (HILSDORF, 1995). Pesquisas de opinião, realizadas em supermercados no Alabama, EUA, mostraram que tilápias vermelhas responderam por 60% das vendas e tilápias com pigmentação escura pelos 40% restantes (GALBREATH; BARNES, 1981).

Uma variedade vermelha que atualmente é utilizada na produção comercial é a Red Stirling. Esta foi originalmente obtida de uma população mutante de *O. niloticus* selvagem, proveniente do Lago Manzala, no Egito, em 1979, e tem sido mantida pelo Instituto de Aquicultura da Universidade de Stirling, Escócia (MCANDREW; MAJUMDAR, 1983). A ausência de pigmentação escura dessa variedade, denominada como coloração vermelha neste trabalho, é controlada por herança monogênica autossômica dominante (HUSSAIN, 1994). De tal modo que, os genótipos **RR** e **Rr** correspondem a coloração vermelha e **rr** à coloração escura ou selvagem. Contudo, essa

variedade apresenta manchas melânicas, principalmente na cabeça e nadadeiras (MCANDREW et al., 1988), sendo esse um ponto negativo a ser considerado, pois afeta a aceitação do mercado. Para contornar o problema, programas fundamentados em seleção têm sido utilizados para a obtenção de populações de coloração vermelha homozigota dominante sem manchas (GARDUÑO-LUGO et al., 2004).

Estudos de variabilidade genética e de crescimento têm sido realizados comparando-se as variedades Red Stirling, Chitralada e híbridos vermelhos (GARDUÑO-LUGO et al., 2004; MOREIRA et al., 2005, 2007; ROMANA-EGUIA et al., 2010). A variedade Red Stirling apresenta menor crescimento e ganho de peso em relação à Chitralada.

2.2 Tilápias Vermelhas

Várias são as espécies que apresentam mutação para a coloração vermelha. A descoberta dessa característica mutante ocorreu em Taiwan, na década de 60 (KUO, 1988; KUO; TSAY, 1984). Por apresentarem tonalidades de coloração diferentes da selvagem (escura), a tilápia de coloração vermelha tem maior aceitação e, portanto, maior preço de mercado. Dessa forma, foi disseminada rapidamente (FITZGERALD, 1979). Diversos programas de seleção e cruzamentos foram realizados com a finalidade de se obter maior proporção de indivíduos de coloração vermelha e melhores taxas de crescimento. Em 1979, o pesquisador Fitzgerald, realizando cruzamentos seletivos entre mutantes fêmeas alaranjadas de *O. mossambicus* com machos de *O. niloticus* conseguiu produzir tilápias vermelhas, semelhantes àquelas encontradas em Taiwan.

Algumas variedades de tilápia vermelha têm sido obtidas por cruzamentos entre diferentes espécies do gênero *Oreochromis* como: a Red

Flórida (*O. mossambicus* x *O. uropelis hornorum*), a Red Taiwanesa (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) e a Red Yumbo (Red Flórida x *O. niloticus*) (CAMPO, 2001).

No Brasil, a variedade de tilápia vermelha, conhecida por Saint Peter, foi introduzida no início da década de 90. Essa variedade, proveniente de Israel (ND56-“Nir David Breeding Center”), é um tetra-híbrido interespecífico, resultado do cruzamento de duas gerações F₁: macho (*O. niloticus* x *O. aureus*) e fêmea (*O. mossambicus* x *O. hornorum*). Essa variedade de tilápia dominou grande parte dos cultivos comerciais de tilápia vermelha no Estado de São Paulo. Contudo, a produção é dependente da necessidade de importação de matrizes F₁. Além disso, o desempenho zootécnico dessa variedade é inferior quando comparado as demais variedades de tilápias cultivadas no Brasil (MOREIRA et al., 2005; SOUZA et al., 2000).

Uma alternativa para eliminar a dependência tecnológica na produção da tilápia vermelha e seu baixo desempenho produtivo é por meio do desenvolvimento de linhagens de tilápias nilóticas vermelhas e estabelecimento de um programa de melhoramento genético bem fundamentado no Brasil.

2.2.1 Coloração

A coloração da pele e das escamas dos peixes é proveniente das células pigmentares conhecidas como cromatóforos. Estes são classificados conforme a expressão de sua cor: os melanóforos têm formato de flor e produzem a coloração preta ou marrom, através da melanina como pigmento; os xantóforos produzem a coloração amarela, através da pteridina ou carotenóides; os eritróforos produzem a coloração vermelha; os iridóforos e leucóforos, que possuem cristais de purina e hidroxapatita apresentam a coloração branca ou

prateada, produto do reflexo da luz (AVTALION; REICH, 1989; HILSDORF, 1995; KELSH, 2004).

A tilápia nilótica, do tipo selvagem, apresenta coloração em diferentes tons de cinza a verde oliva, com faixas transversais escuras bem delimitadas, principalmente na região caudal (PAVANELLI et al., 2007). As tilápias escuras apresentam todos os tipos cromatóforos, no entanto, os melanóforos são predominantes (MCANDREW et al., 1988). “Tilápia vermelha” é um nome comum para designar peixes do gênero *Oreochromis* que apresentam uma grande diversidade no padrão de coloração com tonalidades variando entre vermelho, laranja, dourado, rosa e branco, que podem ou não apresentar diversos graus de melanina no corpo (GALMAN; AVTALION, 1983; KOREN et al., 1994).

Avtalion e Reich (1989) estudaram histologicamente as células pigmentárias na pele e escamas de *O. aureus*, *O. galileus*, da tilápia vermelha das Filipinas e uma tilápia vermelha de origem desconhecida chamada pelos produtores de “mutante vermelha de *O. mossambicus*”. Nesse estudo foram encontrados diferentes padrões de pigmentação. Melanóforos foram encontrados na espécie *O. aureus*, contudo completamente ausentes na mutante vermelha de *O. mossambicus* e presente unicamente nas manchas escuras da pele da tilápia vermelha das Filipinas. Xantóforos, eritróforos e iridóforos foram encontrados em todos os grupos genéticos estudados. Análises histológicas foram realizadas também para a variedade mutante vermelha de *O. niloticus*, a Red Stirling, relatando uma quase completa ausência de melanina na pele, exceto para as áreas manchadas que apresentaram melanóforos. Contudo, os melanóforos encontrados nas áreas manchadas são maiores e mais difusos quando comparados a melanóforos normais encontrados no tipo selvagem. Concluiu-se que a coloração vermelha na Red Stirling é resultante de uma falha ou desenvolvimento incompleto dos melanóforos (MCANDREW et al., 1988). Isso

pode ser confirmado pela presença de melanina na retina, rins e baço, bem como nas áreas de manchas (BULLOCK; ROBERTS, 1974).

Os mecanismos que determinam a coloração em peixes se sustentam por vários tipos de ação gênica, como: a) ação monogênica de dominância completa; b) ação monogênica de dominância incompleta ou aditiva; c) dois ou mais genes autossomais e d) genes ligados ao sexo. Geralmente, para tilápias se apresentam os modelos de ação monogênica de dominância completa e de dominância incompleta ou aditiva (HUSSAIN, 1994; MCANDREW et al., 1988; MUÑOZ, 2000; SHIRAK et al., 2000; TAVE, 1992).

Hussain (1994), Koren (1994) e McAndrew et al. (1988), chegaram à conclusão de que a coloração vermelha na Red Stirling é controlada por um mecanismo de herança mendeliana de um gene autossômico dominante simples. Esses autores realizaram uma série de cruzamentos entre machos e fêmeas de coloração selvagem e vermelha Red Stirling. Esses cruzamentos produziram unicamente indivíduos com *background* de coloração vermelha. Estudos utilizando técnicas de manipulação cromossômica, como triploidização e ginogênese confirmaram a natureza dominante dessa mutação (HILSDORF, 1990). Mires (1988), estudando a pigmentação de duas variedades africanas de *O. niloticus* provenientes de Gana e Uganda, afirmou que o padrão de listras transversais é decorrente de dois ou mais genes que controlam a produção de cor e sua distribuição.

McAndrew et al. (1988) relataram também outros padrões de coloração encontrados em *O. niloticus*, como: peixes de coloração vermelha com “melanóforos vermelhos” nas nadadeiras caudal e anal; de coloração branca com pigmentação amarelada ou avermelhada na cabeça e corpo, denominada como “dourada”; e manchados com clara demarcação entre o *background* vermelho e as áreas pigmentadas. Os mesmos autores afirmam que o fenótipo dourado é controlado por um alelo autossômico recessivo. O controle gênico do

aparecimento de manchas não está bem definido na literatura. Tave (1992) sugere que as manchas são controladas por um ou mais genes modificadores. Contudo, hipóteses sugerem que possa haver epistasia entre o gene que controla a coloração do *background* e os genes que controlam o padrão de listras transversais.

Acredita-se que a *O. mossambicus* vermelha é originária de Taiwan. Os primeiros trabalhos sobre a obtenção dessa variedade são atribuídos ao Instituto de Investigações Pesqueiras de Taiwan, que estabeleceu um programa de seleção de mais de nove anos e teve continuação na Flórida, nos Estados Unidos pela Natural Systems (MUÑOZ, 2000). Wohlfarth et al. (1990) efetuaram cruzamentos entre exemplares vermelhos de *O. mossambicus* e concluíram que a coloração vermelha apresentou um padrão de herança mendeliana simples controlada por um loco recessivo. Os mesmos autores investigaram também cruzamentos entre as tilápias vermelhas de Taiwan, nos quais seu intercruzamento resultou na segregação de três fenótipos: de coloração selvagem (escuro), vermelha e branca. Os autores sugerem que para a variedade vermelha de Taiwan, a coloração é controlada por um genótipo heterozigótico com dominância incompleta e que possa haver pleitropia dos alelos relacionados à coloração.

2.3 Melhoramento genético em tilápias

Em comparação com outras espécies produtivas, o melhoramento genético de tilápias na aquicultura é relativamente recente, embora seja uma atividade antiga para outras espécies em diversas partes do mundo (GJEDREM, 2005). Na Europa, estoques de Truta Arco-íris *Oncorhynchus mykiss* foram mantidos em cativeiro por muitas gerações, desde 1890 e demonstraram, claramente, maior docilidade quando comparadas com o tipo selvagem.

Contudo, os primeiros programas de melhoramento genético de Truta Arco-íris e do Salmão do Atlântico tiveram início por volta de 1970. Em contrapartida, os primeiros registros da tilapicultura foram encontrados em 1937, na Indonésia. No entanto, seu cultivo se intensificou no Sudeste da Ásia, somente após a segunda guerra mundial. E muitos programas eficientes de melhoramento genético em tilápias tiveram início a partir de 1990 (GJEDREM, 1997, 2005; GJEDREM; BARANSKI, 2009).

Nos últimos anos, vários programas de melhoramento, denominados Progift, têm sido estabelecidos na China para melhorar a eficiência da produção de tilápia nilótica *O. niloticus* (THODESEN et al., 2011, 2012) e da tilápia azul *O. aureus*. Entre estes, o programa *Progift red tilapia*, merece destaque por ser um dos poucos programas de melhoramento genético em tilápias vermelhas. Criado em 2008, o programa estabeleceu sua população base sintética (G_0), coletando materiais genéticos de diferentes origens. Dentre essas, diversas espécies e cruzamentos de coloração vermelha, quatro provenientes da Ásia (um Vietnamita e três Chinesas) e quatro Latino-americanas (três Equatorianas e uma Colombiana). As informações sobre as espécies utilizadas no programa e o desempenho da G_0 permanecem em sigilo (THODESEN et al., 2013a, 2013b). Atualmente, o programa encontra-se na quinta geração de seleção.

Outros programas de melhoramento, além do Progift, foram desenvolvidos para a tilápia do Nilo, como o programa GIFT - *Genetic Improvement of Farmed Tilapia*, desenvolvido por meio da seleção entre e dentro de famílias (GUPTA; ACOSTA, 2004); o programa da FAC - *Freshwater Aquaculture Center*, de tilápias escolhidas por meio da seleção dentro de famílias, utilizando o modelo animal (BOLIVAR; NEWKIRK, 2002) e o GET-EXCEL - *Genetically Enhanced Tilapia*, um cruzamento entre as variedades obtidas por meio dos programas GIFT e da FAC (ROMANA-EGUIA et al., 2005).

Além da seleção entre e dentro de famílias, a seleção massal é o método de seleção mais utilizado entre os pequenos piscicultores e em alguns programas de melhoramento para as variedades vermelhas (GARDUÑO-LUGO et al., 2004). Trata-se de um método mais simples, em que os indivíduos são selecionados com base em seus valores fenotípicos (FALCONER; MACKAY, 1996). As características melhoradas nos estoques selecionados são medidas nas gerações subsequentes e comparadas com o desempenho das linhas de controle (ROMANA-EGUIA et al., 2005).

Afora as variedades oriundas dos programas de melhoramento mais recentes, existem também variedades comerciais muito difundidas entre os produtores, como a Chitralada e a linhagem Israel, em que tiveram suas características selecionadas por meio de processos empíricos de seleção e cruzamento, com pouca ou desprovidos de qualquer base científica (ROMANA-EGUIA et al., 2005).

2.3.1 Sistemas de cruzamento e heterose

Cruzamentos são comumente utilizados na tilapicultura. A hibridização interespecífica tem sido utilizada para a obtenção de populações monossexo, para a produção de variedades resistentes a diferentes níveis de salinidade, variedades resistentes ao frio e variedades de coloração vermelha. (BEHRENDTS; SMITHERMAN, 1984; CAMPO, 2001; HILSDORF; ÓRFÃO, 2011; KAMAL; MAIR, 2005; MACARANAS et al., 1986; WOHLFARTH; HULATA, 1983).

Os programas de cruzamentos mais utilizados para tilápias são: o cruzamento aberto; cruzamento terminal; populações sintéticas e retrocruzamentos. O cruzamento aberto refere-se ao acasalamento entre animais não aparentados e que pertençam ao mesmo grupo genético, espécie ou

variedade. É realizado quando se deseja explorar uma só espécie ou linha, o qual dará sequência a um programa de seleção para as características de interesse do piscicultor. No entanto, tais características devem apresentar uma herdabilidade média a alta. Para características de herdabilidade baixa, o programa de seleção e cruzamento aberto apresentaria respostas em um período muito longo ou não as apresentaria. Nesse caso, a manutenção de uma linha não é o mais apropriado e deve-se recorrer a outro sistema de cruzamento (MUÑOZ-CÓRDOVA; GARDUÑO-LUGO, 2003).

O cruzamento terminal mais comum é a hibridação entre duas espécies ou variedades (cruzamento simples), em que o objetivo é obter híbridos F₁, que serão o produto final destinado à engorda. Como já descrito anteriormente, a hibridização foi um meio utilizado para originar variedades de tilápias vermelhas que apresentassem melhor desempenho nas condições de cultivo: como a *Rocky mountain* ou Áurea branca, obtida a partir do cruzamento entre a *O. aureus* x *O. niloticus*; a tilápia Filipina ou Red Flórida (*O. mossambicus* x *O. uropelis hornorum*), a tilápia Taiwanesa ou Red Taiwanesa (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) Cruzamentos com três espécies ou mais, também denominados como populações sintéticas, também foram utilizados para obter tilápias vermelhas, como a Red Yumbo (Red Flórida x *O. niloticus*) e o tetra-híbrido Israeli, resultado do cruzamento de duas gerações F₁: macho (*O. niloticus* x *O. aureus*) e fêmea (*O. mossambicus* x *O. hornorum*) (CAMPO, 2001; HILSDORF; ÓRFÃO, 2011; MUÑOZ-CÓRDOVA; GARDUÑO-LUGO, 2003).

A hibridação interespecífica em tilápias também é utilizada para produção de populações monossexo macho. Populações com alta proporção de machos seria uma medida para se evitar a reprodução indesejável, aumentando a produção, pois os machos têm maior crescimento em relação às fêmeas. Cruzamentos entre *O. hornorum* x *O. mossambicus*; *O. aureus* x *O. niloticus*; *O. hornorum* x *O. aureus* e *O. hornorum* x *O. niloticus*, produzem alta porcentagem

de machos (MAIR et al., 1995). A explicação dada para esse fenômeno é que algumas espécies de tilápias apresentam o sistema de determinação sexual XY e outras ZW. Dessa forma, a hibridação entre fêmeas XX e machos ZZ produz indivíduos unicamente machos (XZ) (MUÑOZ-CÓRDOVA; GARDUÑO-LUGO, 2003).

Quando a herdabilidade de uma característica é baixa e um programa de seleção é ineficiente, a hibridação se apresenta como uma alternativa para o melhoramento (TAVE, 1992). A vantagem dos híbridos F1 em relação a crescimento, resistência ao frio e a salinidade tem sido atribuída ao efeito da heterose. Esse termo, também denominado “vigor híbrido”, é utilizado para caracterizar a superioridade média dos filhos, em relação à média dos pais, independentemente da causa, ou ainda, se aplica ao fenômeno no qual a descendência de acasalamentos entre linhagens endogâmicas, diferentes raças, espécies ou variedades apresentam desempenhos superiores à média das duas populações, excedendo a melhor destas (PEREIRA, 2012).

São descritos três tipos de heterose: heterose materna, aquela que é atribuível à utilização de fêmeas cruzadas ao invés de puras; heterose paterna seria qualquer vantagem na utilização de reprodutores cruzados versus puros sobre a performance da progênie, e a heterose individual que ocorre, em decorrência das combinações gênicas presentes na geração corrente, ou seja, o aumento da performance em um animal, individualmente, que não é atribuível aos efeitos maternos, ou paternos ou ainda ligados ao sexo (PEREIRA, 2012).

Na aquicultura, explorar a heterose é uma alternativa muito utilizada em sistemas de cruzamentos, tanto interespecíficos como intraespecíficos. Tave et al. (1990a), encontraram baixa heterose para resistência ao frio entre os cruzamentos das variedades de *O. niloticus* Egípcia e Ivory Coast da Universidade de Auburn, e sugeriram que essa característica é aditiva para a espécie. Moreira et al. (2005) compararam o crescimento das variedades de *O.*

niloticus Red Stirling, Chitralada e seus cruzamentos recíprocos com a tetra-híbrida Israeli, com 268 dias de cultivo. O bom desempenho de características produtivas encontradas na variedade Chitralada e a coloração vermelha dominante da variedade Red Stirling, constituem fatores que levam à proposição que, por meio da hibridização e exploração da heterose seria possível o desenvolvimento de uma linhagem que reúna características desejáveis das duas variedades (FREITAS, 2007).

Por meio do sistema de retrocruzamentos, é possível explorar os efeitos da heterose materna e paterna, embora esse método raramente seja utilizado (FJALESTAD, 2005). Os retrocruzamentos consistem em cruzamentos de um híbrido F1 com um de seus genitores. No presente estudo, foi utilizado o “*recurrent backcrossing*”, isto é, um sistema de retrocruzamento recorrente. A geração F1 do cruzamento da variedade comercial versus exótica seria retrocruzada algumas vezes com a variedade comercial (SINGH, 2001, 2004). Dessa forma, é possível manter o fenótipo de interesse da linhagem exótica, no caso a coloração vermelha e, para os demais caracteres, a expressão fenotípica da linhagem comercial. A cada geração é realizada a seleção para uma determinada característica, e esses animais selecionados serão utilizados como progenitores e serão cruzados novamente com a variedade superior, originando uma nova progênie e, assim, sucessivamente, até atingir o grau sanguíneo de 96, 875% da variedade superior (31/32 ou puro por cruzamento). O método do retrocruzamento é uma alternativa eficiente para a transferência de fenótipos de caracteres controlados por poucos genes (NASS et al., 2001; PEREIRA, 2012).

Estudos com retrocruzamentos em tilápias são escassos na literatura, e muitos não tiveram continuidade. Um programa de retrocruzamento interespecífico da *O. aureus* e a tilápia vermelha da Flórida foi proposto por Beherends e Smitherman (1984) e resultou na obtenção de um híbrido de tilápia vermelha resistente ao frio. Nesse mesmo foco, estudos de retrocruzamentos

intraespecíficos de tilápias nilóticas foram realizados por Tave et al. (1990a,1990b). Nesses estudos, foram avaliadas as variedades de *O. niloticus* Egípcia e a *Ivory Coast* (ambas da Universidade de Auburn), as gerações F1, F2 e quatro retrocruzamentos, para características de resistência ao frio e crescimento em peso e comprimento.

Tentativas de hibridização introgressiva entre as variedades Red Stirling e Chitralada, com maiores proporções gênicas de Red Stirling foram realizadas com o objetivo de diminuir a quantidade de manchas e aumentar o crescimento (FREITAS, 2007; HILSDORF et al., 2007). Contudo, os resultados não foram satisfatórios, pois a maior quantidade de genes provenientes da variedade Red Stirling promoveu menor desempenho dos híbridos $\frac{3}{4}$ quando comparados com os híbridos $\frac{1}{2}$ sangue e o parental Chitralada, e não houve redução no aparecimento de manchas.

Apesar de todos os esforços, apenas uma pequena percentagem da produção aquícola é proveniente de espécies melhoradas, isto é, de animais que foram melhorados geneticamente e, não, simplesmente domesticados (GJEDREM, 1997; HILSDORF; ÓRFÃO, 2011).

2.4 Crescimento

O crescimento é descrito, geralmente, por meio de diferentes modelos matemáticos de peso em função da idade, muito utilizados em programas de melhoramento genético, seleção de espécies, linhagens ou variedades a serem cultivadas. Na literatura, o uso de modelos matemáticos para estimar o crescimento específico e o crescimento relativo em porcentagem é muito frequente. Contudo, estudar o crescimento por meio de curvas obtidas pelo ajuste de funções não-lineares possibilita sintetizar informações de todo o período de vida dos animais. Um conjunto de informações em série de peso por

idade, em um pequeno conjunto de parâmetros interpretáveis biologicamente, facilitando, assim, o entendimento do fenômeno (OLIVEIRA, 2000). Os modelos não lineares Brody (BRODY, 1945), Gompertz (LAIRD, 1965), Logística (NELDER, 1961), von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1957) e o modelo exponencial descrevem adequadamente o crescimento de tilápias nilóticas em função do peso (Tabela 1) (ALLAMAN et al., 2013; SANTOS et al., 2006). Embora o modelo exponencial não seja indicado para um longo período de crescimento, seu uso na aquicultura é relativamente comum pela sua simplicidade, podendo-se descrever, facilmente, o crescimento de peixes com apenas os pesos inicial e final, durante o tempo considerado necessário (GAMITO, 1998).

Tabela 1 Funções não-lineares ajustadas para descrever o crescimento das variedades e cruzamentos da tilápia do Nilo, por meio da relação peso corporal e idade.

Função	Equação
Brody	$A(1 - B e^{-Kt})$
Von Bertalanffy	$A(1 - B e^{-Kt})^3$
Logística	$A(1 + B e^{-Kt})^{-1}$
Gompertz	$A \exp(-B e^{-Kt})$
Exponencial	Ae^{Kx}

A = peso assintótico ou peso máximo; B = constante de integração; e = base do logaritmo natural; K : taxa de crescimento relativo ao peso máximo ou taxa de maturidade; x_i = variável independente, por exemplo, o peso de cada animal; M : parâmetro de inflexão. Para o modelo exponencial A = estimativa do peso inicial e K = taxa de crescimento específico.

Os parâmetros A e K dessas funções têm importantes interpretações biológicas. O parâmetro “A” representa o peso assintótico superior ou peso adulto do animal. O parâmetro “K” representa a taxa de maturidade, ou seja, é a

relação entre a taxa de crescimento relativo e o peso adulto do animal; assim quanto maior o valor de K, mais precoce é o animal (ELIAS, 1998). No modelo exponencial, o parâmetro “A” representa uma estimativa do peso inicial e o parâmetro “K” a taxa de crescimento específico (SANTOS et al., 2008).

No estudo do ajuste das funções de crescimento, é importante destacar que as curvas podem apresentar variações entre diferentes variedades e dentro de uma mesma variedade entre o sexo dos animais. No estudo da curva de crescimento, pode ocorrer heterogeneidade das variâncias dos pesos corporais (heterocedasticidade), pois, à medida que a idade aumenta, a variância dos pesos corporais também aumenta. A maior parte dos trabalhos com funções de crescimento não leva em conta essa relação direta entre a variância dos pesos e a idade dos animais (GUEDES et al., 2004). Quanto mais velhos são os animais, maiores são os desvios e o efeito sobre os parâmetros estimados. A regressão não-linear ponderada pelo inverso da variância dos pesos, pode ser uma metodologia eficiente para estimar os parâmetros da curva de crescimento (PASTERNAK; SHALEV, 1994).

Estudos indicam que as medidas morfométricas podem ser utilizadas para predição e determinação dos pesos e rendimentos corporais (COSTA, 2011; MELO et al., 2013). Uma das formas de se verificar as inter-relações entre caracteres, que é de grande importância no melhoramento é por meio da correlação (CRUZ et al., 2012). As correlações entre pesos e medidas corporais para tilápias são objeto de estudo de vários trabalhos (DIODATTI et al., 2008; MELO et al., 2013; SANTOS, 2004). Não há relatos na literatura se há correlação entre coloração, no aspecto de presença de manchas, peso e medidas morfométricas em tilápias. Por se tratar de características de extremo interesse econômico, um estudo, nesse aspecto, faz-se necessário.

Contudo, os coeficientes de correlação simples entre caracteres não permitem que sejam tiradas conclusões sobre relações de causa e efeito entre

eles, ou seja, não compreende os efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica. Dada a importância dessas relações, Wright (1921) desenvolveu o método da análise de trilha, que quantifica essas relações de causa e efeito.

2.4.1 Análise de Trilha

A análise de trilha consiste no desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos, permitindo medir a influência direta de uma variável, independentemente das demais, sobre a outra, em que as estimativas (coeficientes de trilha) quantificam esses efeitos e são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ et al., 2012). Essas estimativas são obtidas, a partir do método de mínimos quadrados. Quando se considera um único modelo casual, a análise de trilha trata de uma análise de regressão linear múltipla padronizada.

A análise de trilha consiste em duas partes: a primeira, estabelecer um modelo de relacionamento entre causa e efeito ou diagrama causal entre as variáveis, e a segunda, a decomposição das correlações observadas em um conjunto de coeficientes (coeficientes de trilha) que indica o efeito direto de uma variável hipoteticamente tomada como causa sobre uma variável tratada como efeito (JOHNSON; WINCHERN, 2007).

Se em uma análise de regressão múltipla, as variáveis independentes, ou explicativas forem correlacionadas entre si, pode-se dizer que existe intercorrelação entre elas. Quando essa inter-relação é muito alta ou mesmo exata, utiliza-se o termo multicolinearidade (CARVALHO, 1995; NETER et al., 2005). Como a análise de trilha constitui-se numa expansão da regressão múltipla, quando são envolvidas inter-relações complexas e/ou, vários diagramas causais, a confiabilidade dos coeficientes de trilha pode ser afetada pelos efeitos

de multicolinearidade existentes entre os caracteres que compõem o diagrama causal, em razão das elevadas variâncias associadas aos seus estimadores (KLINE, 1991). Quando a multicolinearidade aumenta, a habilidade de definir quaisquer efeitos das variáveis diminui. Também se observa que alguns estimadores atingem valores muito altos, evidenciando uma estimativa pouco confiável (HAIR et al., 1998).

Uma recomendação para corrigir a multicolinearidade é retirar uma, ou mais variáveis independentes, altamente correlacionadas. A seleção dessas variáveis pode ser feita pelo método *Stepwise* de seleção de variáveis, apesar de esse procedimento ser, em alguns casos, questionável (KOSACK; AZEVEDO, 2011; SOUZA, 2013). Contudo, quando não se deseja retirar variáveis, podem ser utilizados métodos alternativos à estimação de mínimos quadrados para contornar os efeitos da multicolinearidade e aumentar a estabilidade dos coeficientes de regressão.

2.4.1.1 Regressão em Crista

O método de regressão em crista proposto por Hoerl e Kennard (1970a, 1970b) é o método alternativo aos estimadores dos mínimos quadrados, mais usado para combater os problemas proporcionados pela multicolinearidade (CARVALHO, 1995). Segundo Cruz et al. (2012), o método da regressão em crista consiste em obter estimativas dos coeficientes de regressão, a partir de uma versão ligeiramente modificada das equações normais, pela introdução da constante λ . Dessa forma, os coeficientes de trilha podem ser obtidos por $(X'X + \lambda I_p) \hat{\beta} = X'Y$, em que $\lambda \geq 0$ e p é o número de caracteres envolvidos. Como a análise de trilha pressupõe a padronização de variáveis, a matriz $X'X$ encontra-se na forma de correlações. Dessa forma, os valores de λ devem ser tomados no intervalo, $0 \leq \lambda \leq 1$. A determinação correta dessa constante constitui a essência

da regressão em cristas (HOCKING et al., 1976 citados por CARVALHO, 1995). O objetivo é selecionar um valor razoavelmente pequeno de λ , cujas estimativas em crista são estáveis, o que, certamente, produzirá um conjunto de estimativas com um quadrado médio do erro $QME(\hat{\beta})$ menor que as estimativas de mínimos quadrados. A escolha correta da constante λ tem sido objeto de muitas discussões acerca do emprego da regressão em crista, com diferentes procedimentos propostos por vários autores (MONTGOMERY; PECK, 1992). Hoerl e Kennard (1970) sugerem que um valor apropriado de λ pode ser determinado pela inspeção do traço de crista.

2.4.1.2 Interpretação da análise

Como critério para a interpretação da análise de trilha, segundo Singh e Chaudhary (1985), quando o coeficiente de trilha (efeito direto) de uma variável explicativa for, em módulo, menor que o efeito da variável residual, mas o coeficiente de correlação (efeito total) for maior que o efeito da variável residual, significa que essa variável explicativa influencia a variável principal apenas indiretamente, sendo sua importância apenas em conjunto. Se o coeficiente de trilha for, em módulo, maior que o coeficiente da variável residual, indica que existe efeito direto da variável explicativa sobre a principal.

Estudos sobre as correlações e os efeitos diretos e indiretos entre medidas morfométricas e razões morfométricas sobre pesos e rendimentos tem sido realizados. Reis Neto et al. (2012) avaliaram as inter-relações entre as medidas morfométricas e rendimentos corporais em peixes redondos, *Colossoma macropomum*, *Piaractus mesopotamicus* e seus híbridos, e concluíram que o comprimento da cabeça e as medidas da altura do corpo são importantes para determinar o peso dos peixes redondos. Nesse mesmo aspecto, Melo et al. (2013), estudando as inter-relações entre as medidas morfométricas e

rendimentos corporais da *O. niloticus*, observaram que a relação entre a largura e comprimento do corpo é a variável mais influente para determinar as características de carcaça. Geralmente, as características produtivas apresentam comportamentos distintos entre espécies ou até mesmo dentro de uma mesma espécie. Desse modo, maiores informações sobre efeitos diretos e indiretos sobre características de valor econômico em peixes são necessárias.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Há alguns anos, a aquicultura vem se destacando e está entre as atividades agropecuárias que mais cresce no país e no mundo. A tilápia é a espécie mais procurada para produção e o interesse comercial pelo cultivo da tilápia vermelha deve ser considerado. No entanto, os estudos na área de melhoramento genético de tilápias vermelhas baseiam-se, em grande parte, nas avaliações de cruzamentos entre diferentes espécies, o que pode estar atrasando o desenvolvimento da atividade.

O programa de retrocruzamento entre variedades de tilápia nilótica Red Stirling e Chitralada, tem o intuito de propor estratégias para produzir linhagens de *O. niloticus* com desempenho superior e padrão de coloração vermelha sem manchas. Dessa forma, contribui para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético para tilápias vermelhas, utilizando outros critérios de seleção para características de interesse econômico.

Dados sobre as correlações e análise de trilha, no aspecto de verificar a influência da presença de manchas, sobre as características de peso e medidas morfométricas, são de suma importância. Essas informações possibilitam obter conhecimento dos efeitos diretos e indiretos entre essas variáveis e, dessa forma estabelecer uma estratégia de seleção mais eficiente para o melhoramento genético.

REFERÊNCIAS

ALLAMAN, I. B. et al. Weight and morphometric growth of different strains of tilapia (*Oreochromis sp*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.42, n.5, p.305-311, 2013.

AVTALION, R. R.; REICH, L. Chromatophore inheritance in red tilapias. **Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgah, v. 41, p. 98-104, 1989.

BEHREND, L. L.; SMITHERMAN, R. O. Development of a cold tolerant population of red tilapia through introgressive hybridization. **Journal of the Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 15, p. 172-178, 1984.

BERTALANFFY, L. V. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, Cambridge, v. 32, p. 217-230, 1957.

BOLIVAR, R.B.; NEWKIRK, G. F. Response to selection for body weight of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. cage farming in the Philippines. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 30, n. 2, p.373-378, Feb. 2002.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Produção pesqueira e aquícola: estatística 2008 e 2010**. Brasília, 2012. 129 p.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**: with special reference to the efficiency complex of domestic animal. New York: Hafner, 1945. 1023 p.

BULLOCK, A. M.; ROBERTS, R. J. The dermatology of marine teleost fish in the normal integument. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review**, Amsterdam, v.13, p.383-411, 1974.

CAMPO, L. F. C. **Tilapia roja 2001**: una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después. Cali: Valle, 2001. 69 p.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade.** 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

COSTA, A. C. **Medidas morfométricas na avaliação de pesos e rendimentos corporais de pacu *piaractus mesopotamicus* e tambaqui *colossoma macropomum*.** 2011. 64 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

COSTA, A. C. et al. Avaliação do crescimento de tilápias de diferentes linhagens através de modelos não lineares. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 1, p. 561-564, 2009.

CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

CYRINO, J. E. P. et al. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva.** São Paulo: TecArt, 2004. 533 p.

DIODATTI, F. C. et al. Parámetros morfométricos en el rendimiento de los componentes corporales de tilapia del nilo (*Oreochromis oreochromis*). **Anales de Veterinaria de Murcia**, Murcia, v. 24, n. 1, p. 45-55, 2008.

ELIAS, A. M. **Análise de curvas de crescimento de vacas da raça Nelore, Guzerá e Gir.** 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queirós", Piracicaba, 1998.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics.** 4th ed. Harlow: Longman, 1996. 480 p.

FITZGERALD, W. J. The red-orange tilapia. **Fish Farming International**, Santa Cruz, v. 6, p. 26-27, 1979.

FJALESTAD, K. T. Selection methods. In: GJEDREM, T. (Ed.). **Selection and breeding programs in aquaculture**. Berlin: Springer, 2005. p.159-171.

FREITAS, J. R. **Avaliação de desempenho e de coloração de híbridos intraespecíficos de *Oreochromis niloticus* das variedades Red stirling e Chitralada**. 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, 2007.

GALBREATH, P. F.; BARNES, T. A. Consumer preference for colour and size of Tilapia sold in supermarkets. In: ANNUAL CATFISH FARMERS OF AMERICA, 3., 1981, Arkansas. **Proceedings...** Arkansas: ACF, 1981.p.47-48.

GALMAN, R.; AVTALION, R. R.A preliminary investigation of the characteristics of the red tilapias from the Philippines and Taiwan. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE,3., 1983, Nazareth. **Proceedings...**Nazareth: Tel Aviv University, 1983. p.291-301.

GAMITO, S. Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 133, n.1/3, p. 83-94, 1998.

GARDUÑO-LUGO, M. et al. Mass selection for red colour in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758).**Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 340-344, Mar. 2004.

GJEDREM, T. Selective breeding to improve aquaculture production. **World Aquaculture**, Baton Rouge,v.28, n.1, p.33-45, 1997.

GJEDREM, T. Status and scope af aquaculture. In: GJEDREM, T. (Ed.). **Selection and breeding programs in aquaculture**. Berlin: Springer, 2005. p.1-8.

GJEDREM, T.; BARANSKI, M. **Selective breeding in aquaculture: an introduction**. Berlin: Springer, 2009. 221 p.

GUEDES, M. H. P. et al. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças santa inês e bergamácia considerando heterogeneidade de variâncias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, mar./abr. 2004.

GUPTA, M.V.; ACOSTA, B.O. From drawing board to dining table: the success story of the GIFT project. **World Fish Center**, Penang, v. 27, n. 4, p. 4-14, July/Dec. 2004.

HAIR, J. F. et al. **Multivariate data analysis**. 5thed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998. 730 p.

HILSDORF, A. W. S. Genética e cultivo de tilápias vermelhas: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 73-84, jan./jun. 1995.

HILSDORF, A. W. S. **Genetics and development of “Red” color insome strains of *Oreochromis niloticus***. 93 f. Dissertation (Master in Aquaculture) - University of Stirling, Stirling, 1990.

HILSDORF, A. W. S. et al. Introgressive hybridization and comparative growth performance of two Nile tilapia (Chitralada and Red-Stirling) and their crosses. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 272, p. 238-321, 2007. Supplement.

HILSDORF, A. W. S.; ORFÃO, L.H. Aspectos gerais do melhoramento genético em peixes no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, p. 317-324, 2011. Suplemento especial.

HOERL, A. E.; KENNARD, R. W. Ridge regression: applications tononorthogonal problems. **Technometrics**, Washington, v. 12, n. 1, p. 69-82, 1970a.

HOERL, A. E.; KENNARD, R. W. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. **Technometrics**, Washington, v. 12, n. 1, p. 55-67, 1970b.

HUSSAIN, M. G. Genetics of body color in heritence in Thai and Egyptian red tilapia strains. **Asia Fisheries Science**, Selangor, v. 7, n. 4, p. 215-224, 1994.

JOHNSON, R.A.; WINCHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6thed. New Jersey: Prentice Hall, 2007. 773 p.

KAMAL, A. H. M. M.; MAIR, G. C. Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. **Aquaculture**, Amsterdam, v.247,n. 1/4, p.189-201, June 2005.

KELSH, R. N. Review: pigment gene focus: genetics and evolution of pigment patterns in fish. **Pigment Cell Research**, Shanghai, v.17,n. 4, p.326-336, Aug. 2004.

KLINE, R. B. Latent variable path analysis in clinical research: a beginner's tour guide. **Journal of Clinical Psychology**, Montreal, v. 47, n. 4, p. 471-484, 1991.

KOREN, A. et al. Evaluation of some red tilapia strains for aquaculture. **Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgeh, v. 46, n. 10, p.9-12, Oct. 1994.

KOSAK, M.; AZEVEDO, R. A. Does using stepwise variable selection to build sequential path analysis models make sense? **Physiologia plantarum**, Copenhagen, v. 141, n.3, p. 197-200, 2011.

KUO, H. Notes on the hybridization of tilapia. **JCRR Fisheries Series**, Keelung, v. 8, p.116-117, 1988.

KUO, H.; TSAY, T. Study on the genetic improvement of red tilapia: crossbreeding of red tilapia its growth. **Bulletin of Taiwan Fisheries Research Institute**, Keelung, v. 44, p.151-165, 1984.

LAIRD, A. K. Dynamics of relative growth. **Growth**, Lokeland, v.29,p.249-263, 1965.

LOPEZ-FANJUL, C.; TORO, M. A. **Mejora genética de peces y moluscos**. Madrid: Mundi, 1990. 107 p.

MACARANAS, J. M. et al. Eletrophoretic evidence hybrid gene introgression into commercial *Oreochromis niloticus* (L.): stocks in the Philipines. **Aquaculture and Fishery Management**, London, v. 17, p. 249-258, 1986.

MAIR, G. C. et al. Growth performance trials of genetically male tilapia (GMT) derived from YY-males in *Oreochromis niloticus*: on station comparisons with mixed sex and sex reversed male populations. **Aquaculture**, Amsterdam, v.137, n. 1/4, p.313-322, 1995.

MCANDREW, B. J. et al. The genetics and histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis niloticus*. **Genetica**, Austin, v. 76, p. 127-137, 1988.

MCANDREW, B. J.; MAJUMDAR, K. C. Tilapia stock identification using eletrophoretic markers. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 30, p. 249-261, 1983.

MELO, C. C. V. et al. Direct and indirect effects of measures and reasons morphometric on the body yield of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 35, n. 4, p. 357-363,2013.

MIRES, D. The Inheritance of black pigmentacion in two Arican strains of *Oreochromis niloticus*. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA INAQUACULTURE, 2., 1988, Bangkok. **Proceedings...**Bangkok: ICLARM, 1988. p. 237-241.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 2nded. New York: J. Wiley, 1992. 544 p.

MOREIRA, A. A. et al. Comparative growth performance of two Nile tilapia (Chitralada and Red-Stirling), their crosses and the Israeli tetra hybrid ND-56. **Aquaculture Research**, Oxford,v. 36, n. 11, p. 1049-1055, 2005.

MOREIRA, A. A. et al. Genetic variability of two Nile tilapia strains by microsatellites markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 521-526, abr. 2007.

MUÑOZ, G. C. **Heterosis, habilidad combinatoria, proporcion de sexos y segregación del color rojo em um cruzamiento dialélico completo de três espécies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*)**. 2000. 87 f. Tesis (Maestría en Zootecnia) - Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2000.

MUÑOZ-CÓRDOVA, G.; GARDUÑO-LUGO, M. **Mejoramiento genético en tilapia: sistemas de cruzamiento y mecanismos genéticos em la determinación del color**. Veracruz: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2003. 84p.

NASS, L. L. et al. Uso de germoplasma exótico no melhoramento. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 102-121.

NELDER, J. A. The fitting of a generation of the logistic curve. **Biometrics**, Washington, v. 17, p. 89-110, 1961.

NETER, J. et al. **Applied linear statistical models**. 5th ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2005. 1396 p.

OLIVEIRA, H. N. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1843-1851, set. 2000.

PASTERNAK, H.; SHALEV, B. A. The effect of a feature of regression disturbance on the efficiency of fitting growth curves. **Growth, Development & Aging**, Bar Harbor, v. 58, n. 1, p. 33-39, 1994.

PAVANELLI, C. S. et al. Peixes do Baixo Rio Iguaçu: manual de identificação. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA, 17., 2007, Itajaí. **Resumos...** Itajaí: UNIVALI, 2007. 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. C. C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 6. ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2012. 758 p.

RANA, K. J. Aquatic environments and use the species groups. In: _____. **Review of the state of the world aquaculture**. Rome: FAO, 1997. (FAO Fisheries Circular, 886). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/w7499e/w7499e08.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

REIS NETO, R. V. et al. Interrelationships between morphometric variables and rounded fish body yields evaluated by path analysis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.41, n.7, p.1576-1582, 2012.

ROMANA-EGUIA, M. R. R. et al. Genetic changes during mass selection for growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), assessed by microsatellites. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 69-78, 2005.

ROMANA-EGUIA, M. R. R. et al. Growth comparison of Asian Nile and red tilapia strains in controlled and uncontrolled farm conditions. **Aquaculture International**, London, v. 18, n. 6, p. 1205-1221, Oct. 2010.

SANTOS, V. B. **Crescimento morfométrico e alométrico de linhagens de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SANTOS, V. B. et al. Avaliação de curvas de crescimento e morfometria de peixes. In: CYRINO, J. E. P. et al. (Org.). **Aqua Ciência 2006: tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura II**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. p. 111-128.

SANTOS, V. B. et al. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1486-1492, set./out. 2006.

SHIRAK, A. et al. Inheritance of body and peritoneum color in hybrids of *Oreochromis aureus* and red *O. niloticus*. **Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgheh, v.52, n. 1, p. 21-29, 2000.

SINGH, R.K.; CHAUDHARY, B. D. **Biometrical methods in quantitative genetic analysis**. New Delhi: Kalyani, 1985. 318 p.

SINGH, S. P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, 2001.

SINGH, S. P. Use of exotic interracial and wide crosses for common bean cultivars development. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 47, p. 37-38, 2004.

SOUZA, V. T. **Aspectos estatísticos da Análise de Trilha (Path Analysis) aplicada em experimentos agrícolas**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação na Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SOUZA, V. L. et al. Comparison of productive performance of sex reversed male Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Thai strain) and tetra hybrid red tilapia (Israeli strain). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE, 5., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...Goiânia: UFG**, 2000. p.83-87.

TAVE, D. **Genetics for fish hatchery managers**. 2nded. New York: AVI Book, 1992.436 p.

TAVE, D. et al. Effects of intra-specific hybridization in tilapia nilotica on survival under ambient winter temperature in Alabama. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 21, n. 3, p.201-204, 1990a.

TAVE, D. et al. Estimates of additive genetic effects, maternal genetic effects, individual heterosis, maternal heterosis, and egg cytoplasmatic effects for growth in Tilapia Nilotica. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 21, n. 4, p. 263-270, 1990b.

THODESEN, J. et al. Genetic improvement of tilapias in China: genetic parameters and selection responses in fillet traits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after six generations of multi-trait selection for growth and fillet yield. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 366/367, p. 67-75, Nov. 2012.

THODESEN, J. et al. Genetic improvement of tilapias in China: genetic parameters and selection responses in growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after six generations of multi-trait selection for growth and fillet yield. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 366/367, p. 322-323, Nov. 2011.

THODESEN, J. et al. Genetic improvement of tilapias in China: genetic parameters and selection responses in growth, pond survival and cold-water tolerance of blue tilapia (*Oreochromis aureus*) after four generations of multi-trait selection. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 396/399, p. 32-42, June 2013a.

THODESEN, J. et al. Genetic improvement of tilapias in China: genetic parameters and selection responses in growth, survival and external color traits of red tilapia (*Oreochromis* spp.) after four generations of multi-trait selection. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 416/417, p. 354-366, Dec. 2013b.

WAGNER, P. M. **Avaliação de linhagens de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes fases de criação**. 2002. 51 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

WOHLFARTH, G. W. et al. Inheritance of red body coloration on Tawanese tilapias and in *Oreochromis mossambicus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 84, n. 3/4, p. 219-234, Feb. 1990.

WOHLFARTH, G. W.; HULATA, G. **Applied genetics of tilapias**. 2nd ed. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1983. 26 p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, n. 7, p. 557-585, 1921.

ZIMMERMANN, S. **O bom desempenho das Chitraladas no Brasil**. Rio de Janeiro: Panorama da Aquicultura, 2000. Disponível em:
<<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/60/chitraladas.asp>
>. Acesso em: 10 mar. 2014.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 Retrocruzamento recorrente entre híbridos das variedades de Tilápia Nilótica Red Stirling e Chitralada

Aline de Assis Lago *

Tiago Teruel Rezende

Alexandre Wagner Silva Hilsdorf

Marco Aurélio Dessimoni Dias

Suhaila Karim Khalil Jaser

Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003).

* alineassislago@yahoo.com.br, Zootecnista e Mestre em Produção e Nutrição de Não Ruminantes, Universidade Federal de Lavras.

RESUMO

No intuito de propor estratégias para produzir um híbrido intraespecífico de *Oreochromis Niloticus* com desempenho superior e coloração vermelha, foram realizados retrocruzamentos com genitores da variedade Red Stirling e Chitralada, contendo 50%, 75% e 87,5% da proporção gênica da variedade Chitralada. Os experimentos foram conduzidos na Indústria Brasileira de Peixe Ltda. em Itupeva – SP. Para a fase de alevinagem, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com quatro replicações dos sete grupos genéticos: Chitralada (C) e Red Stirling (R); os híbridos F1, ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada (RC) e seu recíproco (CR); os retrocruzamentos (RC1), ♀ CR × ♂ Chitralada (CR×C) e seu recíproco (C×CR) e o retrocruzamento recorrente RC2 [C(C×CR)]. As progênies foram distribuídas em 28 hapas 1x1x1m, com 100 peixes cada, até os 90 dias. Ao atingirem peso mínimo de 15g, foram coletados 15 fêmeas e 15 machos de cada parcela. Os peixes foram identificados por meio de *chips* eletrônicos, classificados quanto ao peso e alocados em 8 tanques-rede, sendo 4 para fêmeas e 4 para machos, um para cada classe de peso. A cada 21 dias foi realizada a biometria, até os 190 dias de cultivo. Foram calculados os valores de heterose, heterose materna, heterose paterna, capacidade geral de combinação, capacidade específica de combinação e efeito materno, para peso e comprimento. Para a fase de alevinagem, o modelo logístico foi ajustado, porém não houve diferenças significativas entre os parâmetros A, B e K do modelo. O crescimento foi diferente entre machos e fêmeas na segunda fase, em que o modelo ajustado foi o exponencial. Para os machos, o cruzamento com melhor desempenho foi observado no RC2. Para fêmeas o melhor desempenho foi observado no RC1 (C×CR). Em razão da diferença observada entre os sexos, propõe-se a realizar um programa para a obtenção de uma linha fêmea e uma linha macho, para que se possa explorar a heterose paterna nas fêmeas.

Palavras-chave: Introgessão gênica. Aquicultura. Crescimento. Melhoramento genético. Heterose.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a aquicultura é o setor agropecuário que apresenta maior crescimento no país, com um aumento de 31,2% no triênio 2008-2010, sendo a tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* a espécie com maior produção nacional representando cerca de 40% do total da produção continental, equivalente a, aproximadamente, 156 mil toneladas em 2010 (BRASIL, 2012). Considerando o crescimento e a intensificação da produção, a busca por novas tecnologias e variedades de desempenho superior é necessária, para tornar a cadeia produtiva mais eficiente e sustentável (COSTA et al., 2009).

As variedades de tilápias vermelhas seguem a mesma tendência, com o aumento da demanda, em razão da grande aceitação pelos consumidores e por agregar valor ao produto final (HILSDORF, 1995; WIEFELS, 1999). Dentre as variedades de tilápia vermelha cultivadas, a Red Stirling, ou tilápia nilótica vermelha, caracteriza-se pela coloração do *background* vermelho que apresenta herança autossômica dominante controlada por um gene simples, sobre a coloração de fundo das variedades selvagens (escuras) (HUSSAIN, 1994; MCANDREW et al., 1988). Todavia, seu desempenho produtivo é baixo, quando comparado com outras variedades comerciais (MOREIRA et al., 2007). Peixes provenientes do cruzamento entre as variedades de *Oreochromis niloticus* Red Stirling e Chitralada têm sido comercializados. Esses animais apresentam desempenho inferior a Chitralada e a alta incidência de manchas escuras por toda superfície corporal (FREITAS, 2007; MOREIRA et al., 2005).

Para atenuar esse efeito, uma das propostas é o retrocruzamento com a variedade Chitralada, visando a aumentar a frequência gênica da variedade de maior desempenho e manter o fenótipo de interesse da outra variedade, como a coloração. Sendo esse método uma alternativa eficiente para a transferência de fenótipos de caracteres controlados por poucos genes (NASS et al., 2001; PEREIRA, 2012). Estudos com retrocruzamentos em tilápias, na literatura, são escassos e muitos não tiveram continuidade. Tentativas de hibridização introgressiva entre as variedades Red Stirling e Chitralada, com maiores proporções gênicas de Red Stirling foram realizadas com o objetivo de diminuir a quantidade de manchas e aumentar o crescimento. Embora os resultados não tenham sido satisfatórios, nos quais as progênes não apresentaram desempenho esperado (FREITAS, 2007).

Neste contexto, objetivou-se avaliar o desempenho e os efeitos da heterose individual, materna e paterna sobre os grupos genéticos com diferentes proporções gênicas de Chitralada, obtidos através do retrocruzamento recorrente entre os híbridos das variedades de tilápia Red Stirling e Chitralada

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

Os experimentos foram conduzidos na Indústria Brasileira do Peixe Ltda. (IBP), localizada em Itupeva, SP (latitude 23°20' S, longitude 47°02' O, altitude média 695 m), nas Fazendas Santa Ignês e Rio das Pedras.

2.2 Obtenção dos grupos genéticos

Os grupos genéticos foram produzidos a partir de um sistema de acasalamento de um macho para duas fêmeas, sendo utilizados 30 machos e 60 fêmeas para cada grupo. Inicialmente, foi realizado um cruzamento entre as variedades Red Stirling e Chitralada para a obtenção da geração F1. Posteriormente, foi obtida a primeira geração de retrocruzamento, (RC1 – primeira geração de retrocruzamento com o genitor recorrente Chitralada). Em sequência, foi obtida a segunda geração de retrocruzamento recorrente (RC2). Em esquema dialélico (Tabela 1), sete hapas de reprodução de 8 x 6 x 2m, foram montados em um viveiro de terra, totalizando sete grupos genéticos com diferentes proporções gênicas do genitor Chitralada, sendo os F1 com 50%, os RC1 com 75% e RC2 com 87,5%.

Tabela 1 Esquema do retrocruzamento entre as variedades Red Stirling e Chitralada

Femeas (i)	Machos (j)			
	Red Stirling (R)	Chitralada (C)	F1 (CR)	RC1 (CxCR)
Red Stirling (R)	Red Stirling (R)	F1 (RC)	-	-
Chitralada (C)	F1 (CR)	Chitralada (C)	RC1 (C×CR)	RC2 [C (C×CR)]
F1 (CR)	-	RC1 (CR×C)	-	-

Os peixes foram alimentados até a saciedade aparente com ração comercial adequada a cada fase de cultivo, três vezes ao dia (42% de proteína bruta para a fase de alevinagem e 32% para a fase de crescimento). Os parâmetros de qualidade de água foram medidos. A temperatura e oxigênio dissolvido foram tomados diariamente por meio de um oxímetro digital (YSI modelo 55 Hexis) e o pH e amônia, semanalmente, utilizando kit comercial.

Os hapas de reprodução foram verificados diariamente, durante os períodos de alimentação para evidenciar a reprodução. Ao se notar a presença de nuvens, as progênies de cada grupo foram coletadas e distribuídas em hapas de 1 x 1x 1 m, instaladas em dois tanques de concreto, lado a lado, com 30m² e 90 cm de profundidade, dispostos em estufas. Foram realizadas coletas semanais, por quatro semanas.

2.3 Fase de alevinagem

O experimento correspondente à fase de alevinagem, primeira fase, seguiu o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e sete tratamentos (que correspondem aos grupos genéticos formados), sendo cada coleta semanal referente a uma repetição. Foram distribuídos 800 representantes por repetição, totalizando 28 parcelas. No momento em que os alevinos atingiram o peso mínimo de 1g, foi realizado o desbaste das repetições para uma densidade de estocagem de 100 alevinos por hapa. Os peixes dos grupos RC1 e RC2 de coloração escura, foram descartados durante o remanejo.

2.4 Fase de crescimento

Ao atingirem peso mínimo de 15g, com 90 dias de cultivo, os juvenis foram sexados, identificados por meio de micro *chips* eletrônicos. Foram coletados 15 machos e 15 fêmeas de cada parcela. Os animais foram classificados quanto ao peso e sexo, sendo quatro classes de peso por sexo. Os peixes foram alocados em 8 tanques-rede de 4 m³ e malha de 20 mm entrenós, com berçários de 2m³ de volume útil e malha multifilamento de 5 mm entrenós, sendo 4 tanques-rede para fêmeas e 4 para machos, um para cada classe de peso. O delineamento, na fase de crescimento, segunda fase, foi inteiramente casualizado, em que cada animal representou uma unidade experimental e o modelo foi corrigido pela covariável idade.

2.5 Morfometria

Na primeira fase, após a última coleta das pós-larvas nos hapas de reprodução, foi retirada uma amostra contendo 20 indivíduos, de todas as repetições foi fixada em formalina 10%, após 48 horas de fixação. As amostras foram transferidas para um tubo de Falcon contendo álcool 70%, para posteriores avaliações morfométricas realizadas em laboratório com o auxílio de uma balança de precisão. O mesmo procedimento foi realizado para morfometria seguinte. A partir da terceira morfometria, os animais foram anestesiados com benzocaína (0,01%) para mensuração do peso, utilizando uma balança com precisão de 1g, e medidas morfométricas, com o auxílio de um paquímetro analógico. Após a morfometria, os peixes eram devolvidos aos hapas de origem.

Na segunda fase, todos os animais identificados foram avaliados. As morfometrias, para ambas as fases, foram realizadas a cada 21 dias, até os 190 dias de cultivo.

Foram aferidas as seguintes medidas morfométricas (Figura 1): comprimento padrão (CP), da extremidade anterior da cabeça ao menor perímetro do pedúnculo caudal; comprimento da cabeça (CC), compreendido entre a extremidade anterior da cabeça e a borda caudal do opérculo; a altura de cabeça (AC), compreendida entre a extremidade ventral e a dorsal da cabeça; a largura (L) e altura (A) do corpo, tomadas nas regiões do primeiro raio da nadadeira dorsal, foram tomadas com a utilização de um ictiômetro e paquímetro (SANTOS et al., 2008).

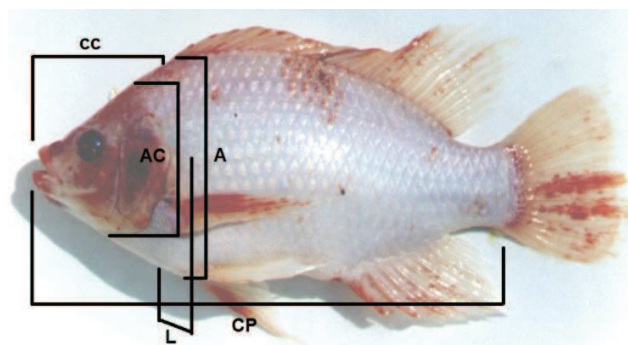


Figura 1 Medidas morfométricas para *O. niloticus*, comprimento padrão (CP), a altura (A) e largura (L) corporal no primeiro raio da nadadeira dorsal, o comprimento de cabeça (CC), altura de cabeça (AC)

2.6 Componentes genéticos

A Heterose (h), a heterose materna (hm), a heterose paterna (hp), efeito materno (Em), Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC) foram calculados para peso e comprimento, de acordo com as metodologias descritas por Muñoz-Córdova e Garduño-Lugo (2003) e Pereira (2012). As fórmulas utilizadas são apresentadas a seguir:

$$h = \left\{ \frac{(\mu_{AB} + \mu_{BA})}{2} - \frac{(\mu_A + \mu_B)}{2} \right\} / \left[\frac{(\mu_A + \mu_B)}{2} \right] * 100$$
, em que: h é o grau de heterose na geração F1; μ_{AB} , μ_{BA} = média da geração F1; μ_A = média da variedade A e μ_B = média da variedade B (PEREIRA, 2012).

$$CGC = (TA + TA' / 2n) - T / n^2$$
, em que: CGC é a capacidade geral de combinação da variedade A; TA é a média total da variedade A quando

usada como macho; TA' é a média total da variedade A quando usada como fêmea, T é a média geral de todos os cruzamentos (MUÑOZ-CÓRDOVA; GARDUÑO-LUGO, 2003).

$CEC_{AB} = VO - VE$, em que: CEC é a capacidade específica de combinação do híbrido AB; VO valor observado entre o cruzamento entre A e B e VE é o valor esperado do cruzamento entre A e B. O valor esperado pode ser calculado por: $VE = CGC_A + CGC_B + T$ (MUÑOZ-CÓRDOVA; GARDUÑO-LUGO, 2003).

Efeito materno: $M_A - M_B = BA - AB$, em que: M_A é o efeito materno da fêmea da variedade A; M_B é o efeito materno da fêmea da variedade B; BA é desempenho do híbrido que inclui a variedade B como mãe e AB é desempenho do híbrido que inclui a variedade A como mãe.

2.7 Análises estatísticas

O seguinte modelo foi utilizado para o experimento de alevinagem:

$$Y_{imj} = m + b_j + p_m + g_i + e_{ij} ;$$

$$\text{com: } e_{imj} \sim (0, \sigma_e^2); g_i \sim (0, \sigma_g^2)$$

Em que: Y_{imj} é a observação referente à variável resposta do grupo genético i no bloco j ; m uma constante inerente a todas as observações; b_j é o efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, 3, 4$); p_m o efeito da m -ésima avaliação ($m = 1, 2, 3, 4$); g_i o efeito do i -ésimo grupo genético

($i = 1, 2, 3, \dots, 7$) (efeito aleatório) e e_{imj} uma variável aleatória não observável.

E para o experimento da fase de crescimento:

$$Y_{jimkl} = m + c_l + b_k + p_m + g_i + a_j + e_{ijkl} ;$$

com: $e_{jimkl} \sim (0, \sigma_e^2); g_i \sim (0, \sigma_g^2); a_j \sim (0, \sigma_a^2);$

Em que Y_{jimkl} é a observação da variável resposta do peixe j pertencente ao grupo genético i , da semana de nascimento k e da classe de peso j ; m uma constante inerente a todas as observações; c_l é o efeito da l -ésima classe de peso ($l = 1, 2, 3, 4$); b_k é o efeito do k -ésima semana de nascimento ($k = 1, 2, 3, 4$); p_m é o efeito da m -ésima avaliação ($m = 1, 2, 3, 4$); g_i o efeito do i -ésimo grupo genético ($i = 1, 2, 3, \dots, 7$) (efeito aleatório); a_j é o efeito do j -ésimo peixe ($j = 1, 2, \dots, 622$) e e_{jimkl} uma variável aleatória não observável.

Para a avaliação do crescimento ponderal dos diferentes grupos genéticos, foram ajustados modelos de regressão não-linear, aos dados de peso corporal, em função da idade. Na fase de alevinagem, foram ajustados os modelos de crescimento de Gompertz = $A \exp(-B e^{-Kt})$ e Logístico = $A (1 + B e^{-Kt})^{-1}$. Para a fase de crescimento, foi ajustado apenas o modelo Exponencial = $A e^{Kx}$, pois, os outros modelos não se mostraram adequados. Em razão da heterogeneidade de variâncias dos pesos corporais, foi adotado um modelo ponderado pelo inverso da variância dos pesos. A escolha do melhor modelo na primeira fase foi feita por meio do critério de informação de Akaike (AIC) e por meio do

critério de informação de Bayes (BIC). Quanto menores os valores de AIC e BIC melhor é o modelo.

Para o ajuste dos modelos de regressão não-linear, foram utilizadas as funções *nlsList()* e *nlme()* da biblioteca *nlme* (PINHEIRO et al., 2013). Por meio da análise gráfica dos resíduos, foi constatada a presença de heterocedasticidade em todos os modelos ajustados, para corrigir esse problema, foi utilizado o argumento *weights = var Const Power* da função *nlme()*.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.0.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), utilizando as funções *lmer()* e *ranef()* da biblioteca *lme4* (BATES et al., 2013), para a estimação e predição do modelo misto (pelo método da máxima verossimilhança restrita).

Uma análise de componentes principais foi realizada, a partir do conjunto de medidas morfométricas e peso, para verificar a similaridade entre os grupos nas fases de alevinagem e crescimento. A análise por componentes principais consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente, mas com propriedades importantes. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais. Além disso, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo da informação, em termos de variação total, contida nos dados iniciais (CRUZ et al., 2012). Foram consideradas as médias dos pesos e medidas morfométricas de cada um dos grupos genéticos da última avaliação, para a análise de componentes principais em cada uma das fases, que foi feita por meio da função *PCA()* da biblioteca *Facto Mine R* (HUSSON et al.,

2014) disponível no software R versão 3.0.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013). Foi utilizado o argumento *scale.unit = T* para que as variáveis fossem padronizadas, conforme recomendação de Cruz et al. (2012). O gráfico da dispersão dos grupos genéticos foi obtido por meio da função *plot.PCA()*, da mesma biblioteca.

Para a sobrevivência na primeira fase, foi realizada uma análise de variância e teste de Scott-Knott para os valores médios. Os testes foram feitos por meio da função *fat2.dbc()* da biblioteca *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2013). Para a segunda fase, foi utilizado o um modelo linear misto generalizado, considerando valores binomiais à mortalidade. Os dados foram submetidos ao ajuste do modelo por meio da função *glmer()* da biblioteca *lme4* (BATES et al., 2012). Para a verificação do efeito de grupo, foi feita a análise de *deviance* por meio da função *A.nova()* da biblioteca *car* (FOX; WEISBERG, 2011). O efeito de grupo foi verificado pela análise de *deviance* e, no caso de efeito significativo, as médias ajustadas e o intervalo de confiança serão obtidos por meio da função *LSmeans()* da biblioteca *doBy* (HOJSGAARD et al., 2013).

3 RESULTADOS

Os parâmetros de qualidade de água, durante o período experimental foram satisfatórios para o cultivo de tilápias, de acordo com os limites recomendados por Kubitza (2000) e pela resolução nº. 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005). Durante o período experimental, a temperatura média manteve-se em torno de 23,5°C, o oxigênio dissolvido 5,2 (mg L⁻¹), pH 7 e amônia >0,06.

3.1 Fase de alevinagem

Na fase de alevinagem, o crescimento foi avaliado sem a distinção de sexo. A função não-linear que melhor se ajustou aos dados de peso corporal em função da idade para a primeira fase foi a logística, contudo houve sobreposição dos intervalos de confiança para todos os parâmetros do modelo entre os grupos.

Para todos os grupos genéticos, os coeficientes de determinação (R²) foram superiores a 90%.

3.2 Fase de crescimento

A função não-linear que obteve melhor ajuste para peso corporal em função da idade, na segunda fase de cultivo, foi o modelo exponencial. Não houve convergência para os modelos de Gompertz e

Logístico. O ajuste foi obtido para o crescimento de machos e fêmeas, separadamente, para cada grupo genético.

Os parâmetros “a” e “k” do modelo para peso corporal em função da idade para fêmeas e machos são apresentados na Tabela 2, na qual “a” representa a estimativa do peso e comprimento padrão inicial e “k” refere-se a taxa de crescimento específico.

Tabela 2 Estimativas dos parâmetros (a e k) do modelo de crescimento exponencial para peso corporal em função da idade para fêmeas e machos dos grupos genéticos obtidos do cruzamento dialélico e retrocruzamentos

Grupos genéticos	Fêmea		Macho	
	a	k	a	K
<i>Puros</i>				
Red Stirling	5,19 b	0,014 b	4,25 b	0,016 b
Chitralada	2,85 a	0,019 a	2,13 a	0,023 a
<i>F1</i>				
RC	3,30 ab	0,018 a	1,85 a	0,025 a
CR	4,52 ab	0,016 ab	3,65 b	0,019 b
<i>Retrocruzamentos</i>				
RC1 (CR)xC	4,03 ab	0,017 ab	2,54 ab	0,021 ab
RC1 Cx(CR)	4,95 b	0,017 ab	2,47 ab	0,021 ab
RC2	3,09 a	0,019 a	3,26 ab	0,020 ab

Em que: os híbridos F1, (RC) ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada e seu recíproco (CR); os Retrocruzamentos RC1 (CR)×C = ♀ CR × ♂ Chitralada e seu recíproco RC1 (C×CR) e o retrocruzamento recorrente RC2 = ♀ Chitralada × ♂ RC1(C×CR). Estimativas seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si por não sobrepor seus intervalos de confiança a 95% de probabilidade.

O peso e comprimento padrão médio das progênes macho e fêmea dos grupos genéticos aos 190 dias de cultivo podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 Médias e desvio padrão de peso e comprimento padrão (CP) das progênes macho e fêmea dos cruzamentos aos 190 dias de cultivo

	Fêmea		Macho	
	Peso	CP	Peso	CP
<i>Puros</i>				
Red Stirling	73,73 (23,91)	12,93 (1,01)	86,13 (23,91)	13,57 (1,01)
Chitralada	101,89 (23,81)	14,40 (1,00)	143,67 (23,81)	16,04 (1,00)
<i>F1</i>				
RC	92,25 (23,92)	13,99 (1,01)	120,82 (23,91)	15,03 (1,01)
CR	89,01 (23,61)	14,04 (1,00)	121,96 (23,61)	15,38 (1,00)
<i>Retrocruzamentos</i>				
RC1 (CR)xC	93,44 (23,57)	14,05 (0,99)	121,48 (23,57)	15,16 (0,99)
RC1 Cx(CR)	108,47 (23,60)	14,88 (1,00)	125,73 (23,60)	15,28 (1,00)
RC2	95,54 (23,75)	14,28 (1,00)	130,58 (23,57)	15,65 (1,00)

Em que: os híbridos F1, (RC) ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada e seu recíproco (CR); os Retrocruzamentos RC1 (CR)×C = ♀ CR × ♂ Chitralada e seu recíproco RC1 (C×CR) e o retrocruzamento recorrente RC2 = ♀ Chitralada × ♂ RC1(C×CR).

As curvas de crescimento estimadas pelo modelo exponencial para as fêmeas são apresentadas na Figura 2. Na Figura 3, são apresentadas as

curvas de crescimento ajustadas para os machos nos diferentes grupos genéticos.

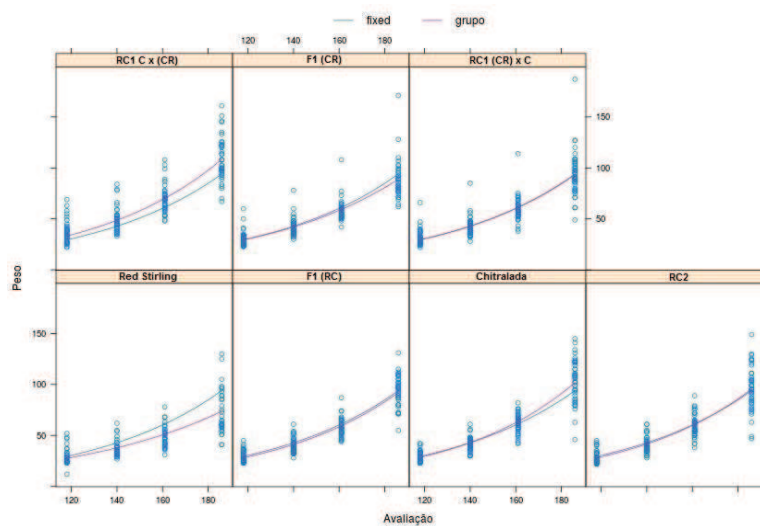


Figura 2 Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo Exponencial para as fêmeas dos diferentes grupos genéticos, na fase de crescimento até 190 dias de cultivo

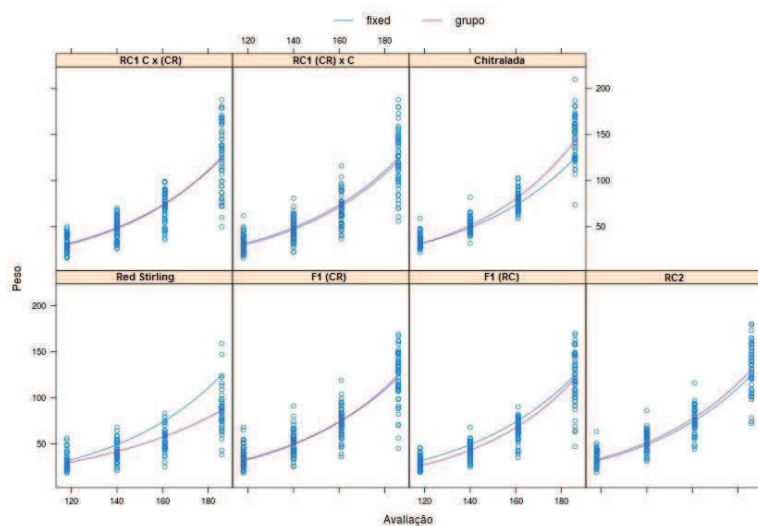


Figura 3 Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo Exponencial para os machos dos grupos genéticos, na fase juvenil/engorda até 190 dias de cultivo

3.3 Componentes genéticos

Na tabela 4, são apresentados os valores obtidos para a Heterose (h), Heterose materna (hm), Heterose Paterna (hp), efeito materno, Capacidade Geral de Combinação (CGC) e a Capacidade Específica de Combinação (CEC) para peso corporal e comprimento padrão para machos e fêmeas na fase de crescimento.

Tabela 4 Valores de Heterose (h), Heterose materna (hm), Heterose paterna (hp), efeito materno, Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC) para o peso corporal e comprimento padrão, obtidos entre os grupos genéticos, para machos e para fêmeas

	Peso		CP	
	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea
h (%)	5,65	3,21	2,74	2,60
hm (%)	2,82	4,73	1,05	1,50
hp(%)	6,42	21,58	1,92	7,50
diferença entre variedades (g)	58	28	2	1
efeito materno (Mr-Mc)	1,14	-3,24	0,35	0,04
CGC chitralada (g)	10,67	5,16	0,48	0,30
CGC Red (g)	-8,51	-4,22	-0,34	-0,19
CEC CR (g)	1,65	-1,15	0,24	0,08
CEC RC (g)	0,51	2,09	-0,11	0,04

3.4 Componentes principais

Para uma interpretação satisfatória da variabilidade manifestada entre os grupos genéticos é necessário que os dois primeiros componentes principais permitam estimativas de 80% da variação total contida no conjunto de caracteres analisados (CRUZ et al., 2012), as quais, neste trabalho, foram 91,88% para a fase de alevinagem e 99,28% para a fase de crescimento. A dispersão gráfica possibilitou a formação de quatro grupos distintos para ambas as fases de cultivo (Figuras 4 e 5).

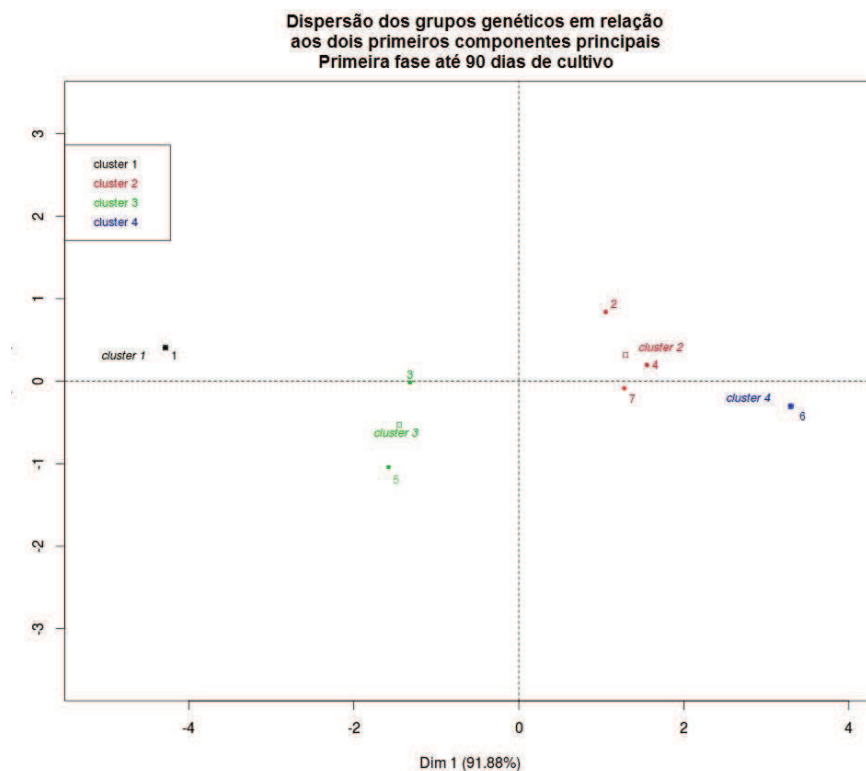


Figura 4 Dispersão gráfica dos grupos genéticos na primeira fase de cultivo em relação aos dois primeiros componentes principais, no qual 1 = Red Stirling; 2 = Chitralada; 3 = F1 (RC) ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada; 4 = F1 (CR) ♀ Chitralada × ♂ Red Stirling; 5 = retrocruzamento RC1 (CR)×C = ♀ CR × ♂ Chitralada; 6 = o recíproco RC1 (C×CR) e 7 = recorrente RC2 = ♀ Chitralada × ♂ RC1(C×CR)

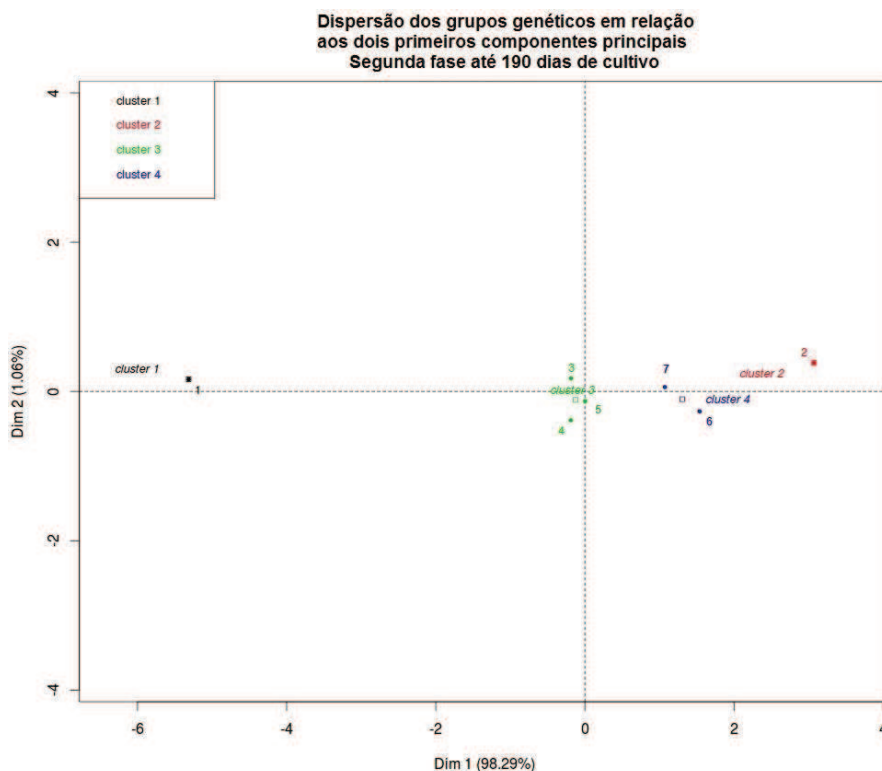


Figura 5 Dispersão gráfica dos grupos genéticos na segunda fase de cultivo em relação aos dois primeiros componentes principais, no qual 1 = Red Stirling; 2 = Chitralada; 3 = F1 (RC) ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada; 4 = F1 (CR) ♀ Chitralada × ♂ Red Stirling; 5 = retrocruzamento RC1 (CR)×C = ♀ CR × ♂ Chitralada; 6 = o recíproco RC1 (C×CR) e 7 = recorrente RC2 = ♀ Chitralada × ♂ RC1(C×CR)

3.5 Sobrevivência

Não foram observadas diferenças para sobrevivência ($P > 0,05$) entre os grupos genéticos na fase de alevinagem e para as fêmeas na fase de crescimento, sendo os valores médios de 83% e 89%, respectivamente. Para os machos, a diferença foi significativa ($P < 0,05$) e o intervalo de

confiança entre os grupos, bem como os valores observados podem ser verificados na Figura 6.

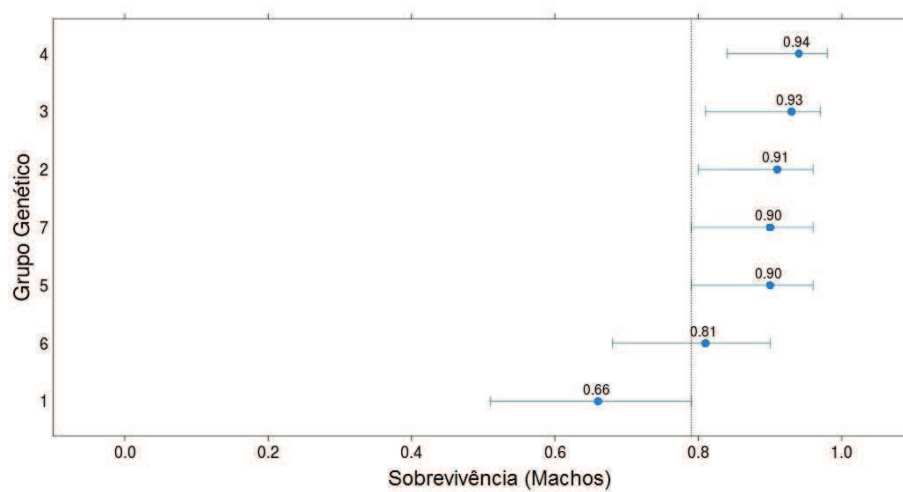


Figura 6 Intervalo de confiança entre os grupos e valores de sobrevivência observados para os machos

4 DISCUSSÃO

4.1 Fase de alevinagem até os 90 dias de cultivo

Os coeficientes de determinação mostram que o crescimento dos peixes foi estimado adequadamente para a primeira fase de cultivo e os grupos genéticos obtidos pelos cruzamentos, bem como os parentais, apresentam o mesmo comportamento geral.

4.2 Fase de crescimento até os 190 dias de cultivo

Na segunda fase, o modelo ajustado foi o exponencial. O modelo exponencial é utilizado com eficiência em curtos períodos de avaliação (SANTOS et al., 2008).

Observa-se que houve diferença no padrão de crescimento entre machos e fêmeas. Uma vez que os pesos e as taxas de crescimento específico dos machos são maiores em relação às fêmeas. Comparando as curvas de crescimento, pode-se observar que por aproximadamente 140 dias o crescimento entre machos e fêmeas foi semelhante. Oliveira et al. (2013) verificaram que o crescimento entre macho e fêmeas de tilápia do Nilo da variedade GIFT, apresentou comportamento semelhante até 160 dias de idade. Após esse período, os padrões de crescimento de machos e fêmeas mostraram diferenças no crescimento, confirmando o dimorfismo sexual. Em certa idade, o crescimento das fêmeas torna-se mais lento, em razão da entrada em reprodução, em que redirecionam sua energia para o desenvolvimento gonadal (BALDISSEROTTO, 2009).

O grupo Red Stirling obteve os menores pesos e a menor taxa de crescimento específico, 0,014 e 0,016, para fêmeas e machos respectivamente, embora tenha apresentado maior peso estimado inicial. Na literatura, o desempenho Red Stirling é descrito como inferior a outras variedades como a Chitralada, e *Oreochromis spp.* vermelhas da Malásia, de Taiwan e da Tailândia (MOREIRA et al., 2005; NGUYEN et al., 2009). Dessa forma, corroboram os resultados encontrados no presente estudo.

De maneira geral, os grupos F1 apresentaram-se mais pesados que o parental Red Stirling, todavia, inferiores ao parental Chitralada para ambos os sexos. Entre os grupos F1, pode-se verificar que, para as fêmeas, o grupo mais pesado foi o F1 (RC), já, para os machos, o grupo F1 (CR) foi ligeiramente mais pesado, embora o grupo F1 (RC) tenha apresentado taxa de crescimento específico similar a da Chitralada e superior ao F1 (CR) para ambos os sexos. Moreira et al. (2005), estudando os cruzamentos entre Red Stirling e Chitralada com diferentes proporções gênicas de Red Stirling, não observaram diferenças significativas para os parâmetros de crescimento para os híbridos F1 e a variedade Chitralada.

Avaliando os retrocruzamentos, para as fêmeas, todos os retrocruzamentos obtiveram ganhos superiores aos grupos F1. Sendo o grupo RC1 Cx(CR) o que obteve o maior peso e comprimento padrão observados entre todos os grupos (108,47g e 14,88cm), sendo superior inclusive ao parental Chitralada (101,89g). Para os machos, a Chitralada é o grupo que apresentou o maior peso, seguida pelo retrocruzamento RC2.

Os resultados apresentados evidenciam que o retrocruzamento recorrente obteve sucesso, pois o grupo RC2, apresentou similaridade entre os pesos, comprimento padrão do grupo Chitralada, os quais obtiveram as maiores taxas de crescimento específico apresentadas para as fêmeas. Embora os parâmetros do modelo tenham apresentado sobreposição dos intervalos de confiança entre os grupos, quando os machos foram avaliados.

4.3 Componentes genéticos

De uma forma geral, houve um incremento de peso nos grupos F1 quando comparados a parental Red Stirling. Esse ganho pode ser atribuído à heterose (5,65% machos e 3,21 % fêmeas). Embora a heterose observada tenha sido positiva, mostrou valores baixos. Estudos envolvendo quatro variedades de tilápia vermelha *Oreochromis spp.* provenientes da Malásia, Stirling, Taiwan e da Tailândia em um dialelo completo, verificaram que a heterose média para peso corporal foi baixa (aproximadamente 4,2%). E não foram observadas diferenças significativas entre o peso médio dos cruzamentos em relação à média dos parentais (NGUYEN et al., 2009). Os componentes genéticos não-aditivos apresentados, ou seja, o nível médio de heterose, para o peso corporal em peixes, geralmente são baixos. A comparação entre os estudos não deve ser rigorosa, porque a expressão da heterose depende das combinações entre as variedades (PONGTHANA et al., 2010). A heterose é explicada, principalmente, por efeitos de dominância. Geralmente, cruzamentos de organismos provenientes de populações

geneticamente distintas, ou entre linhas endogâmicas, deverão resultar em maior heterose do cruzamento do que em populações próximas (FALCONER; MACKAY, 1996; PEREIRA, 2012; PONGTHANA et al., 2010).

A capacidade específica de combinação (CEC) foi baixa, no entanto mostrou que o grupo F1 (CR) obteve 1,65g a mais que o esperado para machos e para fêmeas foi menor 1,15g. O valor esperado para o F1(RC) foi 0,51g maior para machos e 2,09g maior para fêmeas, demonstrando que há uma pequena variabilidade entre os efeitos gênicos não aditivos. A heterose materna e efeito materno também foram baixos, contudo o efeito materno foi positivo para machos (1,14 g) e negativo para fêmeas (-3,24g).

O ganho observado no retrocruzamento RC1 Cx(CR) para as fêmeas pode ser atribuído à heterose paterna, que obteve valores altos tanto para peso como para o comprimento. Tave et al. (1990) atribuem os ganhos observados para peso e comprimento padrão das gerações F2 e retrocruzamentos entre as variedades de *O. niloticus* Egípcia e a *Ivory Coast* à heterose materna. Contudo, os autores não investigaram os efeitos da heterose paterna sobre os resultados observados. A heterose paterna é atribuída a qualquer vantagem na utilização de reprodutores cruzados versus puros, sobre o desempenho da progênie. Ocorre em decorrência das combinações gênicas presentes na geração anterior (PEREIRA, 2012). Não há relatos na literatura sobre os efeitos da heterose e heterose paterna sobre machos e fêmeas. Para tanto, estudos adicionais são necessários para compreender os efeitos da heterose entre os sexos e como ela se manifesta biologicamente.

A capacidade geral de combinação (CGC) indica que os pais contribuem de maneira diferenciada para o caráter, peso corporal e comprimento padrão e que existem diferenças entre as contribuições para esse caráter entre os genótipos empregados como pais e mães. A CGC da Chitralada foi positiva para ambos os sexos, sendo alta, principalmente, para os machos, evidenciando que é a mais adequada para ser utilizada como genitor no retrocruzamento recorrente.

4.4 Componentes principais

Comparando os gráficos de dispersão, é possível verificar que houve alterações entre os agrupamentos e distâncias na fase de alevinagem e na fase de crescimento. No entanto, é possível verificar que há uma distância significativa entre os parentais em ambas as fases de cultivo. Na segunda fase de cultivo e os retrocruzamentos RC1 Cx(CR) e RC2 apresentam-se mais próximos da variedade Chitralada, sendo essa, mais uma evidência do sucesso do retrocruzamento recorrente.

4.5 Sobrevivência

A sobrevivência tanto para a fase de alevinagem quanto para as fêmeas na fase de crescimento são adequadas para ambas às fases de cultivo, de acordo com Popma e Lovshin (1996).

Entre os machos houve maior mortalidade no grupo Red Stirling em comparação com os demais grupos. O baixo índice de sobrevivência das tilápias Red Stirling pode ser explicado, pela agressividade dos

machos da variedade Chitralada. A Chitralada é proveniente de um programa de melhoramento genético antigo e passou por muitas gerações de seleção. Quando determinadas características são selecionadas artificialmente, como ganho de peso, alguns comportamentos podem ser alterados em função dessa seleção, como os níveis de agressividade ou de estresse social (SCHJOLDEN; WINBERG, 2007). As tilápias, geralmente se organizam de forma hierárquica, na qual há um indivíduo dominante, normalmente macho, com acesso prioritário a recursos como alimento e território. Dessa forma, quando há variação do grupo ou no ambiente a hierarquia é redefinida por meio de confrontos e interações agressivas que podem causar a morte (HUNTINGFORD; CHELLAPPA, 2006; JOHNSON et al., 2006). Dessa forma, quando os peixes foram classificados quanto ao peso e sexo e alocados nos tanques-rede, a hierarquia foi redefinida e favoreceu a variedade Chitralada e os cruzamentos e retrocruzamentos, em razão da maior proporção gênica da Chitralada.

5 CONCLUSÕES

O desempenho entre os grupos genéticos difere quanto ao sexo. Para fêmeas, o melhor desempenho foi observado no retrocruzamento RC1 Cx(CR) e, para os machos, o melhor cruzamento foi o RC2. De maneira geral, pode-se afirmar que os resultados obtidos com o retrocruzamento são satisfatórios, pois o RC2 apresenta ganhos próximos aos obtidos pela variedade Chitralada.

Em razão da diferença observada entre os sexos, propõe-se a realizar um programa de melhoramento para a obtenção de uma linha fêmea e uma linha macho, para que se possa explorar a heterose paterna nas fêmeas.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao doutorando do programa de pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Tiago Teruel Rezende, pela colaboração na análise estatística.

**Recurrent backcrossing among hybrids of strains of Red Stirling
Nilotica Tilapia and Chitralada**

ABSTRACT

Aiming to propose strategies for breeding an intraspecific hybrid of *Oreochromis niloticus* with high performance and red colouring, were performed backcrossing, with Red Stirling parental and Chitralada varieties, containing 50%, 75% and 87.5% of genic proportion of Chitralada variety. Experiments were performed in the Indústria Brasileira de Peixe Ltda in Itupeva, State of São Paulo. For the nursery phase, the randomized complete block design with four replications of seven genetic groups were used, namely, Chitralada (C) and Red Stirling (R); the hybrids F1, fish-female Red Stirling × fish-male Chitralada (RC) and its reciprocal (CR); the backcrossing (RC1), fish-female CR × fish-male Chitralada (CR×C) and its reciprocal (C×CR); and the recurrent backcrossing RC2 [C(C×CR)]. Progenies were distributed in 28 hapa 1×1×1m containing 100 fish each, for 90 days. After they could weight at least 15g, 15 fish-females and 15 fish-males were collected from each parcel. Fish were identified by using electronic chips classified according to their weight and allocated in 8 net cages, four for fish-female and another four for fish-males, one for each weight class. Biometry was carried out each 21 days until completing 190 culturing days. Values of heterosis, maternal heterosis, paternal heterosis, general combining ability, specific combining ability, maternal effects for weight and for length, were calculated. For the nursery phase, the logistic model was adjusted. However, there was no significant statistical differences among the parameters A, B and K of the model. The growth was different between fish-males and fish-females in the second phase, on which the adjusted model was the exponential. For the fish-males, the cross-breeding with the best performance was found in the RC2, while for fish-female was found in the RC1 (C×CR). Therefore, due to observed differences between fish-female and fish male, we propose a program for obtaining a female line and a male line in order to explore the paternal heterosis on fish-females.

Key-words: Gene introgression. Aquiculture. Growth. Breeding program. Heterosis.

REFERÊNCIAS

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2.ed. Santa Maria: UFSM,2009. 350 p.

BATES, D. et al. **Lme4**: linear mixed-effects models using S4 classes.R Package Version 0.999999-0. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

BRASIL. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Produção pesqueira e aquícola**: estatística 2008 e 2010. Brasília, 2012. 129 p.

COSTA, A. C. et al. Avaliação do crescimento de tilápias de diferentes linhagens através de modelos não lineares. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 58, n. 1, p. 561-564, 2009.

CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**.4th ed. Harlow: Longman, 1996. 480 p.

FERREIRA, E. B. et al. **ExpDes.pt**: experimental designs package. R Package Version 1.1.2. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An R companion to applied regression**. 2nd ed. Thous and Oaks, 2011. 472 p.

FREITAS, J. R. **Avaliação de desempenho e de coloração de híbridos intraespecíficos de *Oreochromis niloticus* das variedades Red stirling e Chitralada**. 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, 2007.

HILSDORF, A. W. S. Genética e cultivo de tilápias vermelhas: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 73-84, jan./jun. 1995.

HOJSGAARD, S.; HALEKOH, U. **Groupwise summary statistics, general linear contrasts, population means (least-squares-means), and other utilities**. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/doBy/index.html>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

HUNTINGFORD, F.A.; CHELLAPPA, S. Agressão. In: YAMAMOTO, M.E.; VOLPATO, G. L. (Ed.). **Comportamento animal**. Natal: EDUFRN, 2006. p. 157-173.

HUSSAIN, M. G. Genetics of body color inheritance in Thai and Egyptian red tilapia strains. **Asia Fisheries Science**, Selangor, v. 7, n. 4, p. 215-224, 1994.

HUSSON, F. et al. **Facto Mine R**: multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R Package Version 1.26. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>>. Acesso em: 3 jul. 2014.

JOHNSSON, J. I. et al. Social interactions. In: SLOMAN, K.A.; WILSON, R. W.; BALSHINE, S. (Ed.). **Behaviour and physiology of fish: fish physiology**. San Diego: Elsevier, 2006. p. 151-196.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial.** Jundiaí: Acqua Imagem, 2000. 285p.

MCANDREW, B. J. et al. The genetics and histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis niloticus*. **Genetica**, Austin, v. 76, p. 127-137, 1988.

MOREIRA, A. A. et al. Comparative growth performance of two Nile tilapia (Chitralada and Red-Stirling), their crosses and the Israeli tetra hybrid ND-56. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1049-1055, 2005.

MOREIRA, A. A. et al. Genetic variability of two Nile tilapia strains by microsatellites markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 521-526, abr. 2007.

MUÑOZ-CÓRDOVA, G.; GARDUÑO-LUGO, M. **Mejoramiento genético en tilapia: sistemas de cruzamiento y mecanismos genéticos em la determinación del color.** Veracruz: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2003. 84 p.

NASS, L. L. et al. Uso de germoplasma exótico no melhoramento. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas.** Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 102-121.

NGUYEN, N. H. et al. Heterosis, direct and maternal genetic effects on body traits in a complete diallel cross involving four strains of red tilapia *Oreochromis spp.* **Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics**, Red Hook, v. 18, p. 358-361, 2009.

OLIVEIRA, A. M. S. et al. Padrões de crescimento de machos e fêmeas de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) da variedade GIFT. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1891-1900, 2013.

PEREIRA, J. C. C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 6. ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2012. 758 p.

PINHEIRO, J. et al. **Nlme**: linear and nonlinear mixed effects models. R Package Version 3. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/nlme/nlme.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

PONGTHANA, N. et al. Comparative performance of four red tilapia strains and their crosses in fresh- and saline water environments. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 308, n. 1, p. 109-114, 2010. Supplement.

POPMA, T.J.; LOVSHIN, L.L. **Worldwide prospects for comercial production of tilapia**. Alabama: International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, 1996.42 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

SANTOS, V. B. et al. Avaliação de curvas de crescimento e morfometria de peixes. In: CYRINO, J. E. P. et al. (Org.). **Aqua Ciência 2006**: tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura II. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. p. 111-128.

SCHJOLDEN, J.; WINBERG, S. Genetically determined variation in stress responsiveness in rainbow trout: behavior and neurobiology. **Brain Behavior and Evolution**, Basel, v. 70, n. 4, p. 227-238, Sept. 2007.

TAVE, D. et al. Estimates of additive genetic effects, maternal genetic effects, individual heterosis, maternal heterosis, and egg cytoplasmatic effects for growth in *Tilapia Nilotica*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 21, n. 4, p. 263-270, 1990.

WIEFELS, R. **Seafood markets in Brazilian big cities:** the cases of Rio de Janeiro. Montevideo: Infopesca, 1999. 78p.

ARTIGO 2 Caracterização de manchas e seus efeitos diretos e indiretos sobre medidas morfométricas na variedade de Tilápia Nilótica Red Stirling e híbridos intraespecíficos

Aline de Assis Lago*

Tiago Teruel Rezende

Mayra Cristina da Silva Ribeiro

Alexandre Wagner Silva Hilsdorf

Marco Aurélio Dessimoni Dias

Samuel Pereira de Carvalho

Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003).

* alineassislago@yahoo.com.br, Zootecnista e doutoranda em Produção e Nutrição em Não Ruminantes, Universidade Federal de Lavras.

RESUMO

O presente estudo foi realizado com o intuito de caracterizar a proporção de manchas e verificar seus efeitos diretos e indiretos sobre o peso corporal e medidas morfométricas na variedade de tilápia nilótica Red Stirling e seus híbridos intraespecíficos. Os experimentos foram conduzidos na Indústria Brasileira do Peixe Ltda. (IBP), localizada em Itupeva, SP. O delineamento foi inteiramente casualizado em que seis grupos genéticos foram avaliados: os Parentais Chitralada (C) e Red Stirling (R); os Híbridos F1, ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada (RC) e seu recíproco (CR), e os Retrocruzamentos (RC1), ♀ CR × ♂ Chitralada (CR×C) e seu recíproco (C×CR). As progênes foram cultivadas por um período de 250 dias. Ao final do período de cultivo, uma amostra de 50 indivíduos foi coletada de cada grupo genético. Os peixes foram anestesiados, pesados, sexados, fotografados e aferidas as seguintes medidas morfométricas: Comprimento Padrão (CP); Altura (A); Largura (L), Comprimento de cabeça (CC) e altura de cabeça (AC). Foi registrada uma fotografia para cada lado do peixe. As imagens foram tratadas e a quantificação de manchas foi realizada com a utilização do software ENVI EX, com extensão ENVI EX 4.8. Os dados foram submetidos às análises de resíduos, de variância e teste de Scott-Knott. Para se verificar os efeitos diretos e indiretos da proporção de manchas e medidas morfométricas sobre o peso, realizou-se a análise de trilha. As variáveis avaliadas apresentaram multicolinearidade, dessa forma, os coeficientes foram estimados por regressão em crista. A proporção de manchas difere entre o parental Red Stirling, os grupos F1 e Retrocruzamentos e não segue um padrão específico, apresentando variação entre e dentro de cada grupo. Diante dos coeficientes de trilha e de correlação, pode-se afirmar que essa característica não apresenta efeitos diretos e indiretos sobre o peso e medidas morfométricas.

Palavras-chave: Análise de trilha. Tilápias vermelhas. Coloração. Correlação. Melhoramento genético. *Oreochromis niloticus*.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta de variedades de coloração vermelha pode ser considerada um marco para o desenvolvimento do cultivo industrial da tilápia em vários países, pois proporcionou um aumento da aceitação da tilápia pelo consumidor (HILSDORF, 1995). A produção de tilápias vermelhas está em constante crescimento, em razão do aumento no consumo, principalmente para atender a demanda de restaurantes e supermercados (WIEFELS, 1999). Dentre as variedades de tilápia vermelha, a Red Stirling ou tilápia do Nilo vermelha, caracteriza-se pela coloração do *background* vermelho e incidência de manchas melânicas, principalmente na cabeça e nas nadadeiras (MCANDREW et al., 1988).

A incidência de manchas escuras promove a perda de valor comercial e afeta não somente a Red Stirling e seus cruzamentos, como também outras variedades de tilápias vermelhas (THODESEN et al., 2013). A literatura tenta descrever a ação gênica, herança e padrões fenotípicos de manchas melânicas (KARAYUCEL et al., 2004; KOREN et al., 1994; MCANDREW et al., 1988; RAJEE, 2011; TAVE, 1992; THODESEN et al., 2013). No entanto, essas informações não estão bem definidas e novas hipóteses são levantadas a cada trabalho publicado.

Programas de seleção têm sido realizados contra a incidência de manchas e vêm apresentando resultados positivos (GARDUÑO-LUGO et al., 2004; THODESEN et al., 2013). Thodensen et al. (2013) afirmam que após quatro gerações de seleção individual multicaracterísticas para uma variedade sintética de tilápia vermelha, a incidência de manchas diminuiu cerca de 5%. Os mesmo autores estimaram a herdabilidade, correlação

genética de componentes de coloração, como manchas, pigmentação e *background* sobre o peso. No entanto, para a variedade Red Stirling não há relatos na literatura sobre a correlação fenotípica ou genética entre manchas melânicas, peso corporal e medidas morfométricas.

A correlação é uma das formas de se verificar o inter-relacionamento entre caracteres de relevância em um programa de melhoramento genético. Apesar da utilidade dessas estimativas, no entendimento de um caráter, elas não determinam a importância relativa das influências diretas e indiretas dos caracteres avaliados. A análise de trilha ou “*Path analysis*” é um artifício de que o melhorista dispõe, para decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos (CRUZ et al., 2012), possibilitando uma melhor compreensão das causas envolvidas nas associações entre tais caracteres.

Desse modo, no presente estudo, objetivou-se caracterizar a proporção de manchas e verificar seus efeitos diretos e indiretos sobre o peso corporal e medidas morfométricas na variedade Red Stirling e híbridos intraespecíficos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

Os experimentos foram conduzidos na Indústria Brasileira do Peixe Ltda. (IBP) localizada em Itupeva, SP (latitude 23°20' S, longitude 47°02' O, altitude média 695 m), nas Fazendas Santa Ignês e Rio das Pedras.

2.2 Obtenção dos grupos genéticos

Os grupos genéticos foram produzidos, a partir de um sistema de acasalamento de um macho para duas fêmeas, sendo utilizados 30 machos e 60 fêmeas para cada grupo. Inicialmente, foi realizado um cruzamento entre as variedades Red Stirling e Chitralada para a obtenção da geração F1. Posteriormente, foi obtida a primeira geração de retrocruzamento com o genitor recorrente Chitralada (RC1).

Seis tanques de aproximadamente 30 m² e 0,9 m de profundidade, foram utilizados para a reprodução, dispostos em duas estufas. Seis grupos genéticos foram formados: os Parentais Chitralada (C) e Red Stirling (R); os Híbridos F1, ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada (RC) e ♀ Chitralada × ♂ Red Stirling (CR) e os Retrocruzamentos (RC1), ♀ CR × ♂ Chitralada (CR×C) e ♀ Chitralada × ♂ CR (C×CR).

Os alevinos de cada grupo genético foram cultivados nos respectivos tanques. Ao atingirem 3 g de peso vivo, as progênies foram remanejadas para a correção da estocagem, que foi padronizada para 1000

animais. Os peixes dos grupos RC1 de coloração escura foram descartados durante o remanejo.

Os peixes foram alimentados até a saciedade aparente, três vezes ao dia, com ração comercial adequada à fase de cultivo (42% de proteína bruta para a fase de alevinagem e 32% para a fase de crescimento). Os parâmetros de qualidade de água foram mensurados. A temperatura e o oxigênio dissolvido foram observados diariamente por meio de um oxímetro digital (YSI modelo 55 Hexis) e o pH e amônia, semanalmente, utilizando kit comercial.

Ao atingirem peso de 30 g, os animais foram transferidos para tanques-rede, localizados na fazenda Rio das Pedras, utilizando o delineamento em blocos casualizados. Após 250 dias de cultivo, com peso médio de 200 g, uma amostra de 50 indivíduos foi coletada de cada grupo genético. Os peixes foram anestesiados, pesados, sexados, fotografados e as medidas morfométricas foram mensuradas. As imagens foram registradas com a utilização de uma câmera fotográfica digital SONY de 16.1 megapixels fixada a um suporte com fundo azul.

2.3 Morfometria

Os peixes foram submetidos às seguintes análises (Figura 1): comprimento padrão (CP), da extremidade anterior da cabeça ao menor perímetro do pedúnculo caudal; comprimento da cabeça (CC), compreendido entre a extremidade anterior da cabeça e a borda caudal do opérculo; a altura de cabeça (AC), compreendida entre a extremidade ventral e a dorsal da cabeça; a largura (L) e altura (A) do corpo, tomadas

nas regiões do primeiro raio da nadadeira dorsal com a utilização de um ictiômetro e paquímetro (SANTOS et al., 2007).

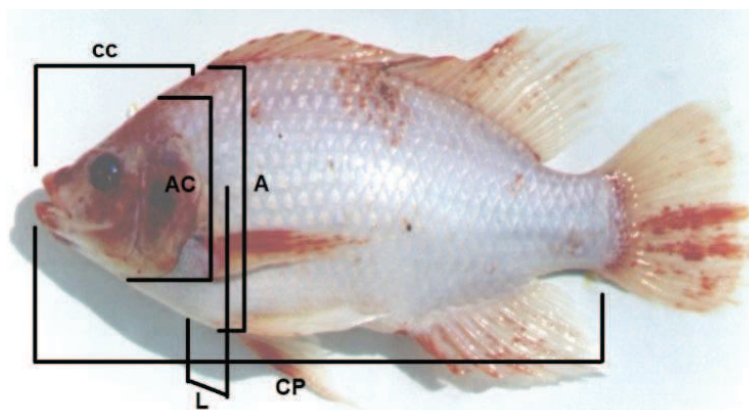


Figura 1 Medidas morfométricas para *O. niloticus*, comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L) corporal no primeiro raio da nadadeira dorsal, comprimento de cabeça (CC) e altura de cabeça (AC)

2.4 Quantificação de manchas

As imagens foram tratadas com a utilização do software *Paint Pro Shop 5*, sendo selecionado um fundo neutro e realizada a conversão da imagem do formato TIFF. Foram registradas duas fotografias por animal, uma para cada lado.

Para a quantificação de manchas, foi utilizado o software ENVI EX, com extensão ENVI EX 4.8, para o processamento digital de imagem por classificação e orientação de objetos.

Foi utilizado o módulo *Feature Extraction* que permite extrair características da imagem, ou seja, divide a imagem em segmentos ou

objetos. Na janela “*Find Objects*”, por meio do recurso *Scala level* foi selecionado o grau de objetos/polígonos/segmentos. A escala utilizada variou de 30 a 70 (Figura 2). A variação da escala controla a quantidade de segmentos. Por meio do recurso *Marge Level*, os segmentos são agrupados em grandes unidades homogêneas, de acordo com os valores dos *pixels*. Ao *pixel* são atribuídos valores espaciais, espectrais e de textura. Os grupos formados foram considerados “manchas”.

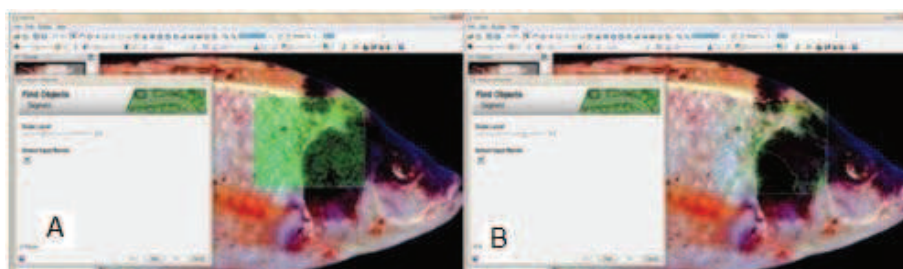


Figura 2 *Scala Level 30* (A) e *Scala Level 70* (B). Nível comparativo entre escala A e B demonstrando o agrupamento de pontos considerados manchas

Os segmentos foram classificados em fundo, mancha e área sem mancha, com a utilização do algoritmo do vizinho mais próximo (K-Nearest Neighbor). Depois de computadas, todas as áreas afins foram reagrupadas em regiões comuns (Figura 3).

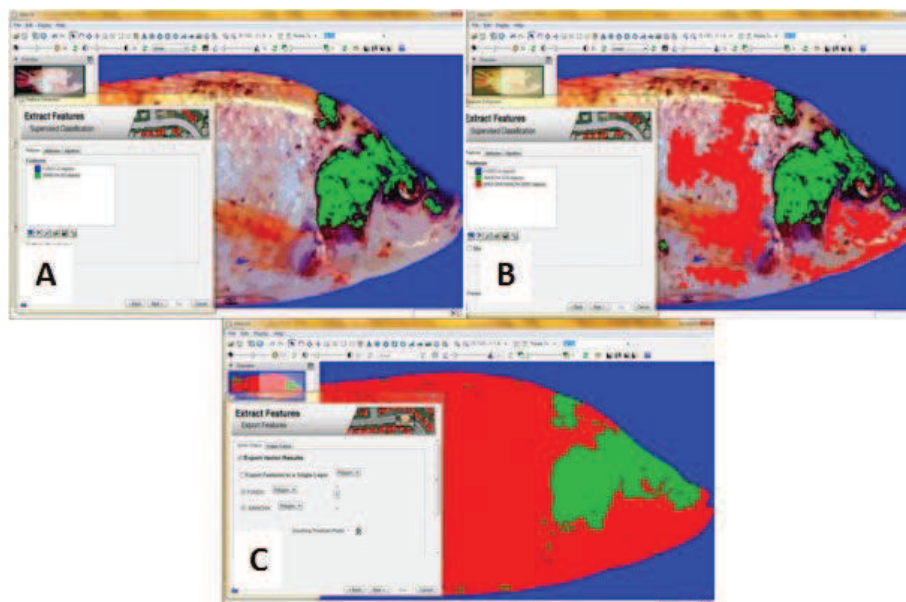


Figura 3 Seleção das regiões de mancha (A), área sem mancha (B), e união de áreas afins (C)

O *software* fornece o valor referente a quantidade de pixels pertencente a área total, área de mancha, área sem mancha e área de fundo, possibilitando o cálculo da proporção de manchas em cada indivíduo.

2.5 Análises estatísticas

O modelo utilizado na análise estatística foi:

$$Y_{sij} = m + r_j + g_i + t_s + gt_{is} + e_{sij} ; \text{sendo: } e_{sij} \sim (0, \sigma_e^2),$$

em que Y_{sij} é a porcentagem de mancha observada na repetição j do grupo genético i e sexo s ; m uma constante inerente a todas as observações; r_j é o efeito do j -ésima repetição ($j = 1, 2, \dots, 50$); g_i o efeito do i -ésimo grupo genético ($i = 1, 2, 3, \dots, 7$); t_s o efeito do s -ésimo sexo ($s = 1, 2$); gt_{is} o efeito da interação entre grupo genético e sexo e e_{sij} uma variável aleatória não-observável.

A adequação aos pressupostos da análise de variância foi verificada por análise gráfica dos resíduos, a qual indicou um desvio dos pressupostos. Portanto, a variável porcentagem de mancha foi transformada em logaritmo, de acordo com a metodologia proposta por Box e Cox (1964), por meio da função *boxcox* () da biblioteca MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002). A análise de variância e o teste de Scott-Knott foram feitos por meio da função *fat2.dbc* () da biblioteca *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2013).

Com a finalidade de verificar os efeitos da proporção de manchas e medidas morfométricas sobre o peso, independentemente do grupo genético, realizou-se a análise de trilha (WRIGHT, 1965), o que permitiu desdobrar as correlações fenotípicas entre essas variáveis em efeitos diretos e indiretos sobre o peso.

Os dados foram padronizados previamente, dividindo o desvio padrão de cada observação em relação à média, pelo respectivo desvio padrão. As observações padronizadas passam a ter média igual a zero e variância igual à unidade. Tomou-se por variável básica (Y) o peso dos peixes, e como fatores primários manchas (man), comprimento padrão (Comp.p), altura (Alt), largura (Lar), altura de cabeça (Alt.cab) e

comprimento de cabeça (Comp.c). Constatou-se multicolinearidade entre as variáveis primárias e procedeu-se à correção pelo método de regressão em crista, conforme descrito por Carvalho (1995).

Para a análise de trilha as seguintes funções foram utilizadas: *path.analysis* () da biblioteca *car* (FOX; WEISBERG, 2011); *lm.ridge* () da biblioteca *MASS*; *sem* () da biblioteca *lavaan* (ROSSEEL, 2012) e *semPaths* () da biblioteca *semPlot* (EPSKAMP, 2014).

3 RESULTADOS

Durante o período experimental, a temperatura média manteve-se em torno de 22°C, o oxigênio dissolvido 4,9 (mg L⁻¹), pH 7 e amônia <0,06. Os parâmetros de qualidade de água, durante o período experimental, estão de acordo com os limites recomendados por Kubitza (2000) e pela resolução nº. 357, de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005).

3.1 Caracterização e quantificação de manchas

Os animais pertencentes aos grupos híbridos e aos retrocruzamentos apresentaram manchas espalhadas pelo corpo, distribuídas de forma aleatória (nos formatos de pequenas pintas, manchas e listras) e proporções variáveis, entre e dentro de um mesmo grupo, evidenciando ausência no padrão de distribuição. Também foi observada coloração, desde branco, rosa até tons de vermelho e laranja. Nenhum peixe com ausência total de manchas foi observado. Foram observadas diferenças significativas ($P < 0,05$) para a quantificação de manchas entre os grupos genéticos (Tabela 1), exceto o grupo Chitralada que não foi incluso na análise.

Tabela 1 Comparação entre os grupos genéticos para proporção de manchas*

Grupos genéticos	Médias (Log Manchas)	Grupos
F1 (CR)	0,8447862	A
F1 (RC)	0,6871803	B
Red Stirling	0,5694528	C
RC1 (CR×C)	0,4095108	D
RC1 (C×CR)	0,3832405	D

CV = 57,05%

* Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott.

Os peixes foram classificados de acordo com o escore apresentado por Thodensen et al. (2013), no qual: [*escore 0*] sem manchas; [*escore 1*] < 1% de manchas corporais; [*escore 2*] 1 a 5% de manchas corporais; [*escore 3*] 5 a 10% de manchas corporais e [*escore 4*] > 10% de manchas corporais. Verifica-se no gráfico de distribuição (Figura 4), que cerca de 70% dos indivíduos pertencentes ao grupo Red Stirling apresenta incidência de manchas de 1 a 5%.

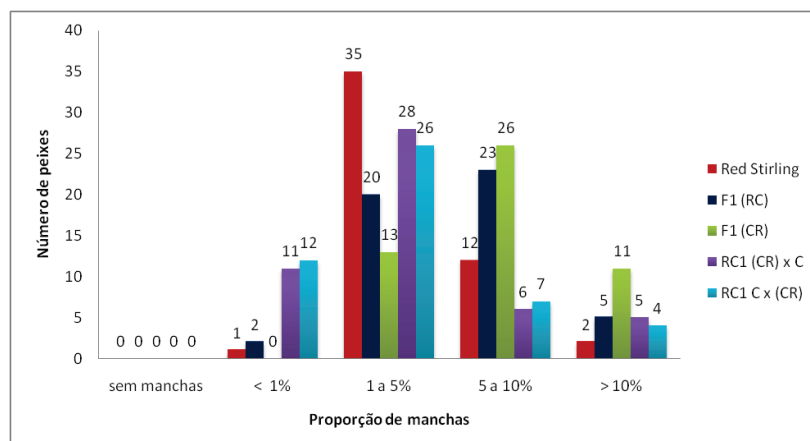


Figura 4 Distribuição observada de peixes manchados, de acordo com o percentual de manchas presentes na superfície corporal, dentro dos grupos genéticos

A incidência de manchas foi maior nos grupos híbridos, principalmente no grupo F1 (CR), que utilizou a Chitralada como matriz. Nesse grupo, observaram-se 52% dos peixes com 5 a 10 % de manchas na superfície corporal, e 22% com mais de 10% de manchas, sendo esse o maior índice entre os grupos. Houve uma redução visível na proporção de manchas para os retrocruzamentos.

Os valores médios, máximos e mínimos, bem como o coeficiente de variação da proporção de manchas na superfície corporal dos peixes nos grupos genéticos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Valores médios, desvio padrão, limites máximos, limites mínimos e coeficiente de variação (CV) da quantificação de manchas na superfície corporal entre os grupos genéticos

	Proporção de manchas e listras (%)			CV (%)
	média	máximo	mínimo	
<i>Puros</i>				
Chitralada	41,51 (7,21)	64,47	24,69	17,36
Red Stirling	4,83 (2,39)	17,70	0,49	48,85
<i>F1</i>				
F1 (CR)	5,65 (2,81)	14,59	0,47	49,70
F1 (RC)	8,00 (4,17)	20,05	1,61	52,14
<i>Retrocruzamentos</i>				
RC1 (CR×C)	4,89 (7,35)	36,81	0,53	150,45
RC1 (C×CR)	4,16 (5,38)	26,91	0,47	129,33

Em que: F1(RC) = ♀ Red Stirling × ♂ Chitralada; F1(CR)= ♀ Chitralada × ♂ Red Stirling; RC1(CR×C) = ♀ CR × ♂ Chitralada e RC1 (C×CR) = ♀ Chitralada × ♂ CR.

Em geral, as fêmeas apresentaram maior proporção de manchas, quando comparadas aos machos (P<0,05).

3.2 Efeitos diretos e indiretos de manchas e medidas morfométricas sobre o peso corporal

Para se obter informações sobre a influência da coloração, sob o aspecto da presença de manchas sobre o peso e medidas morfométricas foram estimados os valores de correlação entre as medidas morfométricas, manchas e peso corporal dos peixes (Tabela 3). Pode-se observar que as correlações lineares entre as variáveis são altas e positivas, exceto para manchas (Man).

Tabela 3 Correlação entre peso corporal (Peso), comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L), altura de cabeça (AC), comprimento de cabeça (CC) e manchas (Man)

	Peso	CP	A	L	AC	CC	Man.
Peso	1,00						
CP	0,90*	1,00					
A	0,89*	0,94*	1,00				
L	0,86*	0,89*	0,87*	1,00			
AC	0,90*	0,96*	0,95*	0,89*	1,00		
CC	0,86*	0,96*	0,92*	0,87*	0,96*	1,00	
Man	-0,09	-0,14	-0,16	-0,09	-0,11	-0,10	1,00

*P < 0,05

Se as variáveis independentes X_i e X_j apresentam dependência linear aproximada, então a correlação linear entre elas, em valor absoluto $|r_{ij}|$ será aproximadamente igual a 1. Esse comportamento pode ser observado nas correlações CP \times AC; CP \times CC; AC \times CC e AC \times A. Verifica-se que um coeficiente de correlação alto indica colinearidade,

podendo também ocorrer multicolinearidade. Contudo, o número total de variáveis independentes é maior que dois; nesse caso, a condição de alta correlação para existir multicolinearidade é somente suficiente, mas não necessária (KMENTA, 1971). Dessa forma, procedimentos adicionais foram realizados para diagnosticar e obter informações sobre a intensidade da multicolinearidade.

De acordo com o diagnóstico de multicolinearidade, o número de condições desse modelo (NC) foi maior que 1.000, revelando que a matriz de correlação está sendo afetada por multicolinearidade severa. Na presença de multicolinearidade, a regressão em crista apresenta melhor desempenho do que os estimadores de mínimos quadrados, superando o problema da inflação da variância e da instabilidade das estimativas dos coeficientes de regressão (GUNST; MASON, 1977). Dessa forma, para atenuar os efeitos da multicolinearidade severa os coeficientes de trilha foram estimados por regressão em crista, conforme descrito por Carvalho (1995), em que o valor de λ utilizado foi 0,7287 (Figura 5).

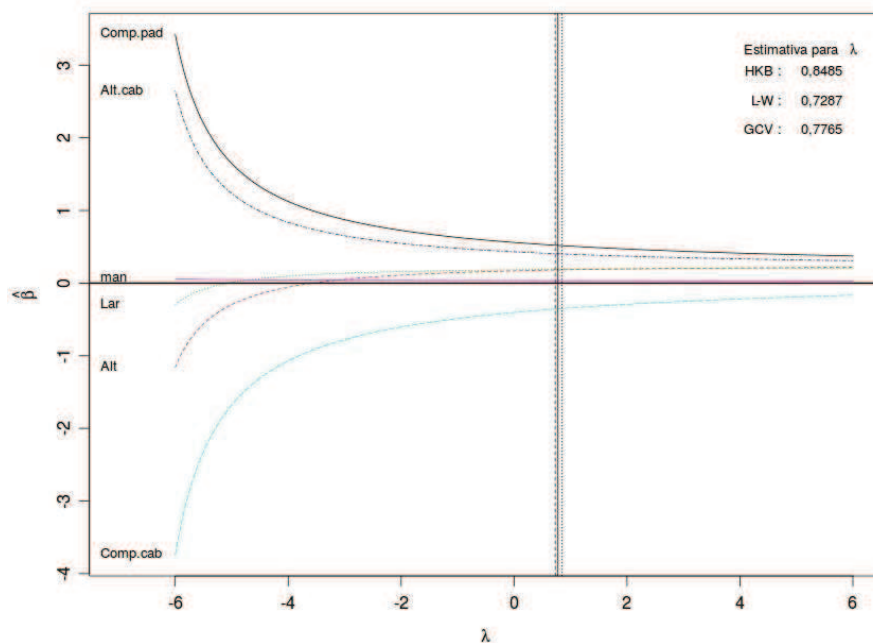


Figura 5 Regressão em crista para obtenção dos coeficientes de trilha

Os coeficientes de trilha obtidos pela regressão em crista são apresentados no diagrama de causa e efeito (Figura 6).

A escolha do diagrama foi feita de acordo com o conhecimento *a priori* das relações entre as variáveis em estudo e a hipótese considerada, efeito de manchas. No diagrama apresentado, as setas unidirecionais indicam os efeitos diretos de cada variável explicativa (independente) sobre a variável básica (dependente), nesse caso, o peso corporal. Enquanto que as setas bidirecionais simbolizam a interdependência das variáveis explicativas, cuja magnitude é quantificada pelo coeficiente de correlação fenotípica (CARVALHO, 1995; CRUZ et al., 2012; KLINE,

1991). O diagrama de causa e efeito é apresentado na Figura 6 e as estimativas dos efeitos indiretos na Tabela 4.

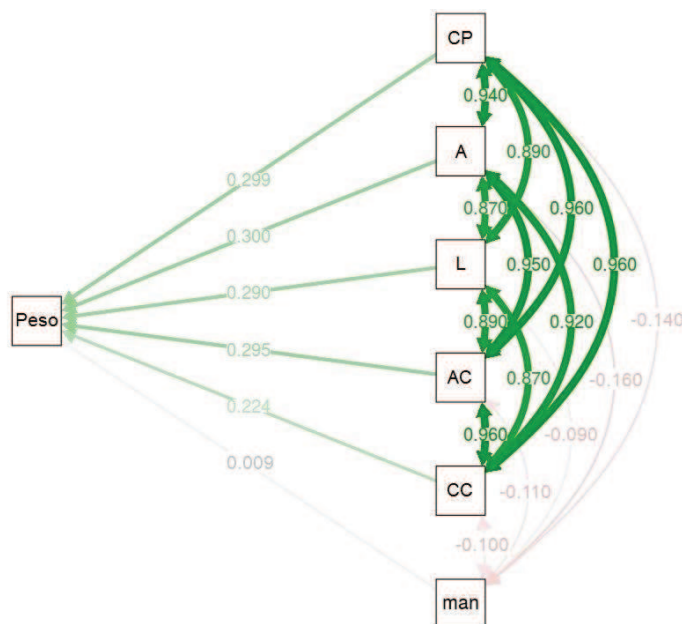


Figura 6 Diagrama das relações de causa e efeito entre as variáveis explicativas sobre peso corporal, no qual $R^2=0,9215$ e Efeito residual = 0,2802. No qual, comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L), altura de cabeça (AC), comprimento de cabeça (CC) e manchas (man)

As variáveis explicaram 92% da variação do peso corporal. As variáveis comprimento padrão, altura, largura e altura de cabeça são mais influentes, com estimativa do efeito direto maior que o residual e alta correlação, sendo as variáveis comprimento padrão e altura consideradas principais determinantes na variação do peso corporal.

O comprimento de cabeça apresentou alta correlação linear com a variável básica; no entanto, o efeito direto foi menor que o efeito residual, revelando que seus efeitos ocorrem indiretamente por meio de outras variáveis do modelo e sua utilização é de pouca influência na determinação dos efeitos das variáveis independentes. Por seu efeito indireto e por sua importância, o comprimento de cabeça deve ser mantido no modelo.

A proporção de manchas apresentou os menores coeficientes de correlação entre as medidas morfométricas e peso e os efeitos diretos e indiretos aproximaram-se de zero.

Tabela 4 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas comprimento padrão (CP), altura (A), largura (L), altura de cabeça (AC), comprimento de cabeça (CC) e manchas sobre o peso corporal

Variáveis explicativas	Vias de associação	Estimativa
CP	Efeito direto	0,2995
	Efeito indireto via A	0,1633
	Efeito indireto via L	0,1494
	Efeito indireto via AC	0,1639
	Efeito indireto via CC	0,1246
	Efeito indireto via Man	-0,0007
	Total	0,9000
A	Efeito direto	0,3003
	Efeito indireto via CP	0,1628
	Efeito indireto via L	0,1461
	Efeito indireto via AC	0,1622
	Efeito indireto via CC	0,1194
	Efeito indireto via Man	-0,0008
	Total	0,8900
L	Efeito direto	0,2903
	Efeito indireto via CP	0,1542
	Efeito indireto via A	0,1511
	Efeito indireto via AC	0,1520
	Efeito indireto via CC	0,1129
	Efeito indireto via Man	-0,0005
Total	0,8600	
AC	Efeito direto	0,2952
	Efeito indireto via CP	0,1663
	Efeito indireto via A	0,1650
	Efeito indireto via L	0,1494
	Efeito indireto via CC	0,1246
	Efeito indireto via Man	-0,0006
Total	0,9000	

“Tabela 4, conclusão”

Variáveis explicativas	Vias de associação	Estimativa
CC	Efeito direto	0,2244
	Efeito indireto via CP	0,1663
	Efeito indireto via A	0,1598
	Efeito indireto via L	0,1461
	Efeito indireto via AC	0,1639
	Efeito indireto via Man	-0,0005
	Total	0,8600
Manchas	Efeito direto	0,0089
	Efeito indireto via CP	-0,0243
	Efeito indireto via A	-0,0278
	Efeito indireto via L	-0,0151
	Efeito indireto via AC	-0,0188
	Efeito indireto via CC	-0,0130
Total	-0,0900	
Efeito residual		0,2802
R ²		0,9215

4 DISCUSSÃO

4.1 Caracterização e quantificação de manchas

Nenhum peixe com ausência total de manchas foi observado no presente estudo. Freitas (2007) e Rajae (2011) trabalhando com a Red Stirling, relataram resultados divergentes dos observados neste trabalho. Contudo, as metodologias utilizadas por esses autores para quantificar as manchas melânicas não incluem as nadadeiras nas imagens. As imagens dos peixes em ambas as metodologias são previamente tratadas. As áreas referentes às nadadeiras laterais, dorsal, anal e caudal são recortadas da imagem. A variedade Red Stirling apresenta manchas, principalmente nas áreas da cabeça e nadadeiras (MCANDREW et al., 1988). Dessa forma, a metodologia apresentada neste trabalho pode ser considerada mais adequada que as metodologias apresentadas anteriormente na literatura, pois apresentou resultados mais precisos por avaliar o peixe inteiro.

Para quantificar as áreas de manchas, Thodesen et al. (2013) estabeleceram um *escore* subjetivo visual para seleção contra manchas. Porém os próprios autores atribuem resultados subestimados, decorrentes da subjetividade desse *escore*. Sugere-se que seja desenvolvido um *escore* ou escala diagramal para quantificação e classificação dos fenótipos, avaliado pela metodologia utilizada no presente estudo e validado para testar sua eficiência.

Embora o *background* vermelho da Red Stirling seja uma característica dominante sobre a coloração selvagem, as progênies puras e provenientes de cruzamentos, geralmente, apresentam graus variáveis de

manchas (FREITAS, 2007; MOREIRA et al., 2005; THODESEN et al., 2013). O padrão de distribuição aleatória de manchas e proporções variáveis observados neste estudo também foi relatado por Freitas (2007). Em seus estudos com híbridos e cruzamentos entre Red Stirling e Chitralada, com diferentes proporções gênicas de Red Stirling, o autor atribui a variação e distribuição irregular das manchas ao mecanismo de penetrância incompleta e expressividade variável. Geralmente, não se conhecendo todos os fatores (ambientais ou genéticos) que afetam a expressão de um determinado gene, faz-se a utilização dos termos penetrância e expressividade. Quando um alelo apresenta penetrância incompleta e expressividade variável, a relação entre genótipo e fenótipo fica mascarada e confusa, pois um determinado genótipo pode produzir vários fenótipos diferentes. Essas características podem ser regidas por um controle gênico mais complexo (RAMALHO et al., 2004).

A complexidade do controle gênico para coloração e manchas pode ser observada também em carpas Koi *Cyprinus carpio* (GOMELSKY et al., 1996, 1998, 2003), que, embora a presença de uma cor seja influenciada por alguns genes, os padrões de cores são governados por muitos genes. No entanto, o controle gênico para os padrões de coloração da Carpa Koi ainda não são totalmente compreendidos (DAVID et al., 2004). O mesmo ocorre com a presença e expressão das manchas em tilápias vermelhas.

Foram observados coeficientes de variação altos dentro dos grupos e diferenças significativas entre os grupos genéticos para o Log de Manchas, exceto o parental Chitralada que não foi incluso na análise, no qual os grupos F1 (CR) apresentaram maior proporção de manchas

melânicas, seguida pelo F1 (RC), quando comparados com os demais grupos genéticos. O parental Red Stirling apresentou maior proporção de manchas, quando comparado aos retrocruzamentos. Isso pode indicar alguma influência de sexo, pois o grupo F1 o qual tinha a mãe Chitralada, apresentou mais manchas que os demais grupos.

Foi observada uma redução da proporção de manchas nos retrocruzamentos, embora tenham apresentados os maiores coeficientes de variação dentro dos grupos. Essas evidências podem ser indicativos de dominância incompleta do gene que controla o *background*. De acordo com Mires (1988), o padrão de listras transversais em tilápias nilóticas é decorrente de dois ou mais genes que controlam a coloração e distribuição. Outra hipótese é de que possa haver epistasia entre o gene que controla a coloração de fundo e os genes que controlam o padrão de listras transversais.

Diferenças significativas foram observadas nas proporções de manchas entre machos e fêmeas. A interação entre sexo e coloração foi significativa para uma variedade sintética de tilápia, retratada por Thodesen et al. (2013). As observações foram divergentes dos resultados obtidos por Rajae (2011) que não observou diferenças entre machos e fêmeas para manchas. Contudo, relatou-se que as manchas em indivíduos Red Stirling puros mostram-se extremamente reduzidas em certas fases da vida, e retornam ao seu estado original, ou mesmo tornam-se mais acentuadas, posteriormente. Essas características podem refletir uma comunicação visual das tilápias, durante o cortejo entre machos e fêmeas, camuflagem ou fotoproteção (LECLERCQ et al., 2010).

4.2 Efeitos diretos e indiretos de manchas e medidas morfométricas sobre o peso corporal

Pode-se observar que a correlação linear entre as variáveis é alta e positiva, exceto para manchas (Man). Kunita et al. (2013) observaram que além de uma alta correlação fenotípica, as variáveis CP, A e CC também possuem alta correlação genética, em tilápias nilóticas.

As variáveis comprimento padrão e altura foram consideradas principais determinantes na variação do peso corporal. Os resultados apresentados por Kunita et al. (2013) corroboram com essa afirmativa. Os autores retrataram que as características comprimento padrão e altura apresentam-se fortemente associadas com o peso geneticamente. Diodatti et al. (2008) avaliaram as correlações lineares de medidas morfométricas para as linhagens de tilápias do Nilo *O. niloticus* Supreme e Tailandesa. E obtiveram as equações pelo método “*Backward*”, nas quais o comprimento padrão foi a variável mais importante na determinação do peso corporal.

O comprimento de cabeça apresentou alta correlação linear com a variável básica; no entanto, o efeito direto foi menor que o residual, revelando que seus efeitos ocorrem indiretamente por meio de outras variáveis do modelo. Sua utilização é de pouca influência na determinação dos efeitos das variáveis independentes. Por seu efeito indireto e por sua importância deve ser mantido no modelo. Essas observações complementam os resultados apresentados na literatura. Diodatti et al.(2008) retiraram a variável CC do modelo, em razão da similaridade com CP observado pelos autores. Apesar de apresentar alta

correlação linear, Kunita et al. (2013) observaram que a correlação genética entre CC e peso é mais fraca quando comparada a CP. Os autores ressaltam que em um programa de seleção, deseja-se que ocorra redução da participação relativa do comprimento de cabeça. De acordo com Santos (2004), quanto maior o comprimento de cabeça menor o rendimento de carcaça para a variedade de tilápia nilótica Supreme. Oliveira et al. (2012) relataram que, após quatro anos de seleção da variedade de tilápia nilótica GIFT no Brasil, a participação do comprimento de cabeça no comprimento do peixe está reduzindo. Revelando que, embora haja associação genética e correlação fenotípica positiva do comprimento da cabeça com o ganho em peso, as mudanças no comprimento do peixe são maiores que no comprimento da cabeça.

A proporção de manchas apresentou os menores coeficientes de correlação entre as medidas morfométricas e peso, no qual os efeitos diretos e indiretos se aproximam de zero. Esse resultado pode ser sustentado pelas respostas obtidas por Thodesen et al. (2013), que relatam que a correlação genética entre manchas e peso foi baixa para uma variedade sintética de tilápia vermelha. Os resultados revelam que as manchas não influenciam as estimativas de peso corporal e as medidas morfométricas. Dessa forma, é possível realizar um programa de melhoramento com seleção para coloração e características morfométricas, como peso, simultaneamente.

5 CONCLUSÕES

A proporção de manchas difere entre os grupos genéticos, entre os sexos e não segue um padrão específico, apresentando variação entre e dentro de cada grupo. Diante dos coeficientes de trilha e de correlação, pode-se afirmar que a característica de manchas não apresenta efeitos diretos e indiretos sobre o peso e medidas morfométricas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao doutorando do programa de pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Tiago Teruel Rezende, pela colaboração na análise estatística e à aluna de iniciação científica Mayra Cristina da Silva Ribeiro do curso de graduação em Zootecnia da UFLA, pela colaboração no desenvolvimento da metodologia, para a quantificação de manchas do presente estudo.

Characterization of spots and their direct and indirect effect on morphometric measures on strains of Red Stirling Nilotica Tilapia and intraspecific hybrids

ABSTRACT

The present work was performed aiming to characterize the proportion of spots, and to assess their direct and indirect effects on the corporeal weight and morphometric measures on varieties of Red Stirling nilotica tilapia and intraspecific hybrids. Experiments were performed in the Indústria Brasileira de Peixe Ltda in Itupeva, State of São Paulo. We used the completely randomized design for assessing six genetic groups, namely, the parentals Chitralada (C) and Red Stirling (R); the hybrids F1, fish-female Red Stirling \times fish-male Chitralada (RC) and its reciprocal (CR); and the backcrossing (RC1), fish-female CR \times fish-male Chitralada (CR \times C) and its reciprocal (C \times CR). Progenies were grown for 250 days, after which samples of 50 individuals were collected from each group. Fish were anesthetized, weighed, sexed, photographed and determined the following morphometric measures: standard length (SL), height (H), width (W), head length (HL) and head height (HH). A photograph was taken for each side of the fish. Images were edited, spots quantification was carried out by using the ENVI EX v4.8 software, and data were subject to residue analysis, analysis of variance, and means were compared by using Scott-Knott test. For assessing the direct and indirect effects of spots proportion and morphometric measures of corporeal weight, the path analysis was carried out. As we found that all the variables show multicollinearity, their coefficients were determined by means of crest regression. Then, the spots proportion differs among Red Stirling parental, F1 groups and backcrossings. Besides, it does not follow a specific standard, showing variations between and within groups. Therefore, we may infer that there is no direct and indirect effects on the corporeal weight and morphometric measures.

Key-words: Path analysis. Red tilapia. Colouring. Correlation. Breeding program. *Oreochromis niloticus*.

REFERÊNCIAS

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society, Series B**, London, v. 26, p. 211-252, 1964.

BRASIL. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Seção 1.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**.1995. 163 f.Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

DAVID, L. et al. Aspects of red and black color inheritance in the Japanese ornamental (Koi) carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture**, Amsterdam, v.233, n. 1/4, p. 129-147, Apr. 2004.

DIODATTI, F. C. et al. Parámetros morfométricos en el rendimiento de los componentes corporales de tilapia del nilo (*Oreochromis oreochromis*). **Anales de Veterinaria de Murcia**, Murcia, v. 24, n. 1, p. 45-55, 2008.

EPSKAMP, S. **Path diagrams and visual analysis of various SEM packages' output**. R Package Version 1.0.0. Disponível em: <<http://sachaepskamp.com/documentation/semPlot/00Index.html>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

FERREIRA, E. B. et al. **ExpDes.pt**:experimental designs package. R Package Version 1.1.2. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An R companion to applied regression**. 2nd ed. Thous and Oaks, 2011. 472 p.

FREITAS, J. R. **Avaliação de desempenho e de coloração de híbridos intraespecíficos de *Oreochromis niloticus* das variedades Red stirling e Chitralada**. 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, 2007.

GARDUÑO-LUGO, M. et al. Mass selection for red colour in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 340-344, Mar. 2004.

GOMELSKY, B. et al. Color inheritance in ornamental (Koi) carp (*Cyprinus carpio* L.) inferred from color variability in normal and gynogenetic progenies. **Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgeh, v.48, n. 4, p. 219-230, 1996.

GOMELSKY, B. et al. Inheritance of the whitered (Kohaku) color complex in ornamental (Koi) carp (*Cyprinus carpio* L.). **Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgeh, v. 55, n. 3, p. 147-153, 2003.

GOMELSKY, B. et al. Studies on the inheritance of black patches in ornamental (Koi) carp. **Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgeh, v.50, n. 3, p.134-139, 1998.

GUNST, R. F.; MASON, R. L. Advantages of examining multicollinearities in regression analisys. **Biometrics**, Washington, v. 33, p. 249-260, 1977.

HILSDORF, A. W. S. Genética e cultivo de tilápias vermelhas: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 73-84, jan./jun. 1995.

KARAYUCEL, I. et al. Evidence for two unlinked “sex reversal” loci in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and for linkage of one of these to the red body colour gene. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 234, n. 1/4, p. 51-63, 2004.

KLIN, R. B. Latent variable path analysis in clinical research: a beginner’s tour guide. **Journal of Clinical Psychology**, Montreal, v. 47, n. 4, p. 471-484, 1991.

KMENTA, J. **Elements of econometrics**. New York: MacMillan, 1971. 655 p.

KOREN, A. et al. Evaluation of some red tilapia strains for aquaculture. **The Israeli Journal Aquaculture**, Bamidjegeh, v.46,n. 10, p.9-12, Oct. 1994.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Acqua Imagem, 2000. 285 p.

KUNITA, N. M. et al. Avaliação genética de características morfométricas em tilápias do Nilo cultivadas. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v.62, n.240, p.555-566, 2013.

LECLERCQ, E. et al. Morphological skin colour changes in teleosts. **Fish and Fisheries**, London, v.11,n. 2, p.159-193, June 2010.

MCANDREW, B. J. et al. The genetics and histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis niloticus*. **Genetica**, Austin, v. 76, p.127-137, 1988.

MIRES, D. The Inheritance of black pigmentacion in two Arican strains of *Oreochromis niloticus*. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE, 2., 1988, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: ICLARM, 1988. p. 237-241.

MOREIRA, A. A. et al. Comparative growth performance of two Nile tilapia (Chitralada and Red-Stirling), their crosses and the Israeli tetra hybrid ND-56. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1049-1055, 2005.

OLIVEIRA, C.A.L. et al. Melhoramento genético de peixes: uma realidade para a piscicultura brasileira. **Revista Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 38-47, 2012.

RAJAEI, A.H. **Genetic approaches to the analysis of body colouration in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)**. 2011. 190 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Stirling, Stirling, 2011.

RAMALHO, M. et al. **Genética na agropecuária**. 3. ed. São Paulo: Globo, 2004. 472p.

ROSSEEL, Y. Lavaan: an R package for structural equation modeling. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 48, n. 2, p. 1-36, 2012.

SANTOS, V. B. **Crescimento morfométrico e alométrico de linhagens de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SANTOS, V. B. et al. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1486-1492, set./out. 2007.

TAVE, D. **Genetics for fish hatchery managers**. 2nded. New York: AVI Book, 1992. 436 p.

THODESEN, J. et al. Genetic improvement of tilapias in China: genetic parameters and selection responses in growth, survival and external color traits of red tilapia (*Oreochromis* spp.) after four generations of multi-trait selection. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 416/417, p. 354-366, Dec. 2013.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics with S**. 4th ed. New York: Springer, 2002.

WIEFELS, R. **Seafood markets in Brazilian big cities: the cases of Rio de Janeiro**. Montevideo: Infopesca, 1999. 78 p

WRIGHT, S. The interpretation of population-structure by f-statistics with special regard to systems of mating. **Evolution**, Lancaster, v. 19, n. 3, p. 395-420, 1965.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELAS

Tabela 1 Análise de Variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	49	6.812	0.13902	1.2716	0.129869
Grupo	4	7.458	1.86458	17.0550	0.000000 *
Sexo	1	1.013	1.01307	9.2663	0.002665 *
Grupo*Sexo	4	0.780	0.19511	1.7846	0.133564
Resíduo	190	20.772	0.10933		
Total	248	36.836			

Tabela 2 Resultados dos testes para diagnóstico de multicolinearidade

Observações	Valores
Maior correlação	0,96 (CP×AC; CP×CC; AC×CC)
Menor correlação	-0.09 (Man×L)
Número de VIF's ≥ 10	4
Determinante	7.262812×10^{-5}
Autovalores	(22,13852; 0,9683375; 0,02546612; 0,006590109; 0,00151775; 0,000966035)
Número de condição (NC)	22917.64
VIFk	(19,828737; 11,852918; 5,285556; 22,618654; 17,007087; 1,063467)

APÊNDICE B -FIGURAS

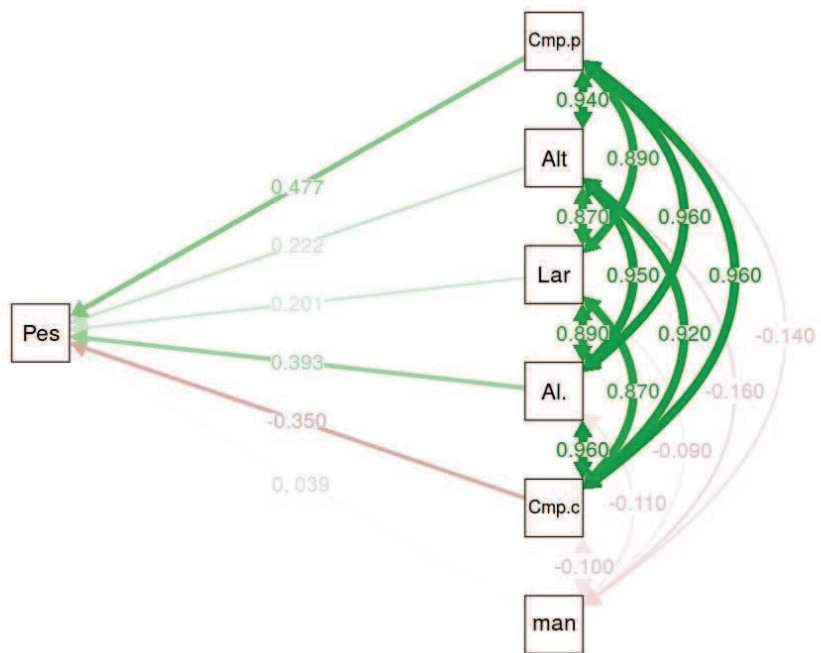


Figura 1 Diagrama das relações de causa e efeito entre as variáveis primárias e peso corporal sem considerar a ocorrência de multicolinearidade.

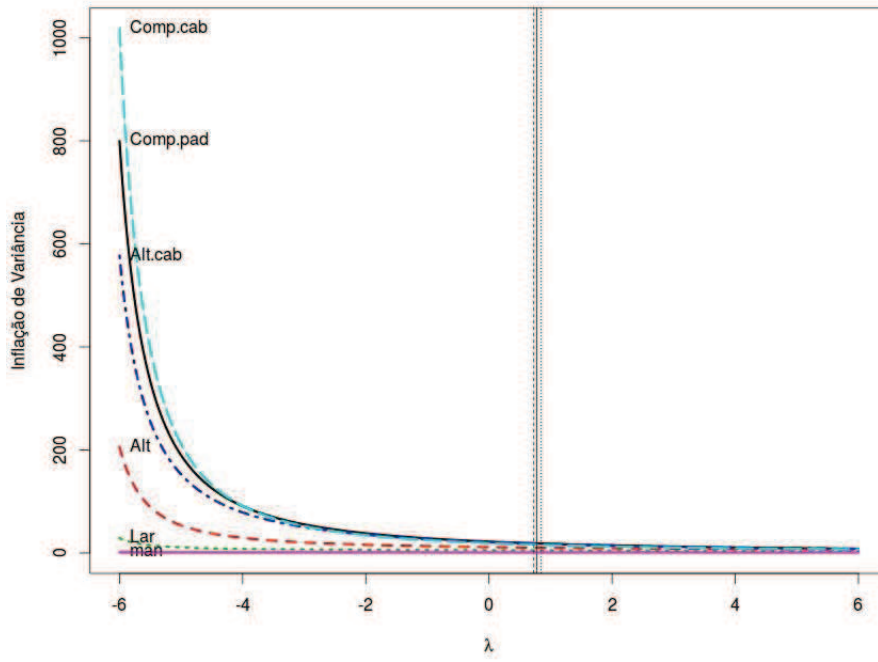


Figura 1 Inflação de variância