



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL

CYNTIA RAFAELA FERREIRA DE MORAES

**ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE C E N COMO INDICADORES DA DIETA DA
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EM TANQUES-REDE
EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

MOSSORÓ

2016

CYNTIA RAFAELA FERREIRA DE MORAES

**ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE C E N COMO INDICADORES DA DIETA DA
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EM TANQUES-REDE
EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Ciência Animal do Programa de Pós-
Graduação em Ciência Animal da
Universidade Federal Rural do Semiárido
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação
do Semiárido.

Orientador: Gustavo Henrique Gonzaga da
Silva, Prof. Dr.

Co-orientador: José Luiz de Attayde, Prof.
Dr.

MOSSORÓ

2016

CYNTIA RAFAELA FERREIRA DE MORAES

ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE C E N COMO INDICADORES DA DIETA DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EM TANQUES-REDE EM UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

EQUIPE ENVOLVIDA:

MESTRANDA: Cyntia Rafaela Ferreira de Moraes.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Ciência Animal com Ênfase em Ecologia e Conservação do Semiárido.

ENDEREÇO: Rua Pedro Abílio, Centro, N° 755, Umarizal/RN – 59865-000.

E-MAIL: cyntia_orion@yahoo.com.br

TELEFONE: (84) 996731178.

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA

ORIENTADOR: Gustavo Henrique Gonzaga da Silva

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Doutorado em Aquicultura (Limnologia Aplicada).

ENDEREÇO: Presidente Costa e Silva, BR 110 - Km 47,

E-MAIL: gustavo@ufersa.edu.br

TELEFONE: (84) 33151745

INSTITUIÇÃO VINCULADA: Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA

CO-ORIENTADOR: José Luiz de Attayde.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Doutorado em Ecologia.

ENDEREÇO: Campus Universitário, Lagoa Nova, 59072-970 - Natal, RN – Brasil.

E-MAIL: cocattayde@gmail.com

TELEFONE: (84) 32153441

INSTITUIÇÃO VINCULADA: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA (BCOT)

M827i Moraes, Cyntia Rafaela Ferreira

Isótopos estáveis de C e N como indicadores da dieta da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em tanques-rede em reservatório do semiárido brasileiro / Cyntia Rafaela Ferreira de Moraes. - Mossoró, 2016.

81f: il.

Orientador: Gustavo Henrique Gonzaga da Silva

Co-Orientador: José Luiz de Attayde

Dissertação (MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

1. Peixe. 2. Tilápia do Nilo - nutrição. 3. Reservatório Santa Cruz -Apodi/RN. 4. Tanques-rede. 5. Isótopos estáveis. I. Título

RN/UFERSA/BOT/054

CDD 636.089

Bibliotecário-Documentalista

Lara Jordanna Nunes de Oliveira, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

CYNTIA RAFAELA FERREIRA DE MORAES

**ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE C E N COMO INDICADORES DA DIETA DA
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EM TANQUES-REDE
EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

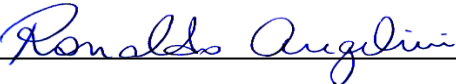
Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação do Semiárido.

Aprovada em: 25/02/2016.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva.



Prof. Dr. Ronaldo Angelini.



Profa. Dra. Aline Fernanda Campagna Fernandes.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CYNTIA RAFAELA FERREIRA DE MORAES - Nascida na cidade de Umarizal, Rio Grande do Norte, cursou Engenharia de Pesca na UFRSA, entre os anos de 2008 e 2013. Durante o período atuou em projetos na área de Limnologia e Ecologia de Ecossistemas aquáticos no Semiárido Potiguar, atuando em projetos de extensão, pesquisa e em laboratório.

A Hilário Morais de Farias (*In Memorian*) o único irmão mais velho que tive, ao autor da minha infância e meu eterno melhor amigo, dedico a você que sempre foi e será para mim muito importante, e que acima de tudo sempre acreditou em mim, ainda estou percorrendo o caminho para me tornar a pessoa que você acreditava que me tornaria, e sei que você esta segurando minha mão em todos os momentos. Te amo.

A Almqüio Bezerra de Morais e Antônia Maria de Morais (*In Memorian*), meus avós maternos, e Vicente Ferreira de Paula e Maria Francisca de Oliveira (*In Memorian*), meus avós paternos, que tanto contribuíram em minha vida com ensinamentos de sabedoria, humildade e amor.

Ao meu tio Elmar Galberto (*In Memorian*) que sempre elogiava minha busca pelo conhecimento, esta busca não termina aqui.

A minha prima Thaís Carmem (*In Memorian*) pela amizade e exemplo de que nos piores momentos devemos sempre acreditar no melhor e jamais perder a fé.

Dedico ao maior amor de toda minha vida, a DEUS, minha real fonte de força, coragem e inspiração.

A Francisco Ferreira de Paula e Francisca Antônia de Moraes, meus pais, por tanto amor, pelos ensinamentos e os sacrifícios que fazem por mim, saibam que sempre os amarei.

A Cynara Raquel e Cybele Ruana, minhas irmãs, por me ensinarem a compartilhar o amor, e outros valores, amo vocês duas.

A José Tavares de Oliveira Neto, meu noivo, amigo e companheiro por navegar comigo nesta jornada tão longa, te amo, a você e sua família, obrigado.

A Eurides e Moacir, meus tios, a Hilana e Hilário júnior meus primos, saiba que os amo muito e que esse amor é verdadeiro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu DEUS, aquele que mais amo, por sempre estar ao meu lado, permitindo cada vitória, cada conquista e superação em todos os obstáculos enfrentados, a ele o meu agradecimento e amor eterno.

A minha família que tanto amo e me dá forças em cada nova fase da vida, em especial meus pais Francisco Ferreira de Paula e Francisca Antônia de Moraes, e minhas irmãs Cynara Raquel Ferreira de Moraes e Cybele Ruana Ferreira de Moraes. Ao meu noivo, namorado, amigo e companheiro José Tavares de Oliveira Neto, obrigado por ser o meu porto seguro durante esses sete anos de mar agitado. Sempre te amarei e a sua família também.

Agradeço ao meu orientador Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, pela orientação, paciência, apoio, compreensão, e acima de tudo por todos os ensinamentos e conhecimentos compartilhados durante esses seis anos no LIMNOAQUA e UFERSA, aqui deixo minha total admiração e agradecimento pelas valiosas contribuições pessoal, acadêmica e profissional proporcionadas.

Agradeço ao meu co-orientador Dr. José Luiz de Attayde pela disponibilidade, orientação, e pela valiosa contribuição profissional e acadêmica proporcionada.

Agradeço a Banca Examinadora formada pelos docentes, Dr. Ronaldo Angelini (UFRN), Dra. Aline Fernanda Campagna Fernandes (UFERSA), e pelos demais componentes suplentes, Dr. José Luís da Costa Novaes (UFERSA) e Danielle Peretti (UERN) pela disponibilidade e pela valiosa contribuição acadêmica e profissional proporcionada.

Aos professores do departamento de Pós-Graduação em Ciência Animal, em especial aos professores Jean Berg, e Valéria Veras, e demais professores pela importante contribuição na minha formação profissional.

Agradeço aos meus amigos em especial Pedro Paulo, Edonária, Irani Varjão, Fernanda Juliane, Klébia Marques, Daniele Duarte, Renata Bezerra, Manuel Alves, Lucas Rebouças, e aos demais colegas por todos os momentos vividos, obrigada. Aos amigos do LIMNOAQUA e UFERSA Luís Carlos, Altevir, Sávio, Yuri, Rafson, Janay, Luiza, Cléo, Eudilena, Wanderley, Gabi, Talita, Carlina, Cário, Bia, Corró, Danyela, Allyssandra, obrigado por todos os cafés e conversas jogadas fora e por me fazerem sorrir sempre, e por fazer da rotina algo muito mais que divertido.

Agradeço ainda a todos os funcionários da UFERSA e as demais pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, muito obrigado!

*Uma noite eu tive um sonho.
Sonhei que estava andando na praia com o Senhor e, através do céu,
passavam-se cenas da minha vida.
Para cada cena que se passava, percebi que eram deixados dois pares
de pegadas na areia; um era meu e o outro, do Senhor.
Quando a última cena da minha vida passou diante de nós, olhei para trás,
para as pegadas na areia, e notei que muitas vezes,
no caminho da minha vida, havia apenas um par de pegadas na areia.
Notei também que isso aconteceu nos momentos mais difíceis e
angustiosos do meu viver. Isso entristeceu-me deveras, e perguntei,
então, ao Senhor: "Senhor, Tu disseste-me que, uma vez que eu
resolvera te seguir, tu andarias sempre comigo em todo o caminho,
mais notei que, durante as maiores tribulações do meu viver, havia na areia
dos caminhos da vida apenas um par de pegadas. Não compreendo
porque, nas horas em que mais necessitava de ti, Tu me deixaste".
O Senhor respondeu-me:
"Meu precioso filho. Eu amo-te e jamais te deixaria nas horas da tua
prova e do teu sofrimento: Quando viste na areia apenas um par de
pegadas, foi exatamente aí que Eu te carreguei nos braços"*

Rastros na Areia, de Margaret Fishback Powers.

*Making two possibilities a reality predicting
the future of things we all know fighting off
the diseased programming of centuries,
centuries, centuries, centuries.*

*Science fails to recognize the single most
potent element of human existence letting the
reigns go to the unfolding is faith, faith, fait.*

*Science has failed our world, science has
failed our mother earth. Science fails to
recognize the single most potent element of
human existence letting the reigns go to the
unfolding is faith, faith, faith.*

*Science has failed our world. Science has
failed our mother earth. Spirit-moves-
through-all-things. Science has failed our
mother earth.*

Science – System of a Down.

ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE C E N COMO INDICADORES DA DIETA DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EM TANQUES-REDE EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.

MORAES, Cyntia Rafaela Ferreira de. **Isótopos estáveis de C e N como indicadores da dieta da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em tanques-rede em reservatório do Semiárido Brasileiro**. 2015. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: Ecologia e Conservação no Semiárido) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UEFRSA), Mossoró-RN. 2016.

RESUMO

Resumo: A presente pesquisa investigou a contribuição relativa dos alimentos naturais e dietas comerciais assimilados na nutrição de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em tanques-rede no Reservatório de Santa Cruz-Apodi/RN. Todas as coletas das dietas e indivíduos foram realizadas entre agosto e novembro de 2013, nos tanques-rede do reservatório. Os indivíduos durante todo o cultivo, além de assimilar o alimento natural, foram alimentados com ração comercial de 40 e 32% de proteína bruta durante três fases de cultivo. Para as amostragens de isótopos foram retiradas amostras da musculatura dorsal de 15 indivíduos capturados, e recolhidas 15 amostras de ração, perifíton e seston (filtragem da água local). Todas as amostras foram secas em estufa com temperatura entre 55-60 °C por um período variando entre 36-72 horas, e moídas em almofariz manual e pistilo até formar um pó fino. Foram realizadas raspagens do material nas amostras de filtros. As amostras em pó foram armazenadas em cápsulas de estanho para realização da análise de isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N para as amostras de tecidos e dietas, que foram realizadas pelo laboratório UC Davis Stable Isotope Facility, Universidade da Califórnia – EUA. Em campo foi realizado o monitoramento das variáveis limnológicas com o uso de um multisensor. No laboratório de Limnologia e Qualidade de Água – LIMNOAQUA, foram realizadas análises da água de cultivo, com o intuito de caracterizar as condições abióticas dos tanques-rede. Os resultados das razões de isótopos de C e N para as dietas e peixes e das taxas de contribuições das dietas foram analisados utilizando o software R, versão 3.2.2. Para os dados de isótopos estáveis de C e N, para as amostras que apresentaram distribuição normal e variância homogênea foi aplicada uma ANOVA one-way e teste a posteriori de Tukey. Nos casos em que os pressupostos da ANOVA não foram satisfeitos foi aplicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e teste pareado de wilcoxon. Os valores das razões isotópicas foram analisados individualmente por período. Em relação aos valores das taxas de contribuição das dietas, foram analisadas em conjunto para cada período. Foi utilizado o Modelo de Mistura Mixsiar para determinar a contribuição relativa das dietas. As variáveis limnológicas não apresentaram variações no período estudado, apenas ocorreram variações para as concentrações fósforo total na fase final de cultivo e clorofila-a em todo o período estudado. As amostras de ração apresentaram diferenças significativas em sua composição isotópica de ^{13}C , e para os valores de ^{15}N nas amostras teciduais de peixes entre os períodos I e II, ocorrendo taxas discriminantes distintas na relação tecido-dieta para ambos os elementos isotópicos de C e N em todas as dietas. Os resíduos de ração ofertada contribuíram para a elevada disponibilidade das dietas naturais, especialmente para a dieta com base no seston. A dieta de perifíton (26,6 %) apresentou contribuições reduzidas em relação as dietas de seston (39,2 %), e ração (34,3 %) para os peixes cultivados em Santa Cruz. Neste contexto, pode-se concluir que a dieta natural – seston e perifíton - (65,8%) contribuiu no crescimento da tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede, alterando o paradigma de que apenas a ração fornecida é assimilada pelos peixes, contribuindo de forma quase que exclusiva no crescimento desta espécie.

Palavras-chave: Reservatório. Tanques-rede. Tilápia do Nilo. Dietas. Isótopos estáveis.

STABLE ISOTOPES OF C AND N AS DIETARY INDICATORS OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVATED IN CAGES IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION OF THE RESERVOIR.

MORAES, Cyntia Rafaela Ferreira de. **Stable isotopes of C and N as dietary indicators of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in cages in the Brazilian semiarid region of the reservoir.** 2015. 81f. Thesis (MS in Animal Science: Ecology and Conservation in Semiarid) - Federal Rural University of the Semiarid (UEFRSA). Mossoró-RN. 2016.

ABSTRACT: This study investigated the relative contribution of natural food and commercial diets assimilated into the Nile tilapia nutrition (*Oreochromis niloticus*) cultured in cages in the reservoir of Santa Cruz-Apodi / RN. All samples of diets and individuals were held between August and November 2013 in the reservoir cages. Individuals throughout the cultivation, as well as take in the natural food, were feed a control 40 and 32% crude protein for three stages of cultivation. For sampling isotopes dorsal muscle samples were taken from 15 individuals captured, collected food samples 15, periphyton and seston (local water filtration). All samples were dried in an oven at a temperature between 55-60 °C for a period ranging from 36-72 hours, and ground in a mortar and pestle manual to a fine powder. were performed sweeps on material samples filters. The powder samples were stored in tin capsules for conducting the analysis of stable isotopes ^{15}N and ^{13}C for tissue samples and diets which were performed at UC Davis Stable Isotope Laboratory Facility, University of California - USA. The field was monitored the limnological variables with the use of a multisensor. In laboratory Limnologia and Water Quality - LIMNOAQUA, analyzes were performed of growing water, in order to characterize the conditions of abiotic cages. The results of the ratios of C and N isotopes for diets and diets of fish and the contribution rates were analyzed using the R software, version 3.2.2. For data of stable isotopes of carbon and nitrogen, for samples with normal distribution and homogeneous variance was applied one-way ANOVA and Tukey test a posteriori. Where the ANOVA assumptions were not satisfied we used the nonparametric Kruskal-Wallis test and paired Wilcoxon. The values of the isotopic ratios were analyzed individually by period. Regarding the values of the contribution rates of the diets were analyzed together for each period. It was used Mixsiar Mixture Model to determine the relative contribution of diets. Limnological variables did not vary during the study period, only variations were observed for total phosphorus concentrations in the final cultivation stage and chlorophyll-a in the entire study period. Samples of feed showed significant differences in isotopic composition of ^{13}C , and the values of ^{15}N in tissue samples from fish between periods I and II, occurring distinct discriminating rates in diet-tissue interface for both isotopic elements of C and N in all diets. The waste feed supplied contributed to the high availability of natural foods, especially for diet based on seston. The periphyton diet (26.6%) had reduced contribution compared the diets of seston (39.2%) and fish feed (34.3%) for fish reared in Santa Cruz. In this context, it can be concluded that natural diet - seston and periphyton - (65.8%) contributed to the growth of Nile tilapia cultured in cages, changing the paradigm that only provided food is assimilated by the fish, contributing so almost exclusively on the growth of this species.

Keywords: Reservoir. Net cages. Nile tilapia. Diets. Stable isotopes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Área de amostragens no reservatório de Santa Cruz, na bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, Rio Grande do Norte/Brasil	40
Figura 2	-	Tanques-rede no reservatório de Santa Cruz, Apodi/RN	41
Figura 3	-	Variação na dieta para cada fator utilizado no modelo e análise de convergência.....	48
Figura 4	-	Contribuição geral das dietas disponíveis considerando todo o período de cultivo para os organismos analisados e análise de convergência	49
Figura 5	-	Relação entre as proporções gerais das dietas dos peixes	49
Figura 6	-	Médias e desvio padrão das taxas de contribuições das dietas para os três períodos de amostragem	51
Figura 7	-	Contribuição relativa das dietas disponíveis nos três períodos de cultivo (30 dias, 60-90 dias e 120 dias)	52
Figura 8	-	Contribuição relativa das dietas disponíveis nos três períodos de cultivo (30 dias, 60-90 dias e 120 dias) determinado pelo modelo MixSIAR.....	78
Figura 9	-	Amostras sendo preparadas para a secagem em estufa	79
Figura10	-	Medidas de peso das amostras maceradas e armazenamento em cápsulas de estanho	80
Figura11	-	Organização sequencial de amostras, embalagem e envio para realização das análises isotópicas de ^{13}C e ^{15}N	81

LISTA DE MAPAS

Mapa	-	Área de amostragens no reservatório de Santa Cruz, na bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, Rio Grande do Norte/ Brasil	40
------	---	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Formulação das rações ofertadas durante o cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz.....	76
Tabela 2	-	Caracterização com valores de média $\pm$ desvio padrão das variáveis limnológicas durante os três períodos de amostragem observados	43
Tabela 3	-	Caracterização com valores de análises de água durante os três períodos de amostragem observados	43
Tabela 4	-	Resultados dos valores médios $\pm$ desvio padrão dos isótopos de ^{13}C e ^{15}N para as amostras de tilápia e dietas analisadas	47
Tabela 5	-	Dietas e fontes alimentares utilizadas na alimentação de espécimes de tilápia.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel	Bacharel
Dr	Doutor
IES	Intituição de Ensino Superior
Me	Mestre

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
‰	Porcentagem per mil
δ	Razão isotópica ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)
δ_{M}	Assinatura isotópica da mistura
Δ	Taxa discriminante entre tecido e dieta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	TILÁPIA DO NILO (<i>Oreochromis niloticus</i> , Linnaeus, 1758)	20
2.2	PESQUISAS SOBRE ALIMENTAÇÃO E DIETAS PARA ORGANISMOS AQUÁTICOS	21
2.2.1	DIETAS NATURAIS	22
2.2.2	DIETAS COMERCIAIS	25
2.3	CONCEITOS E APLICAÇÃO DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS EM PESQUISAS SOBRE ALIMENTAÇÃO ANIMAL	27
2.4	MODELOS DE MISTURA E TESTES DE DIAGNÓSTICO: APLICABILIDADE EM PESQUISAS SOBRE NUTRIÇÃO ANIMAL.....	34
3	OBJETIVO GERAL	38
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
4	HIPÓTESE	39
5	MATERIAL E MÉTODOS	39
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	39
5.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
5.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	44
5.3.1	APLICAÇÃO DO MODELOS DE MISTURA MixSIAR.....	44
6	RESULTADOS	45
7	DISCUSSÃO	53
8	CONCLUSÕES	59
9	REFERÊNCIAS	60
10	APÊNDICE	77

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a aquicultura vem tornando-se importante fonte de alimento de origem animal, devido à intensa pressão nos estoques pesqueiros naturais (CARVALHO et al., 2010). A criação de peixes em tanques-rede vem se destacando no Brasil. E sob esta forma de cultivo tem como principais desvantagens a invasão da espécie exótica tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e impacto ambiental nos ecossistemas naturais (LEONARDO et al., 2011).

Esta espécie apresenta ótima aceitação no mercado consumidor, decorrentes das características da carne, sendo a mais cultivada no mundo, e encontrada em praticamente todo o território nacional (FURUYA et al., 2005; TURRA et al., 2010; ASSANO et al., 2011; PEREIRA & SILVA, 2012). Devido à grande importância da tilápia do Nilo na aquicultura são necessários estudos complementares com relação a sua nutrição (BOSCOLO et al., 2004a). Neste contexto, analisar o comportamento alimentar desta espécie é extremamente importante, para a compreensão dos aspectos ecológico e econômico de seu cultivo. Já que o paradigma de que os animais com morfologia alimentar especializada consomem determinados tipos de presa ou alimento é fundamental para o entendimento atual de processos ecológicos e evolutivos observados na natureza (VRIES, 2012).

Os hábitos alimentares e as dietas dos peixes não só influenciam diretamente seu comportamento, integridade estrutural, saúde, funções fisiológicas, reprodução e crescimento, como também alteram as condições ambientais do sistema de produção (CYRINO et al., 2010). A compreensão das diferentes estratégias, mecanismos e hábitos alimentares são extremamente úteis para responder questões sobre a ecologia alimentar das espécies aquáticas, permitindo eliminar falhas e problemas que restrinjam o crescimento, assim como implementar e melhorar os métodos racionais de cultivo, considerando as diferentes fontes alimentares presentes em seu ecossistema aquático (ZAVALA-CAMIN, 1992; GASALLA & SOARES, 2001; ABELHA et al., 2001; FONTELES FILHO, 2011).

Para compreender a contribuição das dietas e diferentes fontes alimentares, as informações recolhidas a partir de ensaios nutricionais tradicionais em conjunto com dados de análises químicas de dietas e tecidos animais fornecem informações valiosas para inferir sobre o desempenho alimentar de ingredientes específicos (GAMBOA-DELGADO et al., 2013). Pesquisas evidenciaram que o conhecimento da dieta é fundamental para compreender a dinâmica trófica das comunidades e para a conservação dos ecossistemas (ZAVALA-CAMIN, 1996; BARRETO & ARANHA, 2006; CORRÊA & SILVA, 2010; PESSOA et al., 2012; 2013a; 2013b).

A realização destas pesquisas permite obter informações primordiais na compreensão da ecologia alimentar de espécies de peixes exóticas que apresentam potencial de produção e que possam gerar efeitos adversos em relação a espécies nativas e seus ecossistemas aquáticos, o que requer utilização de ferramentas úteis, como a análise de isótopos estáveis que vem sendo utilizada em diversas linhas de pesquisa e com diferentes grupos taxonômicos, como para peixes em estudos de ecologia trófica no ambiente natural e em diferentes sistemas de criação (ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; GONDWE et al., 2011, 2012; BIN et al., 2013; PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013).

O aumento na utilização desta técnica, ocorre pelas várias vantagens de análise em relação as abordagens convencionais, proporcionando uma melhor compreensão de como os organismos incorporam os elementos dietéticos utilizados para o crescimento animal considerada um ferramenta de precisão permitindo detectar efeitos ecológicos sutis causados por espécies de peixes não-nativos em diferentes escalas espaciais, por um período longo de tempo (MICHENER & LAJTHA, 2007; CUCHEROUSSET *et al.*, 2012; KUANYI et al., 2013; GAMBOA-DELGADO et al., 2013). Esta técnica apresenta importância tanto ecológica quanto econômica, pois além de possibilitar redução de custos financeiros, esta técnica possibilita um melhor reconhecimento específico do alimento assimilado sem desconsiderar o manejo nos cultivos aquícolas, principalmente os implantados em reservatórios.

Estas informações são imprescindíveis para o estudo alimentar de espécies de peixes exploradas intensamente, propiciando a compreensão sobre os efeitos adversos que podem surgir para o seu ecossistema aquático; e para compreender a relação entre determinado tipo de dieta e as atividades metabólicas que conduzem o processo de crescimento da tilápia do Nilo. Neste contexto, o presente trabalho teve por intuito analisar a importância relativa das diferentes fontes alimentares (natural e artificial) no crescimento de tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede em um reservatório do semiárido Nordeste com base na análise de isótopos estáveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758)

Tilápias são ciclídeos nativos da África, mas tornaram-se um importante componente da pesca continental e da aquicultura na Ásia tropical e América do Sul (ATTAYDE et al., 2011). A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) é considerada um exemplar exótico por ser originária da Costa do Marfim, e foi introduzida inicialmente no Brasil pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em 1971 (SILVA et al. 2012a). De acordo com Sá (2012) esta espécie é uma das três espécies dulcícolas mais cultivadas atualmente, principalmente na região nordeste. Esta espécie apresenta reprodução mais tardia (permitindo alcançar maior tamanho antes da primeira reprodução) e alta prolificidade (possibilitando produção de grandes quantidades de ovos e alevinos) (PEREIRA, & SILVA, 2012) apresentando uma facilidade na obtenção de alevinos (ASSANO et al., 2011).

Sendo caracterizada como uma espécie com baixo nível trófico e destaca-se em criações dulcícolas por apresentar crescimento rápido e rusticidade, e pela aceitação no mercado consumidor, decorrentes das características organolépticas da carne, inclusive pela indústria de filetagem, graças à inexistência de espinhos em “Y” no seu filé. Todas essas características a tornaram a mais cultivada no mundo, sendo encontrada em praticamente todo o território nacional (FURUYA et al., 2000, 2004, 2005; MEURER et al., 2002; BOSCOLO et al., 2004a, 2004b; BOSCOLO et al, 2010; TURRA et al., 2010; ASSANO et al., 2011; MONTEIRO et al., 2012; PEREIRA & SILVA, 2012).

Esta espécie apresenta hábito alimentar fitoplancetóforo, mas aceita muito bem rações comerciais e artesanais elaboradas à base de subprodutos e outras fontes alimentares (EMBRAPA, 2007; BRITO et al., 2014), sendo ainda caracterizada como uma espécie onívora filtradora que ocupa uma posição trófica intermediária entre os produtores primários e os animais piscívoros em cadeias tróficas aquáticas dulcícolas (ATTAYDE, 2007). Algumas espécies de tilápias, em particular a tilápia do Nilo, aproveitam de forma eficiente o fito e o zooplâncton (KUBITZA & KUBITZA, 2000).

Considerada ainda, uma espécie de peixe bastante versátil na piscicultura, pois adapta-se tanto ao cultivo extensivo sem qualquer tecnologia empregada, quanto ao sistema de criação em tanques-rede com rações completas com alta tecnologia de produção, pois o alimento natural possui pequena participação na alimentação, e estes peixes apresentam bom desempenho nesses sistemas (FURUYA et al., 2001; MEURER et al., 2002). De acordo com

KUBITZA (2006b) uma outra vantagem deste sistema de produção para o cultivo de tilápias em tanques-rede, se trata da facilidade em comparar os resultados de diferentes rações e estratégias alimentares, de modo que o produtor pode rapidamente ajustar o manejo nutricional e alimentar e, até mesmo mudar de fornecedor de ração.

Com relação à produção de peixes utilizando essa forma de cultivo, principalmente na produção de tilápias, o Brasil possui um enorme potencial produtivo (Silva & Amaral, 2013). Na perspectiva para a expansão da aquicultura com implantação do sistema de cultivo em tanques-rede, é importante garantir os ecossistemas de água doce saudáveis, nesse sentido a criação de peixes em gaiolas em reservatórios devem ser objetos de uma adequada vigilância contínua e de estudos para avaliar os impactos causados pelos tanques-rede (BORGES et al., 2010).

2.2. PESQUISAS SOBRE ALIMENTAÇÃO E DIETAS PARA ORGANISMOS AQUÁTICOS

A alimentação de uma espécie é a chave para a compreensão de aspectos básicos da sua biologia, como: reprodução, crescimento e adaptação, bem como entender a maneira como os indivíduos exploram, utilizam e compartilham os recursos do meio ambiente, adicionalmente, propiciam informações úteis sobre as relações tróficas entre os organismos (SILVA et al., 2012b). Pesquisas voltadas a estudar a reprodução, o crescimento e a produção de espécies de organismos aquáticos com potencial econômico têm-se desenvolvido mais amplamente (MERCANTE et al., 2011), principalmente no âmbito dos aspectos alimentares de espécies utilizadas em cultivos intensivos. Para a maioria dos alimentos existe mais de uma fonte alimentar e nem todos os componentes dessa mistura de alimentos são digeridos com a mesma eficiência (MARTINELLI et al., 2009).

De acordo com Zuanon (2003) a quantidade e qualidade dos alimentos ingeridos e sua distribuição ao longo do dia influenciam a alocação dos nutrientes da dieta nos tecidos e órgãos animais, que como os peixes por exemplo, aproveitam de formas distintas os alimentos, sendo que tal assimilação pode ser quantificada através de seus coeficientes de digestibilidade aparente (SAMPAIO et al., 2001). Na natureza, os peixes conseguem satisfazer suas necessidades com o alimento disponível no meio aquático, no entanto quando confinados, recebem rações balanceadas para que sejam atendidas as suas exigências (FURUYA et al., 2004), já que a futura expansão da aquicultura dependerá da utilização de alimentos balanceados e processados (FURUYA et al., 1998).

Sejam estes alimentos ofertados de dietas oriundas de fontes naturais ou comerciais, deve-se compreender que de fato a alimentação é responsável pelos maiores custos de produção, assim como as alternativas para suplementação com nutrientes às dietas são necessárias para garantir retorno em menor tempo, ou mesmo garantir a saúde dos animais em confinamento (GRACIANO et al., 2014). Há alguns anos era comum observar desordens nutricionais em tilápias cultivadas em tanques-rede, mas atualmente a maioria dos fabricantes dispõe de rações nutricionalmente completas de alta qualidade para atender às exigências do cultivo intensivo de tilápia tanto em tanques-rede como em outros tipos de sistemas de alto fluxo ou de recirculação (KUBITZA, 2006b).

Realizando uma análise cenciométrica com trabalhos do período entre 1999 a 2009, Dias et al., (2012), verificaram que, os estudos de cultivo em tanques-rede estão considerando as questões ambientais e não apenas evidenciando o aumento na produção de alimentos. Nesse contexto é importante considerarmos as diferentes fontes alimentares e como estas contribuem na produção para aquicultura e como podem ser manejadas adequadamente no intuito de reduzir os impactos provocados pelos sistemas intensivos de cultivo em ambientes naturais.

2.2.1 DIETAS NATURAIS

Em cultivo com um sistema de produção super-intensivo, como em tanques-rede, os peixes são confinados em altas densidades de estocagem, dentro de uma estrutura onde os animais recebem ração balanceada, e que permita uma grande troca de água com o ambiente aquático (BRITO et al., 2014). No entanto, este sistema de cultivo é implantado em ambientes naturais, e nestes ambientes os peixes equilibram sua dieta, assimilando os alimentos que melhor suprem suas exigências nutricionais e preferências alimentares, que se trata do alimento natural composto de inúmeros organismos vegetais (algas, plantas aquáticas, frutos, sementes, entre outros) ou animais (crustáceos, larvas e ninfas de insetos, vermes, moluscos, anfíbios, peixes, entre outros) (KUBITZA, 1999a).

A comunidade planctônica é uma das principais fontes de fluxo de energia em ambientes aquáticos, sua composição e densidade são relevantes para detectar-se alterações no ambiente (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2010a). Vale evidenciar que o plâncton é rico em energia e em proteína de alta qualidade e serve como fonte de minerais e vitaminas no cultivo de tilápia em viveiros (KUBITZA & KUBITZA, 2000). O plâncton é constituído pelo

fitoplâncton (algas), pelo zooplâncton (pequenos animais), e pelo bacterioplâncton (ESTEVEES, 1998).

A dieta com base no perifíton é uma importante fonte alimentar disponível nos ecossistemas aquáticos, sendo caracterizado como um complexo conjunto de microrganismos e detritos orgânicos agregados a substratos naturais ou artificiais, sendo composto predominantemente por algas autotróficas. O perifíton desempenha um papel importante na cadeia alimentar e troca de matéria entre os componentes orgânicos e inorgânicos, e tem o potencial de influenciar no crescimento, desenvolvimento, sobrevivência e a reprodução de organismos em sistemas aquáticos, e têm papel relevante no metabolismo dos ambientes aquáticos como importante produtor primário e regulador do fluxo de nutrientes nestes ecossistemas (WETZEL, 1983; LOWE & PAN, 1996; CAMPEAU et al., 1994, POMPÊO & MOSCHINI-CARLOS, 2003; BARBOSA et al., 2012).

Sobre esses tipos de alimento disponíveis no ambiente, Esteves (1998) descreve ainda que, o termo seston foi criado por Kolk-Witz (1892), e que corresponde a todo material particulado suspenso na água: compreende o bioseston e o abioseston (tripton). O bioseston, consiste de matéria viva, incluindo o plâncton, o nécton (organismos com movimentos próprios) e o plêuston (organismos que vivem na superfície da água), composto por fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, fungos e protozoários; enquanto que o abioseston (tripton) compreende o material inerte como detritos orgânicos e inorgânicos particulados, aglomerados e partículas inorgânicas em suspensão (ESTEVEES, 1998; MORENO & RAMIREZ, 2010) pois esta dieta tão complexa e seus variados componentes tem sido reportados em diferentes trabalhos (MARIOTTI et al., 1991; BIRD et al., 1998; WETZEL, 2001; KENDALL et al., 2001; FINLAY & KENDALL, 2007; RICHARDSON et al., 2009; MORENO & RAMIREZ, 2010; CARABALLO et al., 2011; GONDWE et al., 2012)

As pesquisas e estudos nos últimos anos envolvendo dietas e fontes naturais de alimento como o seston têm sido realizadas e tem colaborado na compreensão sobre a origem, transporte e o ciclo de seston em grandes rios e em outros ambientes dulcícolas, e o papel que este tem desempenhado em teias alimentares e como tem contribuído na alimentação dos organismos aquáticos (HEDGES et al., 1986; MARIOTTI et al., 1991; QUAY et al., 1992; BIRD et al., 1998; KENDALL et al., 2001; FINLAY & KENDALL, 2007; CARABALLO et al., 2011; EMERY et al., 2015).

O aporte de fontes autóctones e alóctones de matéria orgânica que compõem a dieta com base no seston, apresentam a colaboração de várias fontes distintas presentes no ambiente aquático tornando esta uma dieta natural bastante complexa. Isto foi observado, no

seston analisado no Rio Sanaga (Camarões) e no Rio Congo que apresentaram bastante variação, com altas proporções de seston derivado de plantas C₄ em savanas durante os períodos de elevada descarga, e altas proporções de seston derivado de plantas C₃ a partir das margens dos rios durante os períodos de reduzida descarga (MARIOTTI et al., 1991; BIRD et al., 1998). Essas variações influenciam em composições químicas como em elementos isotópicos, como foi observado em outros estudos que têm mostrado que a composição isotópica de ¹⁵N do seston derivado de resíduos domésticos pode resultar em cadeias alimentares inteiras apresentarem reduções em ¹⁵N em locais impactados, diferente dos locais não-impactados (VAN DOVER et al., 1992; TUCKER et al., 1999; DEBRUYN & RASMUSSEN, 2002). E a variação também irá influenciar na forma de pesquisa desenvolvida, por exemplo, a proporção de C:N no seston (matéria orgânica de partículas em suspensão - POM) é geralmente mais útil do que as razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e/ou ¹⁵N para determinar a fonte dominante de matéria orgânica para grandes rios (KENDALL et al., 2001), e valores inferiores de C:N geralmente correlacionam-se com a alta qualidade de matéria orgânica para os consumidores (FINLAY & KENDALL, 2007).

Através dos alimentos disponíveis ou oferecidos, os animais devem obter suficientes quantidades de nutrientes essenciais de forma a garantir a normalidade de seus processos fisiológicos e metabólicos, assegurando adequado crescimento, saúde e reprodução (KUBITZA, 1999a). Nesse contexto, nos últimos anos, os nutricionistas têm direcionado seus estudos na busca de informações que possam contribuir para a redução dos custos com a alimentação e os teores de proteína das dietas (FURUYA et al., 2005). De uma forma geral, com algumas particularidades dependendo da espécie, é reconhecido que os peixes apresentam exigências em pelo menos 44 nutrientes essenciais, que incluem a água, aminoácidos essenciais, energia, ácidos graxos essenciais, vitaminas, minerais e carotenoides, e estas exigências da maioria dos minerais são satisfeitas pelos peixes através dos minerais presentes nos alimentos naturais e nas rações (KUBITZA, 1999a).

Seria ideal, em termos nutricionais e econômicos, que as dietas práticas para os peixes fossem estabelecidas em função de experimentos em que os próprios peixes regulassem o momento, o alimento e sua quantidade ingerida (PEREIRA-DA-SILVA et al., 2004). Dentre estes tipos de pesquisa, os estudos sobre a predação de dietas naturais, ainda são escassos, incluindo a utilização do perifíton como complemento alimentar na aquicultura (ZORZAL-ALMEIDA & FERNANDES, 2014). Da mesma forma, não tem muita disponibilidade de pesquisas para a contribuição da dieta de seston em cultivos, quando atualmente muitas

pesquisas estão centradas e tem avaliado dietas artificiais preparadas artesanalmente ou produzidas comercialmente, como a ração.

2.2.2 DIETAS COMERCIAIS

A tilápia do Nilo tem se destacado na piscicultura em regiões de clima quente, tanto em criações em tanques de terra quanto em gaiolas ou tanques-rede, e apresenta maior aceitabilidade de rações em relação a outras espécies. Os cultivos atuais desta espécie se baseiam com uma alimentação totalmente representada por rações balanceadas completas, sendo imprescindível avaliar a forma de processar tais alimentos, visando maximizar a utilização de seus nutrientes bem como aumentar a disponibilidade dos mesmos. A oscilação da qualidade dos alimentos para as rações e o inadequado processamento pode refletir nos nutrientes. A expansão da aquicultura e aumento na produção de alimento se tornam dependentes destas rações balanceadas para permitir o aumento na produtividade com menor impacto ambiental e com melhor eficiência produtiva, técnica e econômica (EL-SAYED, 1999; TACON & JACKSON, 1985; SIDDHURAJU & BECKER, 2002; SILVA et al., 2007; BRITO et al., 2014).

Na piscicultura, para se obter melhor eficiência alimentar, é necessária a integração de fatores como características fisiológicas, hábito alimentar e exigência nutricional da espécie em cultivo, além da composição química e da disponibilidade de nutrientes dos ingredientes selecionados para a confecção da ração completa (LANNA et al., 2004). Em ambientes confinados, os peixes não dispõem de alimento em quantidade e de qualidade que atendam às exigências nutricionais para os desempenhos produtivo e reprodutivo ótimos, em função disto, faz-se necessário o uso de rações comerciais que atendam às exigências em energia e nutrientes para garantir adequado desempenho produtivo, higidez e retorno econômico (SILVA & GALÍCIO, 2012).

O desenvolvimento eficiente e saudável dos animais passa obrigatoriamente pelo fornecimento de uma dieta que satisfaz as necessidades básicas de crescimento, contendo concentrações próximas do ideal e seus diversos componentes (NAVARRO et al., 2010a, 2010b). O aumento na produtividade requer a utilização de rações completas, em função de que o alimento natural pode tornar-se limitado, e não ser capaz de atender as exigências dos peixes, principalmente quando criados em tanques-rede e raceways, onde a elevada biomassa por área e as deficiências nutricionais podem acarretar perdas de produtividade e, conseqüentemente, menor retorno econômico (KUBITZA, 1999b; FURUYA et al., 2001b).

Todavia peixes cultivados dependem, entre muitos fatores, da qualidade de água e de rações nutricionalmente completas que garantam o desempenho produtivo e a sanidade animal, pois os peixes em comparação com outros animais exigem uma maior quantidade de proteína dietética (MARENGONI et al., 2013; ANDRADE et al., 2015). No entanto uma parte da ração consumida pelo peixe é absorvida no intestino e outra, mineralizada em processos metabólicos (MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

Os cuidados na alimentação devem compreender desde as fases reprodutivas e de berçário até as fases finais de cultivo na engorda, tendo em vista que, os equívocos ocorrem no início do cultivo pois muitos produtores utilizam rações com níveis de proteína muito acima das exigências nutricionais estabelecidas para pós-larvas e alevinos de tilápia (KUBITZA, 2006a). Portanto, é recomendável que as rações sejam mais concentradas em proteínas (36 a 40%), energia digestível (3.200 a 3600 kcal/kg) e recebam um enriquecimento mineral e vitamínico ainda maior (KUBITZA & KUBITZA, 2000), pois o fósforo, por exemplo, é considerado nutriente essencial para a formação da estrutura óssea e para o metabolismo corporal, portanto, a sua presença em concentração adequada nas rações é imprescindível para atender à exigência nutricional do animal (DIETERICH et al., 2012). As rações comerciais para tilápias, por exemplo, possuem de 25 a 40% de proteína bruta, o que implica em elevada participação de ingredientes proteicos, que correspondem a mais de 50% de seu custo (FURUYA et al., 2001b). De acordo com estes autores, a negligência com estes detalhes pode resultar em grandes perdas econômicas devido ao reduzido crescimento e conversão alimentar, aos distúrbios nutricionais e a uma maior susceptibilidade dos peixes às doenças.

É notório que os alimentos de origem animal apresentam alto teor proteico e balanço em aminoácidos, ácidos graxos, minerais e vitaminas, então da mesma forma para outros animais domésticos, as rações para peixes também foram formuladas com base na proteína bruta por muitos anos (PONTES et al., 2010) e hoje se trata da principal fonte alimentar em cultivos para peixes, principalmente no fornecimento proteico ao animal.

A proteína da dieta é prioritariamente fornecida com o objetivo de ser utilizada para a síntese proteica nos tecidos, sendo que a eficiência da sua utilização está relacionada com a quantidade e também qualidade da proteína ingerida, e a expansão da piscicultura tem levado a numerosos estudos no sentido de avaliar fontes alternativas de proteína na alimentação de peixes (FURUYA et al., 1998). Kubitza (p.43, 1999a) relata que um adequado manejo alimentar propicia:

- O melhor aproveitamento do potencial de crescimento dos peixes.
- Acelera o crescimento dos peixes, aumentando o número de safras anuais.
- Melhora a eficiência alimentar, minimizando os custos de produção.
- Reduz o impacto poluente dos efluentes da piscicultura intensiva, contribuindo para o aumento da produtividade por área de produção.
- Confere adequada saúde e maior tolerância às doenças e parasitoses.
- Melhora a tolerância dos peixes ao manuseio e transporte vivo.
- Aumenta o desempenho reprodutivo das matrizes e a qualidade das pós-larvas e alevinos.
- E, conseqüentemente, possibilita otimizar a produção e maximizar as receitas da piscicultura.

É de fundamental importância o fornecimento de ração com adequado teor de proteína digestível e balanço aminoácido, pois a porção proteica que não for digerida e absorvida será excretada (HAYASHI et al., 2002). Atualmente pesquisas tem investigado quanto a inclusão de dietas naturais em cultivos intensivos, no intuito de viabilizar, a produção quanto aos aspectos nutricionais, econômicos e ambientais. Muitas formas e composições de dietas para peixes têm sido elaboradas, mas são poucos os estudos que correlacionam os mecanismos de digestão e as exigências das diferentes espécies a seus comportamentos alimentares e sociais, havendo ainda a busca pelo manejo ideal e pela determinação do alimento melhor e economicamente mais viável (PEREIRA-DA-SILVA et al., 2004).

2.3. CONCEITOS E APLICAÇÃO DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS EM PESQUISAS SOBRE ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Nas últimas décadas é crescente o aumento de pesquisadores em áreas biológicas e ecológicas utilizando técnicas de isótopos estáveis, por apresentar resultado mais rápido e preciso para analisar os dados de seus trabalhos. Esta e outras técnicas de aporte bioquímico são bastante utilizadas no intuito de investigar diversas questões científicas, sobre os aspectos ambientais de organismos e de seus ecossistemas, principalmente sobre seus hábitos alimentares e a disponibilidade de fontes nutricionais nas diferentes fases da vida, seja em seu ambiente natural ou em cativeiro (PETERSON & FRY, 1987; HAMILTON et al., 1992; GANNES et al., 1997; FANTLE et al., 1999; CONCEIÇÃO et al., 2007; WAGNER et al., 2009; WOLF et al., 2009).

Essa alimentação assimilada contribui para o crescimento dos consumidores através de vias anabólicas ou se perde através da respiração ou excreção. O registro isotópico tecidual desses indivíduos possibilita referenciar sobre o histórico alimentar, e alguns autores propõem que presumivelmente as razões de isótopos de peixes podem ser similares a dos alimentos que mais assimilam (DENIRO & EPSTEIN, 1981; LOCHMANN & PERSCHBACHER, 2000; MCCUTCHAN et al., 2003; FRY, 2006; CAUT et al., 2009). Essa informação é essencial para interpretação adequada das assinaturas isotópicas, que sejam consideradas as variações no ambiente de cultivo e nas ações de manejo, para compreender adequadamente como a composição química desses elementos se comportam para os animais e suas dietas.

Para utilizar essa ferramenta de pesquisa, compreende-se que os elementos químicos podem assumir múltiplas formas conforme o número de prótons, elétrons e nêutrons que possuem. Pois isótopos são formas de um mesmo elemento e que diferem no número de nêutrons no núcleo (PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013). Nessa perspectiva vale evidenciar a definição proposta por Bisi *et al.*, (2012) de que os isótopos são átomos de um determinado elemento que possuem o mesmo número de prótons, mas diferem quanto ao número de massa (soma de prótons e nêutrons no núcleo), devido às diferenças no número de nêutrons contidos no núcleo do átomo, esses isótopos são estáveis quando a razão próton/nêutron está, aproximadamente, entre 1 e 1,5.

Nos campos da ecologia e nutrição, as técnicas isotópicas têm proporcionado uma melhor compreensão de como os organismos incorporam os elementos que consomem (GAMBOA-DELGADO et al., 2013). Esta análise vem sendo empregada em diversas linhas de pesquisa e com diferentes grupos taxonômicos (PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013). Este método possibilita a realização de experimentos envolvendo grande número de animais, permitindo realizar pesquisas com diferentes elementos, dietas e fontes alimentares, em relação aos organismos pesquisados (MARTINS, 2010).

Entre os diversos elementos que podem ser utilizados, considerando abundância desses elementos nos ecossistemas aquáticos e as pesquisas sobre ecologia alimentar, os isótopos estáveis mais usados são: carbono, nitrogênio, enxofre, oxigênio e hidrogênio, podem ser analisados juntos ou separadamente, dependendo do objetivo do estudo (PEREIRA & BENEDITO, 2007), sendo que as razões dos isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ são os mais frequentemente utilizados (PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013).

O carbono se constitui na base da vida terrestre, sendo também um dos elementos mais abundantes do universo (ZERFASS et al., 2011), os isótopos de carbono são mais apropriados como marcadores, uma vez que fracionam muito pouco nas cadeias alimentares, ao contrário

dos isótopos de nitrogênio que, pelas suas características, são mais utilizados em processos ecológicos (TIUNOV, 2007). O nitrogênio por sua vez é um dos elementos mais importantes no metabolismo dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998) e a razão isotópica de nitrogênio é comumente utilizada para estimar as posições tróficas (CAUT et al., 2009), pois um contínuo mensuramento da posição trófica de um organismo pode ser determinado pela relação entre o valor do enriquecimento dos isótopos estáveis de nitrogênio da presa ou dieta e do predador (MINAGAWA & WADA, 1984; FRY et al., 1999; VANDER ZANDEN et al., 1999).

A composição isotópica de qualquer substância é dada em termos da variação da razão entre diferentes isótopos em comparação com a razão isotópica de uma substância de composição conhecida, sendo apresentada na forma da notação δ (delta) (ZERFASS et al., 2011). As razões isotópicas do carbono e do nitrogênio ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) do consumidor apresentam um enriquecimento trófico comparado à composição isotópica da dieta (BISI et al., 2012). Michener & Lajtha (2007) ainda destacam que a análise isotópica realmente se tornou quase uma ferramenta padrão para fisiologistas, ecólogos e todos os cientistas que estudam elementos e a ciclagem de materiais no meio ambiente. Essa ferramenta permitiu vários pesquisadores, detectar efeitos ecológicos sutis e/ou contra intuitivo causados por espécies de peixes não-nativos em diferentes escalas espaciais, devido à sua capacidade de integrar os processos ecológicos por um período relativamente longo de tempo (CUCHEROUSSET et al., 2012).

Recentemente pesquisas têm sido desenvolvidas, com espécies de peixes continentais dulcícolas, tanto em seu habitat natural como em cultivos e produções em cativeiro, como podemos destacar os trabalhos de Bin et al., (2013), os quais utilizando isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, mostraram que a carpa prateada, co-cultivadas em tanques de carpa capim, podem consumir alimentos e resíduos excretados de peixes como fontes alternativas de alimentação. Muitas pesquisas também foram realizadas com espécies de peixes como o tambaqui, e o pacu (ABIMORAD & CASTELLANI, 2011). Da mesma forma muitos trabalhos pesquisando espécimes de tilápia tem utilizado a técnica de isótopos estáveis (SCHROEDER, 1983; ZUANON et al., 2007; FOCKEN, 2008; KELLY & MARTINEZ DEL RIO, 2010). Como por exemplo utilizando os isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, Gondwe et al., (2012) avaliaram as dietas consumidas em cultivo em tanques-rede para as espécies de *Oreochromis shiranus* e *Oreochromis karongae*, e Rao et al., (2015) pesquisaram a ecologia trófica de indivíduos selvagens de tilápia do Nilo.

Outros trabalhos com outras espécies de pescado também foram utilizados com a técnica de isótopos estáveis como Ducatti et al., (2002) que realizaram trabalhos analisando $\delta^{13}\text{C}$ em mamíferos e aves; Dubois et al., (2007) que desenvolveram sua pesquisa utilizando isótopos naturais de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, analisando o efeito da ostreicultura sobre comunidades de *Lanice conchilega*; e Gamboa-Delgado & Le Vay (2009a, 2009b, 2011) que realizaram pesquisas com a espécie de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* utilizando isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ como ferramenta de pesquisa, assim como outros grupos taxonômicos como ostrácodes (RODRIGUES & FAUTH, 2013).

O aumento na utilização desta técnica, ocorre pelas várias vantagens de análise em relação as abordagens convencionais, em contraste com a análise de conteúdo intestinal, com observações diretas de conteúdo, a análise de isótopos estáveis realizada em tecidos animais, possibilita determinar os componentes dietéticos assimilados com melhor precisão (KUANYI et al., 2013). Um aspecto importante a ser considerado com relação a análises isotópicas de tecidos animais, é o quanto um determinado tecido integra e reflete isotopicamente a dieta do animal, como os músculos que são bastante utilizados em pesquisas que envolvem isótopos associados as dietas dos animais, especialmente em animais de grande porte, por sua facilidade em utilizar e integrar o sinal isotópico da dieta (MARTINELLI et al., 2009).

Philippsen & Benedito (2013) realizaram uma análise cenciométrica e concluíram que dentre os tecidos analisados, o músculo foi o mais utilizado (40,2%), seguido de fígado (14,6%) e de corpo inteiro (9,8%), tais autores evidenciam que o músculo vem sendo aceito como o tecido mais adequado para a análise com isótopos estáveis, uma vez que contém pequenas quantidades de lipídios e carbonatos inorgânicos e por apresentar menor variação em relação outros órgãos como o fígado, coração e nadadeira, estes outros órgãos denotam interesse de uso de acordo com o tipo de pesquisa, pois a utilização de estruturas como nadadeiras e escamas, se torna atraente por não ser necessário sacrificar o indivíduo, e o corpo inteiro tem sido utilizado quando a espécie tem tamanho corporal muito reduzido dificultando a coleta de amostras e tecidos específicos individualmente, no entanto, a variabilidade dos valores isotópicos é bastante elevada quando se utiliza toda a estrutura corporal dos indivíduos analisados (FOCKEN & BECKER, 1998; PINNEGAR & POLUNIN 1999; SUZUKI et al. 2005; GERMAN & MILES 2010; PHILIPPSSEN & BENEDITO, 2013).

As composições isotópicas das fontes de alimentos podem variar continuamente durante o ano, sobretudo em ecossistemas aquáticos. Os animais podem apresentar, nos seus tecidos celulares, composições isotópicas diferentes das características dos alimentos que consomem, talvez devido a três fatores: 1) memória isotópica; 2) fracionamento metabólico,

apresentado como a diferença na composição isotópica entre reagentes e produtos das reações bioquímicas; e 3) direcionamento isotópico (LIMA, 2010). A composição isotópica das fontes alimentares varia sazonalmente, podendo ocorrer o problema chamado de memória isotópica (MARTINELLI et al., 2009). A questão da memória isotópica pode ser compreendida com o que é proposto de acordo com Fry et al., (1999) que os diagnósticos da composição isotópica de um animal refletem em seu histórico alimentar (CARVALHO, 2008). Dietas isotopicamente distintas podem ser usadas para medir taxas de *turnover* nos tecidos corporais do animal. Após a troca de dieta, a mudança na composição isotópica do tecido depende de quão rápido esses constituintes são assimilados (CALDARA et al., 2010).

De acordo com Ducatti (2007) cada tecido pode apresentar memória isotópica própria em função do conteúdo isotópico da alimentação e da taxa de renovação bioquímica, o turnover isotópico se trata de uma renovação contínua dos elementos químicos e, de seus isótopos que compõem o tecido corporal ou o organismo como um todo, que pode ocorrer por meio de renovação tecidual resultante do processo de síntese e degradação em tecidos adultos e/ou pelo próprio crescimento nos tecidos em formação (diluição isotópica).

Zuanon et al., (2007), avaliando o turnover do carbono muscular de tilápias do Nilo em crescimento, verificaram que o modelo matemático proposto por Ducatti et al., (2002) também se adequava para animais em crescimento e concluíram que, neste caso, o acréscimo de massa tecidual é o principal fator na velocidade de diluição isotópica do carbono tecidual (turnover isotópico) em relação ao turnover metabólico, além disso, estes autores sugerem que uma maneira para avaliar a atividade metabólica tecidual pode ser por comparação dos valores de meia-vida ($T = \ln 2/k$) do carbono entre diferentes tecidos da mesma espécie ou o mesmo tecido entre diferentes espécies. Como pode ser evidenciado na pesquisa com juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*, Fiod et al., (2010) concluíram que a composição isotópica do tecido muscular variou em função da frequência alimentar; e os peixes alimentados 2 e 3 vezes ao dia apresentaram uma composição mais próxima a composição do novo alimento, evidenciado pelo maior crescimento dos animais nestes tratamentos.

E da mesma forma que métodos baseados no fracionamento e direcionamento dos isótopos possibilitam determinar a contribuição de uma fonte dietética artificial, como a ração por exemplo, esse método também permite obter medições reais da produção primária bruta em ecossistemas aquáticos, em comparação aos métodos clássicos, que não permitem tais medições (CARVALHO, 2013) como para dietas naturais como algas perifíticas e seston. Neste caso, o que deve ser considerado relevante é o aumento de pesquisas utilizando os isótopos estáveis na análise das características alimentares de organismos aquáticos, em

conjunto com métodos tradicionais de pesquisa, explorado não apenas em pesquisas de ecologia trófica, mas estando direcionada também a pesquisa sobre hábito alimentar de espécies cultivadas. Percebe-se então a importância da aplicabilidade desta técnica no diagnóstico das principais fontes alimentares que constituem a alimentação das principais espécies de organismos aquáticos, comumente exploradas em cultivos, como a tilápia do Nilo, cultivada no semiárido potiguar.

Análises das abundâncias naturais de isótopos estáveis de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre têm aplicações difundidas para as ciências naturais (GRIFFITHS, 1991). O $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ são os isótopos estáveis mais frequentemente utilizados em estudos de ecologia trófica (PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013). A utilização das razões isotópicas em estudos ambientais baseia-se na existência de diferenças na composição isotópica dos compostos que participam do processo em estudo, sensíveis o suficiente para serem detectados pelo espectrômetro de massa (PEREIRA & BENEDITO, 2007).

Dois isótopos estáveis de carbono ocorrem na natureza, o ^{12}C e o ^{13}C . Estes isótopos são fracionados por diversos processos naturais, incluindo a fotossíntese e as reações de troca de isótopos entre compostos de carbono (ZERFASS et al., 2011). De acordo com Fry (2008) os estudos de abundância natural geralmente ajudam a distinguir os níveis tróficos e as fontes. Pois as assinaturas de abundância natural de isótopos podem ser usadas para encontrar padrões e mecanismos no nível de um único organismo, bem como para traçar teias alimentares, entender paleodietas e a ciclagem de nutrientes em todo o ecossistema, em ambos os sistemas terrestres e aquáticos (LAJTHA & MICHENER 1994; MICHENER E LAJTHA, 2007).

Os isótopos são fracionados nos tecidos animais em função de sua atividade metabólica, e uma determinada espécie que se alimenta com dietas distintas apresentará fracionamentos e/ou taxa discriminante ($\Delta_{\text{animal-dieta}}$) relativo ao alimento consumido (DENIRO & EPSTEIN, 1978; FRY, 2006; MARTINELLI et al., 2009). Pois as contribuições das dietas não são transmitidas de forma direta e simples, mas demanda de um tempo específico e apresenta certa complexidade, e requer o conhecimento específico dos fatores discriminantes para cada dieta e de uma análise mais criteriosa para uma aplicação adequada em modelos de mistura.

O uso das variações naturais de isótopos estáveis como marcadores biológicos é limitada pela necessidade de uma análise precisa da proporção de isótopos em relação a um padrão, em conjunto com o conhecimento sobre as transformações química, física e metabólicas que afetam esta proporção (GRIFFITHS, 1991). Muitas reações alteram a

proporção de isótopos pesados a leves, ou "fracionam" os isótopos estáveis, mas o grau de fracionamento é normalmente bastante pequeno. Mesmo alterações muito grandes de 100 ‰ (10%), entre os reagentes e produtos, envolvem apenas mudanças instantânea e absoluta de 0,04%, 0,11% e 0,44% para os isótopos pesados de nitrogênio, carbono, e enxofre, por exemplo (PETERSON & FRY, 1987).

Nos trabalhos que analisam a composição isotópica entre um item alimentar e seu alimento consumido, alguns autores mencionam que o fator de discriminação vem sendo chamado de fracionamento, fator de fracionamento ou enriquecimento trófico, no entanto estes afirmam que o termo de "fracionamento" está na realidade relacionado aos efeitos cinéticos e de equilíbrio, que causam as diferenças e variações entre os reagentes e produtos nas reações químicas, como por exemplo entre uma dieta e organismo analisado. Estes autores explicam que pela ambiguidade deste termo, o aspecto de "enriquecimento" tem provocado um sentido um tanto confuso, devido ao uso de expressões como "um tecido pode ter um valor isotópico mais positivo (enriquecido) ou negativo (deplecionado) do que sua dieta (MARTÍNEZ DEL RIO et al., 2009; PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013).

Tais autores sugerem que seja adotado o termo fator de discriminação apenas quando o foco do trabalho envolve determinar a diferença na razão isotópica entre determinado tecido do consumidor e da sua dieta: $\Delta X = \delta_{\text{tecido}} - \delta_{\text{dieta}}$, onde Δ é o fator discriminante calculado para elementos como C e N ($\Delta^{13}\text{C}$ e $\Delta^{15}\text{N}$) por exemplo, e δ o valor isotópico utilizado, constituído pelo isótopo estável mais pesado, e sugerem ainda que "fracionamento trófico", deve ser utilizado quando for analisado o corpo inteiro de um indivíduo em relação as suas presas, dietas ou fontes alimentares: $\Delta_{\text{trófico}} = \delta_{\text{corpinteiro}} - \delta_{\text{dieta}}$, eles explicam que essa diferenciação é importante e essencial para padronizar cada terminologia adequadamente e proporcionar a aplicação correta em estudos e pesquisas que utilizam a ferramenta de isótopos estáveis em estudos que envolvem avaliação em pesquisas sobre as características e comportamento alimentar. Pois o fracionamento trófico é definido como a diferença entre o valor isotópico dos tecidos do animal e o de sua dieta (DENIRO & EPSTEIN, 1978).

A discriminação isotópica máxima representado por um valor D é uma unidade importante usada na modelagem de distribuições isotópicas. Esta discriminação máxima frequentemente não é realizada, e o grau de fracionamento observado depende fortemente de condições reacionais (PETERSON & FRY, 1987). Bond & Diamond (2011) explicam que, para compreender adequadamente a aplicação das taxas discriminantes, que os pesquisadores façam uso dos indivíduos mantidos em cativeiro e centros de pesquisa para realizar estudos sobre as taxas de discriminação de isótopos em suas espécies de interesse que incorporam os

conjuntos de dados complementares de forrageio, e que aqueles que desejam implementar esses modelos consultem ou colaborem com pesquisadores familiarizados com a análise de isótopos estáveis, na construção do modelo e interpretação dos resultados. Como por exemplo os tecidos que diferem muito em valores isotópicos de ^{15}N , e, portanto, em $\Delta^{15}\text{N}_{\text{tecido-dieta}}$. Ou ainda como alguns autores observaram, os valores isotópicos de ^{15}N variam entre aminoácidos de produtores primários, e esta variação seria amplificada pelos processos metabólicos dos consumidores (MCCLELLAND & MONTROYA, 2002; POPP et al., 2007).

Compreender não somente a aplicação, mas também conhecer os fatores que causam essa variabilidade, que atualmente acredita-se que a temperatura, o tipo de dieta, o equilíbrio entre a dieta e o tecido do consumidor, e a idade dos indivíduos amostrados, o estresse nutricional, qualidade da dieta, o tamanho do corpo, mecanismos excretores, taxa de alimentação, composição lipídica e aminoácidos são as fontes de variação mais importantes e que devem ser controladas para ser possível estimar o fator discriminante de forma mais confiável (HOBSON & WELCH 1995; PONSARD & AVERBUCH, 1999; OVERMAN & PARRISH, 2001; PINNEGAR et al., 2001; VANDERKLIFT & PONSARD, 2003; MILL et al., 2007; POST et al., 2007; PHILIPPSEN & BENEDITO, 2013). Esses fatores e suas variações devem ser considerados quando a taxa discriminante for utilizada para estimar as variações nas assinaturas isotópicas, principalmente na aplicação destes dados em modelos de mistura.

2.4. MODELOS DE MISTURA E TESTES DE DIAGNÓSTICO: APLICABILIDADE EM PESQUISAS SOBRE NUTRIÇÃO ANIMAL

A utilização de modelos de mistura com base na modelagem bayesiana tem sido comumente utilizada por vários pesquisadores tanto em pesquisas que envolvem ecologia alimentar no ambiente natural, quanto em pesquisas sobre o desempenho e relação de diferentes dietas e fontes alimentares disponíveis e fornecidas em cultivos experimentais, no intuito de avaliar o desempenho do indivíduo analisado (PHILLIPS & GREGG, 2001; PHILLIPS, 2001; PHILLIPS & KOCH, 2002; KOCH & PHILLIPS, 2002; ROBBINS et al., 2002; PHILLIPS & ELDRIDGE, 2006; HOPKINS & FERGUSON, 2012; PHILLIPS et al., 2012).

Vários programas foram desenvolvidos para utilização de modelos de mistura na compreensão entre o consumidor e suas dietas, como Isoerror (PHILLIPS, 2001; GREY et al., 2004), Isoconc (PHILLIPS & KOCH, 2002; KOCH & PHILLIPS, 2002), Isosource (PHILLIPS & GREGG, 2003; PHILLIPS et al., 2005; TAYLOR & SOUCEK, 2010; CAUT

et al., 2009; SEMMENS et al., 2013), MixSIR (MOORE & SEMMENS, 2008; SEMMENS et al., 2013), SIAR (JACKSON et al., 2011; CHIARADIA et al., 2014; SEMMENS et al., 2013), MixSIAR (STOCK & SEMMENS, 2013) entre outros.

De acordo com Phillips (2001), no entanto, as equações que têm sido utilizadas para quantificar esta relação entre presa (ou dieta) e consumidor em alguns artigos não dimensionam adequadamente essas proporções. Os programas Isoerror e Isoconc, ambos possibilitam trabalhar com modelos direcionados para dois isótopos, com duas ou três fontes alimentares, no entanto não proporcionam testes de sensibilidade ou diagnóstico. Em seu trabalho utilizando o programa Isoerror, Phillips & Gregg (2001) explicam que a utilidade dos isótopos estáveis para determinar a importância relativa de várias fontes, é igualmente importante para compreender as proporções das fontes que estão menos divergentes na composição isotópica. Eles explicam ainda em relação aos testes de sensibilidade e diagnóstico que, as análises de sensibilidade indicam que a incerteza das estimativas das proporções é afetada mais intensamente pela diferença na assinatura isotópica entre as fontes, seguidas das fontes e pela variabilidade populacional das assinaturas isotópicas de mistura, e pelo tamanho da amostra.

O Isoconc utilizado no trabalho de Phillips & Koch (2002) propicia uma interpretação geométrica de distância dos vértices com base em um triângulo de mistura a partir dos dados do consumidor e de outro triângulo formado a partir das informações das fontes que alimentam o modelo, este desenvolve uma medida de proporções dietéticas que depende de uma análise visual, o que basicamente se trataria do triângulo de mistura inserido no triângulo das fontes, significaria que os dados aplicados de fato tem relação com o consumidor, ou seja, que houve assimilação das dietas analisadas com uma explicação adequada do modelo. Em seu trabalho tais autores afirmam que o modelo ponderado pela concentração (Isoconc), conseguiu corresponder com êxito as proporções conhecidas de fontes de alimento em um estudo de alimentação cativeiro em que uma fonte tinha marcadamente diferentes concentrações de N e C, enquanto o modelo de mistura padrão não conseguiu determinar essas contribuições.

Robbins et al., (2002) criticam o trabalho realizado de Phillips & Koch (2002) sobre o uso do modelo de mistura linear, pelo fato de que o uso de um modelo dependente da concentração deve ser um processo de várias etapas, como o aumento do número de suposições e fatores de contribuições são necessários para tais modelos, em comparação com modelos independentes de concentração, que aumentam a probabilidade de um erro e diminui a precisão geral das suas estimativas dietéticas. Nesta perspectiva, Robbins et al., (2002)

explicam que Phillips e Koch (2002) usam incorretamente as razões de C:N dos alimentos ao invés da dieta assimilada e, desse modo, incorretamente sugerem em suas conclusões que seria necessário apenas "medir e reportar concentrações elementares para cada fonte" e "utilizar um modelo de mistura ponderado pela concentração - se as concentrações diferirem substancialmente entre as fontes. E estes autores explicam ainda que, os exemplos apresentados por Phillips e Koch (2002), melhor ilustram o desenvolvimento do modelo e uso deste em um completo vácuo nutricional, fisiológico e ecológico de conhecimentos e que está destinado a produções e resultados errôneos.

Posteriormente Koch & Phillips (2002) contestaram a crítica de Robbins et al., (2002), declarando que os mesmos sugerem que semelhantes proporções de C:N evitaria a necessidade de um o modelo ponderado pela concentração, com o qual Koch & Phillips (2002) claramente discordam, principalmente pelo fato destes autores, Koch & Phillips (2002), defenderem que muito pode ser compreendido sobre ecologia e fisiologia, explorando modelos ponderados pela concentração, como o modelo proposto por tais autores, por exemplo, para separar os efeitos das diferenças de concentração. Eles ainda evidenciam que a crítica feita por Robbins et al., (2002) acerca da precisão ser necessariamente comprometida pelo aumento da complexidade do modelo, não faz sentido, pois um modelo simples que faz suposições inválidas é tão susceptível de produzir erros como um modelo mais complexo que faz suposições válidas.

Outro programa desenvolvido posteriormente se trata do Isosource, que foi bastante utilizado em vários trabalhos que envolvem a contribuição alimentar de diferentes fontes e dietas. Benstead et al., (2006) ao realizarem testes sobre contribuições de fontes alimentares em região de mangue utilizando o IsoSource, definem o modelo como um procedimento estatístico que calcula as contribuições de origem em intervalos. Eles concluem em sua pesquisa quanto a eficiência do programa e modelo que, a abordagem do IsoSource é uma adição extremamente útil para as técnicas estatísticas disponíveis para análises de dados isotópicos. Este modelo pode fornecer faixas estreitas de estimativas de contribuição das fontes sendo particularmente útil para demonstrar que uma fonte não é importante para uma teia alimentar. Estes autores ainda alertam que aplicado cautelosamente que o IsoSource representa um passo em direção a compreensão sobre as fontes de matéria orgânica que contribuem na manutenção das teias alimentares; e evidenciam que é necessário a realização de um trabalho mais detalhado no intuito de identificar a única solução dentro de intervalos de soluções viáveis.

Em sua pesquisa Newsome et al., (2010; 2012) discutem que o IsoSource produzido por Phillips & Gregg (2003), gera uma distribuição de proporções possíveis para uma maior frequência de “ $n + 1$ ” fontes, quando usando apenas sistemas de isótopos “ n ”. Tais autores também evidenciam que modelos bayesianos como MixSIR (MOORE & SEMMENS 2008) e SIAR (PARNELL et al., 2010) foram desenvolvidos com a capacidade construtiva do IsoSource e permitem que os usuários incluam informações sobre a variação isotópica em fontes potenciais e fatores tróficos de discriminação, bem como a entrada de informação prévia sobre recursos ou uso do habitat obtidos a partir de outros tipos de dados. O modelo MixSIAR permite a incorporação de estrutura populacional hierárquica e outras variáveis contínuas na estimativa de consumo de dietas (PHILLIPS et al., 2014).

Entre estes programas, os mais citados e recomendados pela literatura científica tem sido o MixSIR desenvolvido por Moore & Semmens (2008), o SIAR por Parnell et al., (2010) e a versão recente e combinada destes dois modelos chamado de MixSIAR, desenvolvido pela colaboração de STOCK & SEMMENS (2013) e demais colaboradores: Eric Ward, Andrew Parnell, Donald Phillips, Andrew Jackson, Jon Moore, Stuart Bearhop, e Richard Inger. Estes modelos implementam uma abordagem bayesiana para modelos de mistura com isótopos estáveis (BOND & DIAMOND, 2011).

No MixSIAR, o modelo de mistura aplicado utiliza o método Monte Carlo com base em simulações a posteriori via cadeias de Markov (MCMC). Sobre a utilização deste método MCMC, Newsome et al., (2010; 2012) explicam que estes Modelos de mistura bayesiano atuais empregam uma amostragem refazendo uma outra amostragem, ou como conhecemos uma abordagem Monte Carlo via cadeias de Markov, para determinar a probabilidade de fontes potenciais das contribuições para uma combinação ou mistura. Em geral, para cada fonte, uma contribuição proporcional vetorial aleatória é proposta. Na abordagem a posteriori, os modelos de mistura a partir do conjunto completo de fontes são combinados através de ambos os agrupamentos lógicos, considerando o fato de certos agrupamentos estabelecerem estimativas mais restritas e interpretáveis de contribuições proporcionais das fontes (WARD et al., 2011).

O modelo de simulação Monte Carlo utiliza as cadeias de Markov, estas cadeias são consideradas como processos estocásticos utilizados com a finalidade de modelar sistemas de diversas naturezas, e descrever o movimento probabilístico entre uma série de dados (ALBERT, 2007). Quando as cadeias são iniciadas em diferentes locais no vetor estado-espço, desenvolvendo por um tempo satisfatoriamente longo, a cadeia irá convergir para a sua distribuição de equilíbrio ou distribuição estacionária (GAMERMAN, 1996).

Uma das metodologias para determinar a ocorrência da convergência nas cadeias é visualizar o estado da cadeia ao longo das iterações, através da construção gráfica da densidade a posteriori, servindo para uma análise preliminar e informal dos resultados ou verificar a convergência de uma cadeia com base em propriedades estatísticas da cadeia de Markov, como os testes de convergência (GAMERMAN, 1996).

O MixSIAR exhibe alguns destes testes de diagnóstico: Geweke (1992), e Gelman-Rubin (1992). De acordo com Gamerman (1996), a convergência avaliada pelo método de Geweke (1992), realiza uma divisão das variáveis geradas por simulação, em duas séries, gerando duas médias, e se as médias apresentarem valores aproximados indica a ocorrência de convergência nas cadeias. Para o teste de Gelman-Rubin (GELMAN-RUBIN, 1992; GELMAN et al., 2014) o fator de redução de escala “R” pode ser usado como indicador de convergência. Gelman & Rubin (1992) e Gelman et al., (2014) sugerem aceitar que houve convergência para valores $1 \leq R \leq 1.1$.

Uma das questões discutidas acerca da utilização desses modelos, se trata da sensibilidade destes quanto as possíveis variações nas taxas discriminantes calculadas das presas e dietas (BOND & DIAMOND, 2011). Tais autores concluíram em sua pesquisa que, modelos de mistura de isótopos estatisticamente mais avançados são altamente sensíveis aos fatores de discriminação utilizados no modelo de construção. Inclusive amostras pequenas (de qualquer recurso alimentar ou consumidor) também podem afetar os resultados dos modelos de mistura, e podem conduzir a estimativa de menor precisão em relação às contribuições de origem (VASLET et al., 2012). Tais modelos assumem que um enriquecimento gradual ocorre no isótopo mais pesado (^{13}C ou ^{15}N) com cada nível trófico e que este enriquecimento é constante independentemente da biologia do animal e comportamento alimentar (MILL et al., 2007).

3. OBJETIVO GERAL

Analisar a importância relativa das diferentes dietas e fontes alimentares (seston, perifíton e ração) no crescimento de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em tanques-rede em reservatório do semiárido nordestino.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as principais fontes alimentares que contribuem nas diferentes fases de desenvolvimento da tilápia.

- Avaliar as influências das dietas alimentares (natural e artificial) sobre o crescimento dos indivíduos analisados nas diferentes fases de engorda no cultivo em tanques-rede.
- Evidenciar as variabilidades na composição isotópica dos isótopos de C e N presente nas amostras de tecidos e dietas analisadas, com base em sua abundância natural.
- Avaliar o desempenho dos isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N como marcadores bioquímicos, e verificar se a utilização dos modelos de mistura compõem uma ferramenta importante em estudos sobre alimentação para tilápia do Nilo.

4. HIPÓTESE

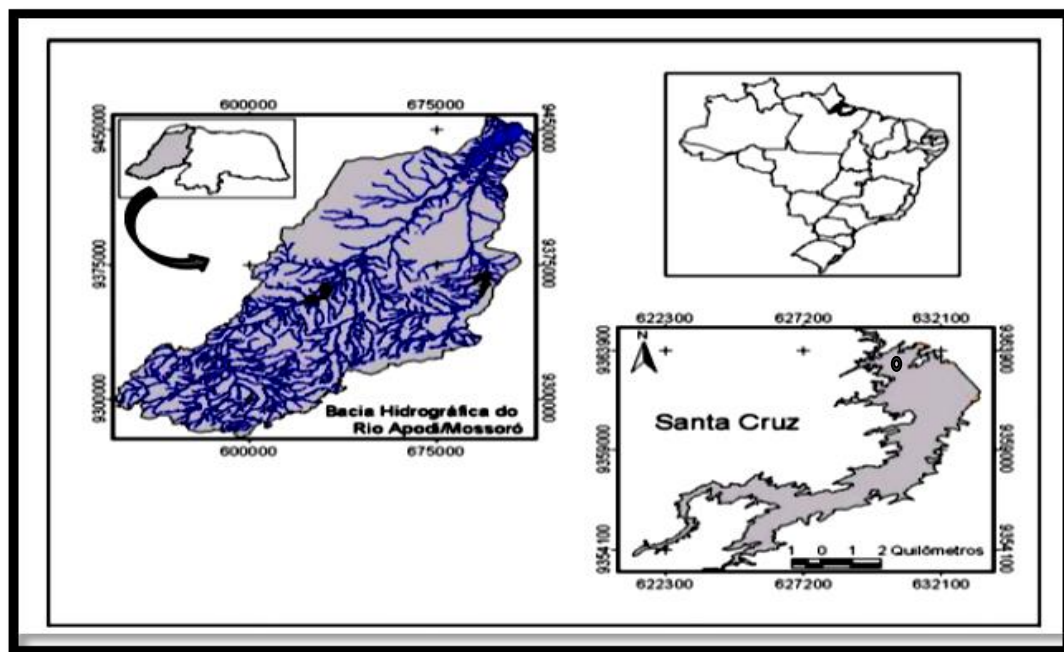
Neste estudo trabalhamos com a seguinte hipótese:

- As dietas naturais contribuem no crescimento da tilápia do Nilo (*O. niloticus*) cultivada em tanques-rede em reservatório do semiárido Nordeste.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o reservatório de Santa Cruz, localizado na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, oeste do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). Esta bacia possui uma área de 14.276 km², o que representa 26,8% da área estimada do Estado, e constitui a maior bacia hidrográfica genuinamente potiguar. Este reservatório é gerenciado pela Secretaria Estadual de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SEMARH, 2014).



Fonte: HENRY-SILVA et al., 2013.

Figura 1 – Área de amostragens no reservatório de Santa Cruz, na bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, Rio Grande do Norte - Brasil. A marcação circular indica a região de cultivo em tanques-rede na região montante a barragem.

5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As tilápias do Nilo (*O. niloticus*) utilizadas no experimento foram cultivadas em quatro tanques-rede no reservatório de Santa Cruz durante um período de três fases de engorda (Figura 2). Os tanques-rede apresentavam dimensões de 2 m largura x 2 m comprimento x 1,2 m de profundidade, com uma densidade de estocagem de 150 peixes/m³ (720 peixes/gaiola). Os mesmos estavam localizados próximos à margem e a montante da barragem (5°45'18,0'' S 37° 49' 11,4'' W).



Fonte: Arquivo do autor, 2014.

Figura 2 – Tanques-rede no reservatório de Santa Cruz, Apodi/RN.

As amostragens foram realizadas entre os meses de agosto a novembro 2013, referentes ao cultivo de tilápia em tanques-rede nos períodos com 30 dias, entre 60-90 dias e com os 120 dias de cultivo, no reservatório de Santa Cruz. Foram coletadas ao todo 15 amostras de cada tipo de dieta e dos indivíduos cultivados. Os peixes foram alimentados durante todo o cultivo além do alimento natural (Seston e perifíton) com ração comercial extrusada de 40 % de proteína bruta na fase inicial e de 32% proteína bruta nas duas fases posteriores durante o período de cultivo, ambos os tipos de ração eram compostos com farinha de peixe como fonte proteica (Tabela 1, anexada em apêndice). O arraçoamento era realizado três vezes ao dia. Para acompanhar o desenvolvimento dos espécimes observados durante os períodos de amostragem foram obtidos os registros de ganho de biomassa realizado pelos aquicultores locais.

As amostragens para as análises de isótopos foram realizadas da seguinte forma: (I) obtenção de amostras da musculatura dorsal de indivíduos de tilápia do Nilo com 30, 60-90 e 120 dias de cultivo, totalizando um N amostral de 15 indivíduos (estes indivíduos foram obtidos após as despescas feitas pelos piscicultores locais); (II) a obtenção de amostras de cada ração fornecida para cada fase de cultivo; (III) obtenção de amostras de perifíton obtidas através de raspagens nos tanques-rede e (IV) obtenção de amostras de seston na água do entorno das atividades de piscicultura. As amostras de água foram filtradas utilizando filtros de fibra de quartzo e em seguida estes filtros foram acondicionados em papel alumínio.

Após a conclusão das coletas, foi realizado o preparo das amostras para envio e análise dos isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. No laboratório de Limnologia (LIMNOAQUA), todas as amostras da musculatura dos espécimes coletados e de suas dietas foram secas em estufa, especificamente para as amostras musculares e amostras de rações foi utilizada temperatura entre 55-60°C por um período de 72 horas, para as amostras de perifíton foi utilizada temperatura entre 50-55°C por um período de 36 horas, e para os filtros contendo o material do seston foi utilizada uma temperatura entre 55-60 °C por um período de 48 horas.

As amostras de tecido muscular, ração e perifíton foram moídas em almofariz manual e pistilo até formar um pó fino. Nos filtros contendo o seston foram realizadas raspagens para remoção do material acumulado, na superfície do filtro. Posteriormente foram realizadas as pesagens em uma balança analítica, e as amostras foram armazenadas em capsulas de estanho para realização da análise da composição isotópica de carbono e nitrogênio. A pesagem foi realizada de acordo com os padrões internacionais e de acordo com as normas do laboratório onde as análises foram realizadas, sendo que as amostras pesaram em média 1.27 mg para as amostras de tecido muscular, 1.92 mg para as amostras de ração, 2.62 mg para as amostras de perifíton e 6,22 mg para o seston. É importante salientar que para cada amostra, foi realizada uma análise simultânea de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (Figuras 9, 10 e 11 anexadas em apêndice).

A análise de isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N , foram realizadas pelo laboratório UC Davis Stable Isotope Facility, Department of Plant Sciences, Universidade da Califórnia – EUA. As análises de tecido muscular, das rações comerciais e perifíton foram analisadas tanto para ^{13}C e ^{15}N utilizando uma mesma amostra para duas formas isotópicas, foram utilizadas um analisador elementar PDZ Europa ANCA-GSL, interligado a um espectrômetro de massa de isótopos 20-20 relação PDZ Europa (Sercon Ltd., Cheshire, Reino Unido).

As amostras de seston foram medidas com base no material obtido por meio de raspagens da superfície dos filtros de fibra de quartzo, analisadas para os isótopos de ^{13}C e ^{15}N usando um Micro Cube analisador elementar (Elementar Analyse systeme GmbH, Hanau, Alemanha), interligados a um espectrômetro de massa de isótopos 20-20 relação PDZ Europa (Sercon Ltda, Cheshire, Reino Unido).

O laboratório realizou as análises no âmbito de um padrão internacional, como é sugerido para as análises de $\delta^{13}\text{C}$ dos produtos analisados, o padrão utilizado foi o Peedee Belemnite (PDB), que se trata de um fóssil do molusco Belemnitella americana, com erro de análise de ordem de 0,2‰. Para o $\delta^{15}\text{N}$, o padrão internacional aceito e utilizado foi o do ar atmosférico (NO_2), o qual é considerado uma mistura isotópica homogênea na superfície terrestre (DUCATTI et al., 2007).

Em campo foi realizado o mensuramento das variáveis limnológicas com uso de multissensor, e ainda foram realizadas as coletas e armazenagem adequada das amostras de água dos pontos de amostragem (tanques-rede) no reservatório de Santa Cruz (Tabela 2) que indicaram a condutividade elétrica (Ce), o potencial hidrogeniônico (pH), sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T), transparência com o disco de Secchi (Transp.), turbidez e velocidade da corrente, e posteriormente foram realizadas as análises de água para caracterização das condições abióticas das unidades experimentais (tanques-rede). Foram determinados os valores de nitrito (N-NO₂), nitrato (N-NO₃) e amônia (NH₃) de acordo com a metodologia de Mackereth et al., (1978); nitrogênio total (N_{total}) seguindo o método proposto por Koroleff (1976); ortofosfato (P-PO₄³⁻) e fósforo total (P_{total}) de acordo como método proposto por Golterman et al., (1978) (Tabela 3).

Tabela 2 - Caracterização com valores de média ± desvio padrão das variáveis limnológicas durante os três períodos de amostragem observados.

Período	Ce (mS/cm)	pH	STD (ppm)	OD (mg/L)	OD (%)	T (°C)	Transp. (m)	Turbidez (NTU)	Corrente (m/s)
30 dias	0.338	8.15**	0.220	8.95**	-----	28.7	3	3**	0.1
60-90 dias	0.330	7.2**	0.215	10.2**	135	29.6	3	2**	0.1
120 dias	0.312	8.04**	0.203	9.4**	120	28.5	3.1	6**	0.1

Fonte: Arquivo da autora, 2013.

Tabela 3 – Caracterização com valores de análises de água durante os três períodos de amostragem observados.

Período	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Ortofosfato (ug/L)	N-Total (mg/L)	P-Total (mg/L)	Clorofila a (mg/L)
30 dias	0.077**	0.001**	0.259**	nd	0.300**	0.021**	5.874*
60-90 dias	0.119**	0.001**	0.261**	nd	0.493**	0.016**	5.607*
120 dias	0.016**	0.0003**	0.290**	0.006	0.557**	0.089*	1.869*

Fonte: Arquivo da Autora, 2013.

Legenda das tabelas 1 e 2: ND: Não detectado, *Concentrações que excederam o limite da legislação, **Concentrações que estiveram dentro do limite da legislação, Legislação: CONAMA Resol. n° 357/2005 referente a classe 2 de água doce. As demais concentrações de substancias, sem marcações, não têm limite de tolerância especificado pela legislação.

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados das razões de isótopos de C e N para as dietas e peixes, e as taxas de contribuições das dietas foram analisados utilizando o software R, versão 3.2.2. Para os dados que apresentaram distribuição normal e variância homogênea foi aplicada uma ANOVA one-way e teste a posteriori de Tukey. Nos casos em que os pressupostos da ANOVA não foram satisfeitos foi aplicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e teste a posteriori pareado de Wilcoxon. Os dados das razões isotópicas e das taxas de contribuição foram analisados separadamente por período, para verificar as possíveis variações, quanto aos valores nas razões isotópicas de C e N e na contribuição alimentar de cada dieta na alimentação dos peixes. Os valores das taxas de contribuição das dietas também foram analisados em conjunto para cada período, no intuito de verificar variações entre as dietas em cada fase de cultivo.

5.3.1 APLICAÇÃO DO MODELO DE MISTURA MixSIAR

Na presente pesquisa foi utilizado um modelo de mistura Bayesiano MixSIAR utilizando o software gratuito R versão 3.2.2, o modelo MixSIAR é disponibilizado gratuitamente no site: <http://conserver.iugo-cafe.org/user/brice.semmens/MixSIAR>. Em nossa pesquisa foi utilizado um modelo contínuo com os dados brutos das razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das amostras de peixes e suas dietas, e as taxas discriminantes calculadas.

As razões isotópicas para o C e N, foram fornecidas pelo laboratório da Ucdavis, que realizou as análises, estes valores foram apresentados em notação δ na unidade percentual per mil (‰), essas razões foram obtidas utilizando a fórmula (equação 1) com base na abundância natural das razões isotópicas de C e N (POST, 2002; LEAL et al., 2008; CARVALHO, 2008; PHILIPPSSEN E BENEDITO, 2013).

$$\delta(X) = \left[\left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right) - 1 \right] * 1000$$

Equação 1

Onde: X (‰) é o valor de abundância para ^{13}C ou de ^{15}N , e R_{sample} é a relação entre $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ ou $^{14}\text{N}:^{15}\text{N}$, e o R_{standard} se trata do padrão utilizado, para o carbono o Pee Dee Belemnite (PDB), e para o $\delta^{15}\text{N}$, que é o ar atmosférico (NO_2) (DUCATTI et al., 2007).

Posteriormente foi calculado o fator de discriminação isotópica (Equação 2) (MARTINELLI et al., 2009; PHILIPPSSEN & BENEDITO, 2013). Na presente pesquisa foi determinado o fator de discriminação para cada item alimentar:

$$\Delta X = \delta X_{\text{tecido}} - \delta X_{\text{dieta}}$$

Equação 2

Onde: ΔX é a taxa discriminante obtida entre tecido e dieta e δX se trata da razão isotópica de uma amostra a um elemento específico (C ou N).

E em seguida aplicado a simulação com o método Monte Carlo, que realiza um processo de simulação, com base nas cadeias de Markov, estabelecendo diferentes taxas e estimativas de contribuição relativa das dietas dos peixes, utilizando fórmulas de mistura como na equação 3, proposta por Moore & Semmens (2008), no modelo MixSIR, que integra o atual MixSIAR.

$$\delta_M = f_1 * (\delta_1 + \gamma_1) + f_2 * (\delta_2 + \gamma_2) \cdots f_n * (\delta_n + \gamma_n)$$

Equação 3

Onde: δ_M se trata da assinatura isotópica da mistura, f_1 é a contribuição proporcional da fonte de mistura, δ_1 é a assinatura isotópica da fonte e γ_1 o fracionamento isotópico específico da fonte (frequentemente fracionamento é assumido como sendo constante através das fontes, mas neste modelo foi utilizado um fracionamento específico para cada dieta).

A utilização de modelos de mistura via Cadeias de Markov tem a necessidade de analisar o equilíbrio estacionário, essa análise se trata da análise de convergência. O modelo utilizado na presente pesquisa utiliza os testes Gelman-Rubin (Gelman & Rubin, 1992; Gelman et al., 2014) e Geweke (Geweke, 1992). Para o teste de Gelman-Rubin foi utilizado o valor do R residual para avaliar a estacionariedade, e para o teste de Geweke foram considerados os valores das médias (primeira 0,1 e última 0,5 proporções) e ocorrendo similaridade nos seus valores, houve convergência.

6. RESULTADOS

Dentre as variáveis limnológicas observadas e concentrações analisadas na água do ambiente de cultivo, as concentrações de fósforo total (P_{Total}), na última fase de cultivo, e de clorofila-a em todo o período de cultivo, foram superiores ao estabelecido pela legislação Brasileira. Nesse ambiente, os espécimes de tilápia do Nilo analisados apresentaram biomassa média e desvio padrão de 7,3g ($\pm 4,6$) ao final de 30 dias; 36,1 ($\pm 5,6$) ao final de 90 dias e 158,7 ($\pm 69,9$) ao final de 120 dias.

Os resultados das razões dos isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ demonstraram que os valores de seston ($-25,22 \pm 1,02\text{‰}$) para os três períodos analisados apresentaram valores reduzidos em relação aos demais itens alimentares, seguido pelos valores das rações ($-19,58 \pm 1,20\text{‰}$), em relação a dieta natural de perifíton que apresentou maior valor isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ ($-16,57 \pm 0,71\text{‰}$),

caracterizando-se como a dieta mais enriquecida em concentração de ^{13}C durante todo o período estudado. Da mesma forma, também foram observados valores reduzidos na musculatura dos peixes ($-18,11 \pm 1,02 \text{ ‰}$). Quanto aos valores das razões de $\delta^{15}\text{N}$ em relação aos três períodos, foram observados valores superiores para a dieta com base no seston ($7,38 \pm 0,69\text{‰}$) em relação aos peixes ($6,82 \pm 0,49\text{‰}$) e, valores aproximados entre os valores de ração ($4,70 \pm 0,49\text{‰}$) e perifíton ($4,25 \pm 1,23\text{‰}$), que apresentaram menores concentrações em todo o período de amostragem.

Considerando as variações que as razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ estão suscetíveis, cada conjunto de dados dos valores isotópicos foi analisado estatisticamente considerando os três períodos. Em relação às dietas, apenas a ração apresentou diferenças significativas pelo teste de Tukey em seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ ($p < 0,05$). Já em relação ao perifíton e ao seston, não foram identificadas variações significativas nas razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nas três fases de cultivo analisadas. Para as amostras de peixe as concentrações de $\delta^{13}\text{C}$ não apresentaram diferenças significativas, mas utilizando uma análise pareada de wilcoxon, os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ indicaram diferenças significativas entre o primeiro período (30 dias) e o segundo período (60-90 dias) de cultivo. Já as concentrações de nitrogênio das três dietas assimiladas não apresentaram diferenças significativas (Tabela 4).

Foram observadas variações nas razões isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para os peixes analisados em relação a cada dieta. Esta característica foi verificada mediante as taxas discriminantes de $\Delta^{13}\text{C}$. Para a dieta com a base no seston, o tecido dos peixes apresentou enriquecimento isotópico em todo o período estudado, com uma redução na concentração isotópica no período final de cultivo. A dieta a base de ração apresentou um enriquecimento isotópico de ^{13}C nos períodos com 30 dias e ao período correspondente a 60-90 dias (que apresentou um valor negativo) com depleção no período final. Da mesma forma o perifíton apresentou depleção nos valores de carbono em todo o período de cultivo. Quanto aos valores da taxa discriminante para o nitrogênio ($\Delta^{15}\text{N}$), as amostras de tecido em relação a ração e perifíton apresentaram enriquecimento isotópico de ^{15}N para todo o período analisado, sendo que apenas a dieta do seston exibiu depleções durante todo o tempo de cultivo (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados dos valores médios $\pm$ desvio padrão das concentrações isotópicas de ^{13}C e ^{15}N para as amostras analisadas.

Amostras	Composição isotópica das Amostras					
Peixes	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	N _{am}
30 dias	-18,61 $\pm$ 1,32 ^a	6,37 $\pm$ 0,46 ^b	-----	-----	4	6
60-90 dias	-17,42 $\pm$ 0,46 ^a	7,03 $\pm$ 0,12 ^a	-----	-----	4	6
120 dias	-18,47 $\pm$ 0,08 ^a	7,30 $\pm$ 0,10 ^a	-----	-----	4	3
Seston	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	N _{am}
30 dias	-26,26 $\pm$ 0,80 ^a	6,66 $\pm$ 0,60 ^a	7,65 $\pm$ 0,70	-0,29 $\pm$ 0,42	-----	6
60-90 dias	-25,04 $\pm$ 0,28 ^a	7,71 $\pm$ 0,29 ^a	7,62 $\pm$ 0,67	-0,68 $\pm$ 0,21	-----	6
120 dias	-24,36 $\pm$ 0,90 ^a	7,77 $\pm$ 0,59 ^a	5,88 $\pm$ 0,70	-0,46 $\pm$ 0,46	-----	3
Ração	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	N _{am}
30 dias	-19,51 $\pm$ 1,26 ^{ab}	4,61 $\pm$ 0,37 ^a	0,90 $\pm$ 0,41	1,75 $\pm$ 0,55	7	6
60-90 dias	-20,34 $\pm$ 0,49 ^b	4,54 $\pm$ 0,55 ^a	2,92 $\pm$ 0,86	2,48 $\pm$ 0,63	10	6
120 dias	-18,22 $\pm$ 0,98 ^a	5,20 $\pm$ 0,33 ^a	-0,25 $\pm$ 0,90	2,10 $\pm$ 0,38	10	3
Perifíton	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	N _{am}
30 dias	-16,73 $\pm$ 1,02 ^a	3,54 $\pm$ 0,67 ^a	-1,88 $\pm$ 2,32	2,83 $\pm$ 0,60	10	6
60-90 dias	-16,37 $\pm$ 0,52 ^a	4,31 $\pm$ 1,47 ^a	-1,05 $\pm$ 0,73	2,71 $\pm$ 1,43	10	6
120 dias	-16,65 $\pm$ 0,24 ^a	5,56 $\pm$ 0,16 ^a	-1,83 $\pm$ 0,25	1,75 $\pm$ 0,11	10	3

Fonte: Arquivo da autora, 2015.

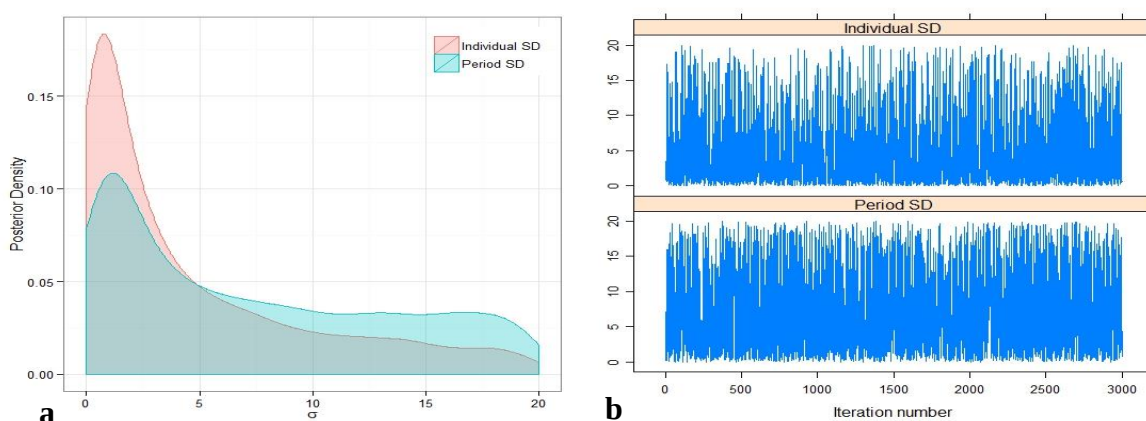
Legenda: Concentração da razão entre C e N nas amostras utilizadas (C/N), Número de amostras utilizadas para cada período de cultivo (N_{am}). Letras diferentes para cada dieta mostram diferenças significativas nas razões isotópicas entre as diferentes fases, para o carbono na ração pelo teste de Tukey (<0,05) e para o nitrogênio nas amostras teciduais de peixes pelo teste pareado de wilcoxon (<0,05).

Foi perceptível na análise e diagnóstico de Geweke incluída no modelo utilizado, que a maior parte da variação total na dieta dos peixes foi estimulada pelos períodos analisados ($\sigma=5,503$) e não somente por variações específicas a cada indivíduo ($\sigma = 2,426$) (Figura 3). Entre as dietas, o seston influenciou a maior parte da variação na dieta dos peixes (0,392-0,375), quando comparado aos valores obtidos pela ração (0,343-0,311) e perifíton (0,266-0,229) (Figura 4). Este teste de Geweke mostrou que as cadeias convergiram ao seu equilíbrio estacionário, especialmente para os valores de seston quando observamos os quantis (0,1 e 0,5) com os valores médios. O teste de convergência de Gelman-Rubin, também apresentou o fator de redução de escala (R) para as 60 variáveis analisadas com valores inferiores, pois geralmente o diagnóstico de Gelman-Rubin deve ser <1,05. Dentre as 60 variáveis analisadas: (0 > 1,01; 0 > 1,05; e 0 > 1,1) nenhuma apresentou sequer valor superior ao menor fator estimado de 1,01 para este teste.

A contribuição relativa das dietas disponíveis considerando todo o período de cultivo para a população total de organismos apresentou valores médios de acordo com o diagnóstico estatístico para o perifíton (26,6 %); seston (39,2 %), e para a ração (34,3 %), o que de fato

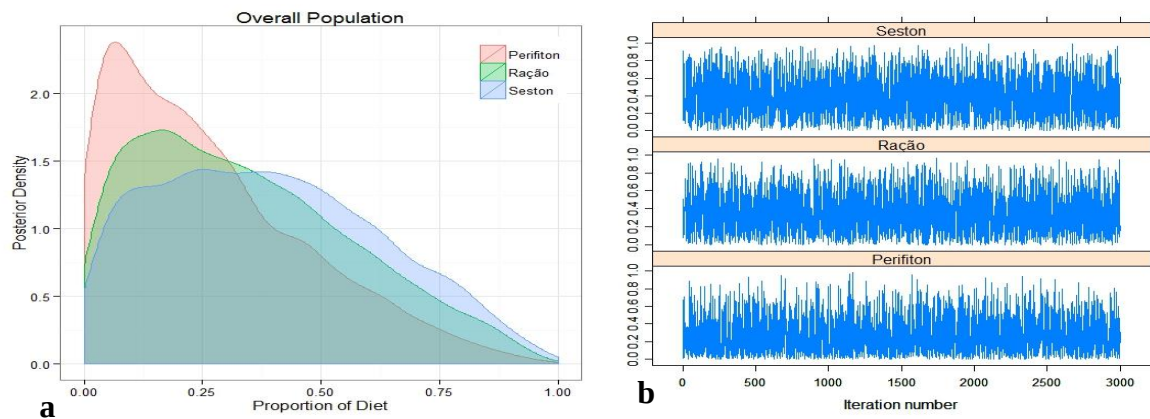
corresponde a uma assimilação com todas as dietas disponíveis, com maiores contribuições gerais por parte da fonte alimentar natural do seston e das rações comerciais (Figura 4).

O modelo também determinou correlações negativas entre as dietas de perifíton e ração (-0,42), perifíton e seston (-0,48), e entre seston e ração (-0,60) considerando as combinações entre proporções destas dietas para a população total de peixes. Indicando correlações mais próximas ao valor -1 entre as dietas de seston e ração, que apresentam uma melhor correlação, demonstrando que as variáveis analisadas se comportam em direções opostas, em relação a dieta de perifíton que apresentou reduzida contribuição na alimentação dos peixes. Esta característica também pode ser observada pelos gráficos de contornos circulares e histogramas apresentados considerando o total de indivíduos analisados, que indicam claramente que a melhor correlação ocorreu entre as duas dietas com maior taxa de contribuição, o seston e a ração (Figura 5).



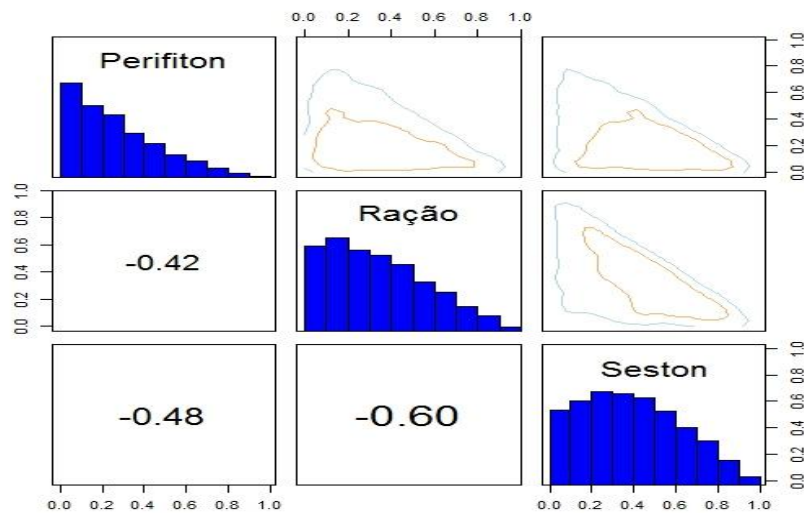
Fonte: Arquivo da autora, 2015.

Figura 3 – Variação na dieta para cada fator utilizado no modelo (a). Análise de convergência para cada fator utilizado (b).



Fonte: Arquivo da autora, 2015.

Figura 4 – Contribuição geral das dietas disponíveis considerando todo o período de cultivo para os organismos analisados (a). Análise de convergência para as três dietas analisadas (b).



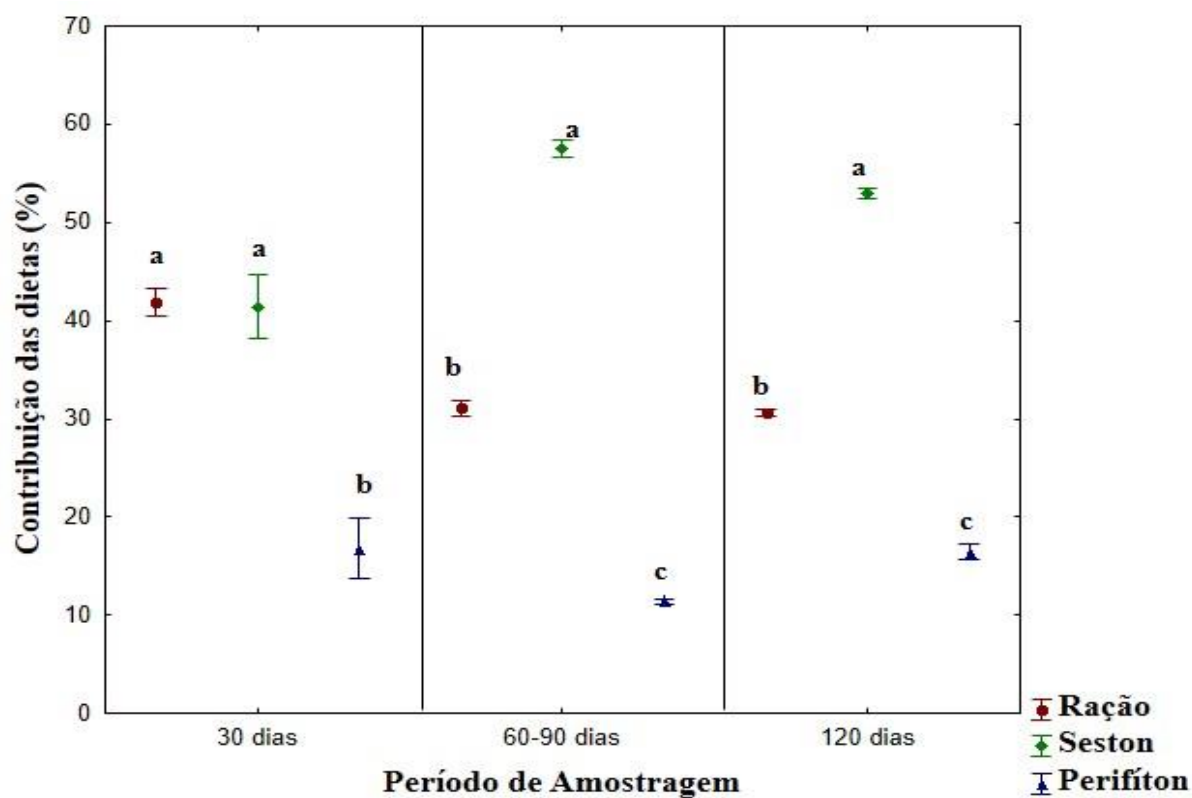
Fonte: Arquivo da autora, 2015.

Figura 5 – Relação entre as proporções gerais das dietas dos peixes. Os gráficos na diagonal superior demonstram contornos relativos às proporções, na diagonal central podem ser observados histogramas, e na diagonal inferior demonstram as correlações entre as diferentes fontes.

A dieta natural do seston e as rações ofertadas no decorrer do período de amostragem apresentaram contribuição relativa predominante em todo o período de cultivo. Nesta perspectiva é importante evidenciar que o valor percentual para a dieta natural do perifíton (15,3%) apresentou diferenças significativamente inferiores no primeiro período para o teste de Tukey ($p < 0,05$), em relação as dietas de seston (43,2%) e ração (41,5 %) com uma menor contribuição em relação as outras duas dietas. A dieta de perifíton apresentou um padrão nas taxas de contribuição, com valores significativamente inferiores em todas as fases de cultivo em relação às demais dietas (Figura 6).

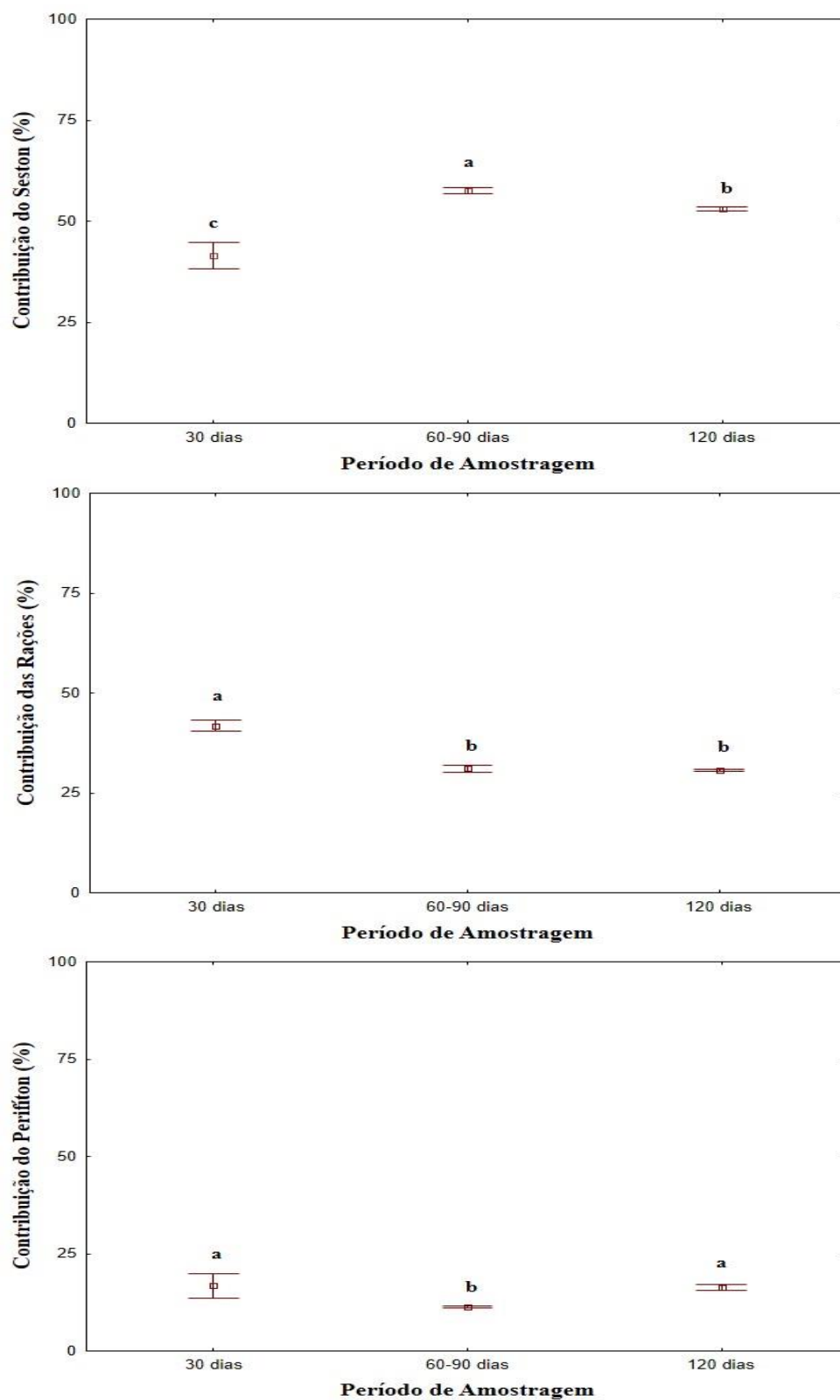
Todas as dietas apresentaram diferenças significativas nas outras duas fases de cultivo em suas taxas de contribuição para o teste de Tukey ($p < 0,05$). Especialmente as contribuições de seston entre 60-90 dias (58,6%) e com 120 dias de cultivo (51,8%), que apresentaram valores significativamente superiores em relação às amostras analisadas de ração no segundo período (30,6 %) e terceiro período (31,2%). As taxas de contribuição de ração apresentaram valores significativamente superiores em relação à dieta do perifíton entre 60-90 dias e 120 dias de cultivo (Figura 6).

Aplicando uma Anova com teste a posteriori de Tukey para cada dieta nas três fases de cultivo, pôde-se observar que todas as dietas apresentaram diferenças significativas em suas concentrações entre as fases de engorda. O seston apresenta contribuição significativamente inferior na primeira fase de cultivo e significativamente superior na segunda fase. Para a dieta com base em ração, esta apresenta maior contribuição na fase inicial e contribuição reduzida nas fases seguintes. A dieta com base no perifíton apresenta contribuições inferiores no segundo período de cultivo. Tais distinções indicam um padrão no aumento de contribuição do alimento natural (seston e perifíton) com redução da contribuição das rações nos dois períodos finais (Figura 7). Estas taxas de contribuição relativa das dietas para cada período também podem ser observadas nos gráficos gerados pelo modelo de mistura (Figura 8 anexada em apêndice).



Fonte: Arquivo da autora, 2015.

Figura 6 - Médias e desvio padrão das taxas de contribuições das dietas para os três períodos de amostragem. Letras diferentes para cada período entre dietas mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey (<0,05).



Fonte: Arquivo da autora, 2015.

Figura 7 – Contribuição média das dietas e desvios padrões nos três períodos de cultivo (30 dias, 60-90 dias e 120 dias). Letras diferentes para cada dieta entre fases mostram diferenças significativas pelo teste de Tukey ($<0,05$).

7. DISCUSSÃO

Utilizando isótopos estáveis de C e N como marcadores e o modelo de mistura MixSIAR como ferramenta estatística aplicada na alimentação animal, foram observadas variações nas razões isotópicas de ^{13}C e ^{15}N de espécimes de tilápia do Nilo criados em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz, assim como nas concentrações das três dietas assimiladas. A dieta com base no perifíton apresentou menor contribuição na alimentação dos peixes. Contudo, as dietas de ração e seston apresentaram melhor contribuição em todo o período de cultivo.

A composição isotópica para os elementos de ^{13}C e ^{15}N de tilápia do Nilo aos 120 dias de cultivo ($-18,11 \pm 1,02\text{‰}$ e $6,82 \pm 0,49\text{‰}$) em Santa Cruz apresentou maiores concentrações quando comparada aos valores obtidos nas pesquisas de Gondwe et al., (2012) para o cultivo final de *Oreochromis karongae* ($-22,39\text{‰}$ e $6,58\text{‰}$, respectivamente) e no cultivo final de *Oreochromis shiranus* ($-22,46\text{‰}$ e $5,65\text{‰}$, respectivamente), cultivadas em tanques-rede no Lago Malawi. Gondwe et al. (2012) também analisaram espécimes selvagens de *O. karongae* ($-18,56\text{‰}$ e $3,82\text{‰}$) que apresentaram concentrações de ^{13}C semelhantes aos valores do presente trabalho. Contudo o valor de ^{15}N para indivíduos selvagens de *O. karongae* apresentou concentração reduzida em relação aos peixes cultivados em Santa Cruz. Estas concentrações isotópicas similares para o ^{13}C sugerem a assimilação de alimento natural (seston e perifíton) em comum pelos peixes em ambas as pesquisas. Entretanto as distinções nos valores para o ^{15}N indicam a assimilação de uma fonte alimentar distinta, como a ração consumida pelos peixes de Santa Cruz.

Rao et al. (2015) estudando indivíduos selvagens de tilápia do Nilo encontraram concentrações de ^{13}C para indivíduos desta espécie com valor de $-19,8\text{‰}$, aproximado as concentrações obtidas na presente pesquisa. No entanto, os mesmos autores encontraram valores mais elevados de ^{15}N (9‰) nos peixes selvagens em relação aos peixes cultivados em Santa Cruz. Estas variações entre indivíduos selvagens e cultivados indicam diferentes características do ambiente de cultivo, que influenciam nas fontes alimentares que compõem as dietas naturais assimiladas.

As dietas com base em ração comercial assimilada pelos peixes de Santa Cruz apresentaram valores elevados para o carbono e nitrogênio em relação a ração ofertada para os peixes cultivados no lago Malawi (GONDWE et al., 2012). Tal característica indica a assimilação de rações com distinções nas fontes alimentares, pois as rações utilizadas em Santa Cruz apresentavam a fonte de conteúdo proteico com base em farinha de peixe, e as

dietas elaboradas por Gondwe et al., (2012) eram compostas principalmente por milho e soja. Já as dietas naturais de perifíton e seston consumida pelos peixes cultivados na pesquisa de Gondwe et al., (2012) apresentaram aumento na concentração para o ^{13}C e redução de ^{15}N com relação às dietas de *O. niloticus* cultivada no reservatório de Santa Cruz. O aumento quanto aos valores isotópicos de N nas dietas naturais disponíveis em Santa Cruz ocorreu provavelmente devido a influência da deposição e acúmulo de matéria orgânica oriunda dos resíduos de ração e demais substâncias resultantes do cultivo em tanques-rede, que estimulam a disponibilidade de diferentes nutrientes e desenvolvimento de organismos na água de cultivo, tais como aqueles que compõem o seston (ROOZEN et al., 2007; FIOD et al., 2010; PEREIRA et al., 2012; MARENGONI et al., 2013) (Tabela 5). O aumento na disponibilidade de seston e elevada assimilação desta dieta pelos peixes ocorre paralelamente com uma redução gradativa na contribuição de ração, nos períodos de 60-90 dias e 120 dias de cultivo que podem ser evidenciados com as concentrações isotópicas e taxas de contribuição.

Rao et al., (2015) perceberam que a dieta com base em perifíton consumida por tilápias selvagens apresentou valor de ^{15}N superior a 4‰, sendo aproximado a dieta de perifíton assimilado pelas tilápias do Nilo cultivadas no reservatório de Santa Cruz. O seston consumido pelos peixes na pesquisa de Rao et al., (2015) apresentaram concentração de 4‰ inferior ao seston consumido pelas tilápias no cultivo em Santa Cruz. Em relação aos valores de ^{13}C das duas dietas naturais, na presente pesquisa os mesmos foram elevados em relação as dietas obtidas por Rao et al., (2015). As distinções nas concentrações de ^{13}C e ^{15}N para as dietas naturais foram influenciadas pelas características preponderantes das concentrações de substâncias e nutrientes, que configuram o ambiente eutrofizado em South Lake (Guangdong-China) pesquisado por Rao et al., (2015), em relação ao reservatório de Santa Cruz (Apodi-Brasil) caracterizado como um ambiente aquático oligotrófico para o período de estudo (2013) (HENRY-SILVA et al., 2013). Na tabela 5 são apresentadas as concentrações de ^{13}C e ^{15}N nas dietas e fontes alimentares em diversos estudos com tilápia do Nilo.

As taxas discriminantes apresentaram depleção de ^{13}C nos peixes em relação a dieta com base em perifíton em todo o período de amostragem. Para a dieta de ração, os peixes cultivados em Santa Cruz apresentaram taxas discriminantes ($\Delta^{13}\text{C}$ = 0,90‰; 2,92‰; e -0,25‰) semelhantes aos reportados por Sweeting et al., (2007), para tilápia do Nilo alimentada com dietas sintéticas (entre 0,30 ‰ a 2,30 ‰). Mas apenas a relação tecido-seston apresentou valores elevados (> 5‰) de ^{13}C aos valores propostos por Caut et al., (2009) que citam valores entre 0-2‰ de ^{13}C para tecidos musculares de peixes. Estas variações ocorrem pela influência de diferentes fatores no ambiente de cultivo que atuam nos

processos de fracionamento isotópico incidentes nas dietas e fontes nutricionais que as compõem.

As tilápias analisadas na presente pesquisa apresentaram valores discriminantes correspondente a uma faixa entre 0-3‰ para o ^{15}N , proposto por Caut et al., (2009). Entre o tecido e seston, foram registradas baixas concentrações de ^{15}N indicando que o tecido dos peixes apresentou uma leve redução na concentração em relação a dieta (GANNES et al., 1998; FRY 2006). Entretanto a variação entre o tecido para as dietas de perifíton e ração apresentou valores elevados, demonstrando que o tecido dos peixes apresenta maior concentração em relação a estas dietas.

Estas taxas de variação para as dietas demonstram que a qualidade proteica é um dos principais determinantes da taxa discriminante em ^{15}N , pois o nitrogênio em proteína animal é fornecido quase que totalmente pela proteína na dieta, neste caso pelas dietas com base nas rações comerciais e perifíton, mas especialmente pelas rações comerciais que apresentam elevado teor proteico em sua formulação (KOCH, 2007; ROBBINS et al., 2010). Como por exemplo na pesquisa de Kelly & Martinez Del Rio (2010) estudando o crescimento de tilápia do Nilo, concluíram que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ na musculatura foram deplecionados e que a taxa discriminante de ^{15}N aumentava significativamente com teor de proteína na dieta. Essas variações nas taxas discriminantes entre tecidos e suas dietas indicam que as mudanças na assimilação entre dietas naturais e artificiais, não ocorrem da mesma forma, como foi observado em outras pesquisas com a tilápia do Nilo em diferentes fases de vida (ZUANON et al., 2007; FOCKEN, 2008).

Tabela 5 – Dietas e fontes alimentares que compõem a alimentação de tilápia do Nilo.

Fontes Alimentares	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Autores
Perifíton	-23	>4	Rao et al., 2015
Perifíton	-15,88 ± 0,87	1,51 ± 0,24	Gondwe et al., 2012
Perifíton*	-16,57±0,71	4,25±1,23	Presente Trabalho
Ração inicial	-25,15 ± 0,45	2,70 ± 0,16	Gondwe et al., 2012
Ração crescimento	-22,90 ± 0,61	3,07 ± 0,19	Gondwe et al., 2012
Ração final	-21,87 ± 0,28	2,83 ± 0,22	Gondwe et al., 2012
Ração*	-19,58 ± 1,20	4,70 ± 0,49	Presente Trabalho
Matéria orgânica particulada	-22,32 ± 0,13	2,90 ± 0,09	Gondwe et al., 2012
Fitoplâncton	-22,14 ± 0,31	3,70 ± 0,37	Gondwe et al., 2012
Zooplâncton	-21,82 ± 0,19	3,42 ± 0,21	Gondwe et al., 2012
Sedimento	-20,56±0,16	1,82 ± 0,11	Gondwe et al., 2012
Seston	-36,7	4	Rao et al., 2015
Seston*	-25,22±1,02	7,38±0,69	Presente Trabalho

Fonte: Presente trabalho (2013), Gondwe et al., (2012) e Rao et al., (2015).

Legenda: * Valores médios e desvio padrão para o período de amostragem de 120 dias de cultivo em Santa Cruz, $\delta^{13}\text{C}$ (‰) - concentração isotópica média e desvio padrão de carbono de cada dieta, $\delta^{15}\text{N}$ (‰) – concentração isotópica média e desvio padrão de nitrogênio em cada dieta.

Na alimentação da tilápia do Nilo as principais dietas que contribuíram foram o seston e ração, com maior contribuição do seston. Já a dieta de perifíton apresentou reduzidas taxas de contribuição em todas as fases analisadas. A assimilação destas três dietas distintas está relacionada às características alimentares desta espécie, a qual é atribuída o hábito fitoplanctófago, sendo considerada uma espécie onívora filtradora que aproveita de forma eficiente o fito e o zooplâncton, aceitando muito bem rações (KUBITZA & KUBITZA, 2000; ATTAYDE, 2007; EMBRAPA, 2007; BRITO et al., 2014).

A assimilação de alimento oriundo de diferentes fontes nutricionais não tem sido evidenciada adequadamente, pois os sistemas intensivos são caracterizados pela elevada densidade de estocagem e dependência total do alimento exógeno (MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010; SIPAÚBA-TAVARES et al., 2010b). Entretanto, muitos sistemas de produção combinam os benefícios do alimento natural com o uso de rações visando um aumento na produtividade e melhora na conversão alimentar (KUBITZA, 1999b).

Nesta perspectiva, Rao et al., (2015) analisando as dietas naturais assimiladas por espécimes selvagens de tilápia do Nilo, concluíram que as taxas de contribuição das dietas naturais de perifíton e seston na alimentação dos peixes em média foi de 26% e 20%, respectivamente. Os valores do seston (39,2 %) e perifíton (26,6 %) consumido pelos peixes cultivados em Santa Cruz foram elevados em comparação aos dados obtidos na pesquisa de Rao et al., (2015). Esse consumo, ainda que reduzido de perifíton pelos peixes cultivados em Santa Cruz, ocorre pelo acúmulo de algas que se desenvolvem sobre as partes da estrutura dos tanques-rede.

Com a retenção de matéria orgânica e sedimento acumulado oriundo do sistema de cultivo, não ocorreram grandes variações nas concentrações isotópicas para a dieta com base no seston, contudo ocorreu um aumento na disponibilidade deste alimento. Esta dieta natural contribuiu de forma bastante elevada na alimentação dos peixes, e esse consumo pode ser influenciado devido ao acúmulo de nutrientes, especialmente dos resíduos de rações, estimulando o aumento na disponibilidade de organismos planctônicos próximos aos tanques-rede, especialmente pelo aumento na carga de fósforo total na fase final de cultivo e concentrações elevadas de clorofila-a para as três fases de cultivo na presente pesquisa. Pois o seston também é composto de forma significativa pelo plâncton (KENDALL et al., 2001; WETZEL, 2001; RICHARDSON et al., 2009; CARABALLO et al., 2011; CARONI et al., 2012).

Nesse sentido, é importante evidenciar que estudos utilizando a técnica de isótopos estáveis, verificaram assimilação expressiva de recursos planctônicos por peixes, como no trabalho de Veverica et al., (2000) que analisaram o conteúdo intestinal das espécies *O. niloticus* e *Clarias gariepinus*, indicando que as duas categorias de alimentos mais importantes se tratavam do plâncton e farelo de arroz. Estudando estas duas espécies, Lochmann & Perschbacher (2000) verificaram que as razões isotópicas dos peixes apresentaram o mesmo padrão que a dieta de plâncton. Britton et al., (2009) observaram que *O. niloticus baringoensis*, apresentaram valores $\delta^{13}\text{C}$ que refletiam forte dependência nos recursos basais planctônicos, com uma mudança isotópica com o aumento do tamanho, que provavelmente indicavam que os peixes menores haviam se alimentado diretamente sobre fitoplâncton, enquanto os maiores indivíduos teriam consumido zooplâncton.

Do mesmo modo Rao et al., (2015), concluíram que os indivíduos de pequeno porte eram mais dependentes de perifíton, seston ou detritos. Em nossa pesquisa possivelmente ocorreu um comportamento padrão, com os indivíduos menores se alimentando de recursos planctônicos do seston, assim como da ração ofertada nas fases iniciais e do perifíton presente na estrutura dos tanques-rede. Posteriormente, os indivíduos seguiram assimilando essas dietas, com predominância nas dietas naturais, especialmente o seston, principalmente com a influencia dos resíduos de ração no desenvolvimento e disponibilidade de alimento natural no ambiente de cultivo. Os peixes cultivados em Santa Cruz, apresentaram aumento na taxa de contribuição de seston do primeiro para o segundo período de cultivo, indicando um consumo com base nos recursos planctônicos durante o crescimento dos peixes.

As rações fornecidas nas três fases de cultivo apresentaram contribuições satisfatórias para o crescimento dos peixes em todo o período de amostragem. Sobre a importância desta dieta em cultivos de tilápia do Nilo em tanques-rede, Gondwe et al., (2011; 2012) explicam que os peixes cultivados dependiam fortemente da alimentação artificial fornecida para o crescimento. Estes autores justificam que essa dependência é esperada devido à alta biomassa de peixes em gaiolas e baixa produção primária autóctone no lago Malawi, que apresentava concentração média de clorofila inferior a 2 ug/L^{-1} (GONDWE et al., 2011). Já no reservatório de Santa Cruz, os valores de clorofila foram maiores que os valores observados no Lago Malawi, contribuindo para um consumo mais elevado do alimento natural, especialmente o seston, que se trata de um item de extrema importância na dieta das tilápias cultivadas nos tanques-rede no reservatório de Santa Cruz.

Devido a importância quanto ao conhecimento do consumo desses tipos de dietas naturais, algumas pesquisas têm testado a utilização de atributos estruturais para o

desenvolvimento da comunidade perifítica avaliando a predação por espécimes de peixes como tilápia (*Oreochromis* sp.), inclusive em cultivos experimentais e em ambientes naturais (HUCHETTE et al., 2000; AZIM et al., 2003; ZORZAL-ALMEIDA & FERNANDES, 2014). A importância dessa comunidade em criação de peixes como a tilápia do Nilo, e estes conhecimentos aplicados nos cultivos, possibilita que esta dieta seja ofertada para peixes herbívoros como uma opção de alimento, que poderia reduzir a necessidade de ração, e consequente redução de nutrientes externos (nitrogênio e fósforo) para melhor gerenciar a qualidade da água desses ecossistemas (WAHAB et al., 1999; HUCHETTE et al., 2000; KESHAVANATH et al., 2002; SIQUEIRA & RODRIGUES, 2009; MARTINS et al., 2014; BRASIL et al., 2015).

Com os resultados obtidos constata-se a importância de planejar o manejo alimentar da tilápia do Nilo (*O. niloticus*), cultivada de forma intensiva em tanques-rede, conciliando o uso de ração com a disponibilidade de alimento natural, considerando as possíveis relações tróficas que ocorrem entre os nutrientes lançados na água e o desenvolvimento de alimento natural. Pois este alimento natural, em especial o seston, pode auxiliar no desenvolvimento da espécie cultivada, minimizando o uso de rações e consequentemente tornando o cultivo mais sustentável no que se refere aos aspectos econômicos e ambientais. Neste contexto, pode-se concluir que a dieta natural contribuiu no crescimento da tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede, alterando o paradigma de que apenas a ração fornecida é assimilada pelos peixes, contribuindo de forma quase que exclusiva no crescimento desta espécie.

8. CONCLUSÕES

Por meio da análise de isótopos estáveis, com base na abundância natural, na composição e variações nas razões de isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N de espécimes de tilápia do Nilo criados em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz em relação às três dietas analisadas, foi constatado que:

- I. Houve diferenças na composição isotópica de C e N, assim como na assimilação das dietas com base nas taxas de contribuição para as três fases de cultivo.
- II. A dieta natural de perifíton apresentou a menor contribuição alimentar em todo o período estudado, especialmente no segundo período de amostragem.
- III. As dietas com base no seston (39,2 %) e ração (34,3 %) foram significativamente superiores em relação ao perifíton (26,6%), contribuindo de forma predominante na alimentação dos peixes durante todo o período de cultivo.
- IV. A dieta de seston foi significativamente superior (39,2 %) em relação às demais dietas assimiladas pela população de tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz.
- V. A dieta natural com base no seston apresentou maior disponibilidade no ambiente de cultivo, sob influência dos resíduos das rações ofertadas, especialmente nas fases finais de cultivo.
- VI. A aplicação em conjunto de isótopos estáveis e modelos de mistura compõem uma ferramenta importante em estudos sobre alimentação e nutrição animal. O MixSIAR apresentou desempenho adequado para as análises isotópicas na presente pesquisa, assim como os isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N como marcadores bioquímicos.

Pode-se concluir que os espécimes de tilápia do Nilo cultivados assimilaram dietas naturais e comerciais, no entanto as dietas naturais – seston e perifíton - (65,8%) contribuíram de forma preponderante no crescimento desta espécie cultivada em tanques-rede. A presente pesquisa possibilitou uma melhor compreensão sobre o comportamento e hábito alimentar desta espécie de peixe exótico introduzida em sistemas intensivos de cultivo no semiárido brasileiro. Estas informações poderão ser utilizadas como subsídios para o planejamento de um manejo alimentar de cultivo numa perspectiva mais sustentável em ecossistemas aquáticos do Semiárido Nordeste.

9. REFERÊNCIAS

- ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 2, p. 425-434, 2001.
- ABIMORAD, E.G.; CASTELLANI, D. Exigências nutricionais de aminoácidos para o lambarido-rabo-amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.37, n.1, p.31-38, 2011.
- ALBERT, J. **Bayesian Computation with R (Use R!)**. Springer, 280p. 2007.
- AMÉRICO, J.H.P.; CICIGLIANO, G.D.; CARVALHO, S.L. Avaliação de alguns parâmetros físico-químicos da água de uma piscicultura com sistema de cultivo em tanques-rede. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.8, n.2, p.60-71, 2012.
- ANDRADE, C. L.; RODRIGUES, F. S.; CARVALHO, D. P.; PIRES, S. F.; PIRES, M. F. Nutrição e alimentação de Tilápias do Nilo. **Nutritime**. Vol. 12, Nº 06, nov/dez de 2015.
- ASSANO, M.; RAMIREZ, A. P. M.; STECH, M. R.; HONORATO, C. A.; MALHEIROS, E. B.; CARNEIRO, D. J. Desempenho de Tilápia do Nilo cultivadas em viveiros alimentadas com diferentes fontes e níveis protéicos. **Ensaio e ciências: Ciências Agrárias, Biológicas e da Saúde**. Vol. 15, nº 5. p. 83-92. 2011.
- ATTAYDE, J. L.; OKUN, N.; BRASIL, J.; MENEZES, R.; MESQUITA, P. Impactos da introdução da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, sobre a estrutura trófica dos ecossistemas aquáticos do Bioma Caatinga. **Oecologia Brasiliensis**. 11 (3): 450-461, 2007.
- ATTAYDE, J. L.; BRASIL, J.; MENESCAL, R. A. Impacts of introducing Nile tilapia on the fisheries of a tropical reservoir in North-eastern Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, 18, 437–443. 2011.
- AZIM, M. E.; VERDEGEM, M. C. J.; MANTINGH, I.; VAN DAM, A. A.; BEVERIDGE, M. C. M. Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Research**, 34, 85 ± 92. 2003.
- BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. S.; CRISPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**. vol. 24, no. 1, p. 103-118. 2012.
- BARRETO, A. P.; ARANHA, J. M. R. Alimentação de quatro espécies de Characiformes de um riacho da Floresta Atlântica, Guaraqueçaba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 23(3):779-788. 2006.
- BENSTEAD, J. P.; MARCH, J. G.; FRY, B.; EWEL, K. C.; PRINGLE, C. M. Testing Isosource: Stable isotope analysis of a tropical fishery with diverse organic matter sources. **Ecology**, 87(2), pp. 326-333. 2006.
- BIN, X.; QIN-FENG, G.; SHUANGLIN, DONG.; SHIN, P. K. S.; FANG, W. Uptake of farming wastes by silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* in polyculture ponds of grass carp *Ctenopharyngodon idella*: Evidence from C and N stable isotopic analysis. **Aquaculture**. 404–405. 8–14. 2013.

- BIRD, M.I., GIRESE, P. & NGOS, S. A seasonal cycle in the carbon-isotopic composition of organic carbon in the Sanaga River, Cameroon. **Limnology and Oceanography**, 43, 143–146. 1998.
- BISI, T. L.; LAILSON-BRITO, J.; MALM, O. Ecologia alimentar em mamíferos marinhos: técnicas de estudo. **Oecologia Australis**. 16(2): 210-234, Junho. 2012.
- BOND, A. L.; DIAMOND, A. W. Recent Bayesian stable-isotope mixing models are highly sensitive to variation in discrimination factors. **Ecological Applications**, 21(4), pp. 1017–1023. 2011.
- BORGES, P. A. F.; TRAIN, S.; DIAS, J. D.; BONECKER, C. C. Effects of fish farming on plankton structure in a Brazilian tropical reservoir. **Hydrobiologia**, vol. 649, p. 279-291. 2010.
- BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F.; FEIDEN, A.; WOLFF, L. Desempenho e características de carcaça de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) alimentadas com rações contendo diferentes níveis de gordura. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v. 26, no. 4, p. 443-447, 2004a.
- BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F.; FEIDEN, A.; BOMBARDELLI, R. A. Digestibilidade Aparente da Energia e Proteína das Farinhas de Resíduo da Filetagem da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e da Corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e Farinha Integral do Camarão Canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a Tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.33, n.1, p.8-13, 2004b.
- BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; FEIDEN, A.; MEURER, F. Inclusão de milho em dietas para alevinos de tilápia do Nilo formuladas com base na proteína e energia digestíveis. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.5, p.950-954, 2010.
- BRASIL, J.; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. D. F.; HUSZAR, V. L. M. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. **Hydrobiologia**. pp 1-20. 2015.
- BRITO, J. M.; FERREIRA, A. H. C.; JÚNIOR, H. A. S.; ARARIPE, M. N. B. A.; LOPES, J. B.; DUARTE, A. R.; JÚNIOR, M. A. B.; SILVA, A. L. Policultivo de tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) em tanques-rede – revisão. **Revista Eletrônica Nutritime** – Artigo 235 - Volume 11 - Número 02 – p. 3225–3237 – Março/Abril 2014.
- BRITTON, J.R.; JACKSON, M.C.; MUCHIRI, M.; TARRAS-WAHLBERG, H.; HARPER, D.M.; GREY, J. Status, ecology and conservation of an endemic fish, *Oreochromis niloticus baringoensis*, in Lake Baringo, Kenya. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**. 19: 487–496. 2009.
- CABANELLAS-REBOREDO, M.; DEUDERO, S.; BLANCO, A. Stable-isotope signatures (d13C and d15N) of different tissues of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Bivalvia): isotopic variations among tissues and between seasons. **Journal of Molluscan Studies** 75: 343–349. 2009.
- CALDARA, F. R.; DUCATTI, C.; BERTO, D. A.; DENADAI, J. C.; GARCIA, R. G.; FERREIRA, V. M. O. S. Glutamina e turnover do carbono da mucosa intestinal de leitões desmamados. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.12, p.2664-2669. 2010.

CAMPEAU, S.; MURKIN, H. R.; TIIMAN, R. D. Relative importance of algae and emergent plant litter to freshwater marsh invertebrates. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, vol. 51, no. 3, p. 681-692. 1994.

CAUT, S.; ANGULO, E. E COURCHAMP, F. Variation in discrimination factors ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. **Journal of Applied Ecology**. 46, 443–453. 2009.

CARABALLO, P.; SANCHEZ-CARABALLO, A. F.; FORSBERG, B.; LEITE, R. Crescimento populacional e análise isotópica de *Diaphanosoma spinolosum* e *Ceriodaphnia cornuta* (Crustacea: Cladocera), alimentadas com diferentes frações de seston natural. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 11-19, 2011.

CARONI, R.; FREE, G.; VISCONTI, A.; MANCA, M. Phytoplankton functional traits and seston stable isotopes signature: a functional-based approach in a deep, subalpine lake, Lake Maggiore (N. Italy). **J. Limnol.** 71(1): 84-94. 2012.

CARVALHO, M. C. Uso dos isótopos estáveis de carbono, nitrogênio e enxofre em estudos de ecologia costeira. **Oecologia Brasiliense**. 17(4): 694-705. 2008.

CARVALHO, E. D.; CAMARGO, A. L. S.; ZANATTA, A. S. Desempenho produtivo da tilápia do nilo em tanques-rede numa represa pública: modelo empírico de classificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.7, p.1616-1622, jul, 2010.

CARVALHO, M. C. Isótopos estáveis aplicados à medição da produção primária em ecossistemas aquáticos. **Oecologia Australis**. 17(2): 5-14. 2013.

CHIARADIA, A.; FORERO, M. G.; MCINNIS, J. C.; F. RAMÍREZ. Searching for the True Diet of Marine Predators: Incorporating Bayesian Priors into Stable Isotope Mixing Models. **Plos one** | www.plosone.org 1. March. Volume 9. Issue 3. 2014.

CONCEIÇÃO, L.; MORAIS, S.; ARAGÃO, C. Fluxos de nutrientes em larvas de peixes: aplicação de técnicas com marcadores isotópicos e de modelação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, suplemento especial, p.11-20, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução** CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986. Brasília: D.O.U., 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso: 18 ago. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução** CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília: D.O.U., 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso: 14 ago. 2015.

CORRÊA, F.; SILVA, G. C. Hábito alimentar de *Astyanax asuncionensis* (Géry, 1972) durante um período de seca e cheia, no Córrego do Onça, Coxim, Mato Grosso do Sul. **Brazilian Journal of Biosciences**. Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 368-372, out/dez. 2010.

CUCHEROUSSET, J.; BOULETREAUX, S.; MARTINO, A.; ROUSSEL, J. – M.; SANTOUL, F. Using stable isotope analyses to determine the ecological effects of non-native fishes. **Fisheries Management and Ecology**, 19, 111–119. 2012.

CYRINO, J. E. P., URBINATI, E. C., FRACALLOSSI, D. M., CASTAGNOLLI, N. Tópicos Especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. **TecArt**, São Paulo, Brasil. 533 p. 2005.

- CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, p.68-87, supl. especial. 2010.
- DENIRO, M. J., & EPSTEIN, S. Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. **Science**. 197, 261–263. 1977.
- DENIRO, M.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. **Geochim, Cosmochim, Acta**, Kidlington, 42: 495-506, 1978.
- DENIRO, M.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. **Geochim.Cosmochim.Acta**, 45: 341-351, 1981.
- DEBRUYN, A. M. H.; RASMUSSEN, J. B. Quantifying assimilation of sewage derived organic matter by riverine benthos. **Ecological Applications**, 12, 511–520. 2002.
- DIAS, J. D.; SIMÕES, N. R.; BONECKER, C. C. Net cages in fish farming: a scientometric analysis. **Acta Limnologica Brasiliensia**. vol. 24, no. 1, p. 12-17. 2012.
- DIETERICH, F.; BOSCOLO, W. R.; LÖSH, J. A.; FEIDEN, A.; FURUYA, W. M.; SIGNOR, A. A. Fontes de fósforo em rações orgânicas para alevinos e juvenis de tilápia-donilo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.3, p.417-424, mar. 2012.
- DUCATTI, C. Modelo teórico e experimental da reciclagem do carbono - 13 em tecidos de mamíferos e aves. **Scientia agrícola**, v.59, n.1, p.29-33, 2002.
- DUBOIS, S.; MARIN-LÉA. J. C.; ROPERT, M.; LEFEBVRE, S. Effects of oyster farming on macrofaunal assemblages associated with *Lanice conchilega* tubeworm populations: A trophic analysis using natural stable isotopes. **Aquaculture**. 271. 336–349 2007.
- DUCATTI, C. Aplicação dos isótopos estáveis em aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, suplemento especial, p.01-10, 2007.
- EL-SAYED, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. **Aquaculture**, v.179, p.149-168, 1999.
- EMBRAPA. Produção de tilápia: Mercado, espécie, biologia e recria. **Circular técnica 45**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ISSN 0104-7633. Teresina - PI, dezembro. 2007.
- EMERY, K. A.; WILKINSON, G. M.; BALLARD, F. G.; PACE, M. L. Use of allochthonous resources by zooplankton in reservoirs. **Hydrobiologia**. 758:257–269. 2015.
- ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Interciência. Rio de Janeiro/RJ. 602 p. 1998.
- FANTLE, M. S.; DITTEL, A. I.; SCHWALM, S. M.; EPIFANIO, C. E.; FOGEL, M.L. A food web analysis of the juvenile blue crab, *Callinectes sapidus* using stable isotopes in whole animals and individual minnows. **Oecologia**. 120:416-426. 1999.
- FINLAY, J. C.; KENDALL, C. Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. 10º Capítulo. In: **MICHENER, R.; LAJTHA, K. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science**. 2 ed. Blackwell Publishing. 594p. 2007.

FIOD, M. S. R.; DUCATTI, C.; CABRAL, M. C.; TEIXEIRA, R. B. G.; ABIMORAD, E. G.; JOMORI, R. K. Efeito da Frequência Alimentar Sobre o Crescimento e a Composição Isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) de Juvenis de Pacu *Piaractus Mesopotamicus*. **Nucleus Animalium**, v.2, n.2, nov. 2010.

FOCKEN, U.; BECKER, K. Metabolic fractionation of stable carbon isotopes: implications of different proximate compositions for studies of the aquatic food webs using ^{13}C data. **Oecologia**, Vol. 115, No. 3, pp. 337-343. 1998.

FOCKEN, U. Application of Stable Isotopes in Aquaculture Nutrition Research. p. 258-270. **In: Avances em Nutrición Acuicola IX**. Anais do IX Simposio Internacional de Nutrición Acuicola. 24-27 de Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. 2008.

FONTELES FILHO, A. A. **Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros**. Expressão Gráfica e Editora. Fortaleza. 464 p. 2011.

FRY, B.; MUMFORD, P. L.; TAM, F.; FOX, D. D.; WARREN, G. L.; HAVENS, K. E.; STEINMAN, A. D. Trophic position and individual feeding histories of fish from Lake Okeechobee, Florida. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. 56: 590-600, 1999.

FRY, B. **Stable Isotope Ecology**. Department of Oceanography and Coastal Sciences. Coastal Ecology Institute. School of the Coast and Environment. Springer. 316 p. 2006.

FRY, B. **Stable Isotope Ecology**. Library of Congress. Printed in the United States of America. Springer Science-Business Media, LLC. 2008.

FURUYA, W. M.; SOUZA, S. R.; FURUYA, V. R. B.; HAYASHI, C.; RIBEIRO, R. P. Dietas peletizada e extrusada para machos revertidos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L.) na fase de terminação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n.3, p.483-487. 1998.

FURUYA, W. M.; SERON, S.; VARGAS, L.; HAYASHI, C.; FURUYA, V. R. B.; SOARES, C. M. Níveis de levedura desidratada “spray-dried” na dietade alevinos revertidos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.4, p.699-704. 2000.

FURUYA, W. M.; GONÇALVES, G. S.; FURUYA, V. R. B.; HAYASHI, C. Fitase na Alimentação da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): Desempenho e Digestibilidade. **Revista Brasileira de zootecnia**, 30(3):924-929, (Suplemento 1). 2001a.

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; PEZZATO, A. C.; BARROS, M. M.; Miranda, E. C. Coeficientes de Digestibilidade e Valores de Aminoácidos Digestíveis de Alguns Ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30(4):1143-1149, 2001b.

FURUYA, W. M.; SILVA, L. C. R.; NEVES, P. R.; BOTARO, D.; HAYASHI, C.; SAKAGUTI, E. S.; FURUYA, V. R. B. Exigência de metionina + cistina para alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1933-1937, nov-dez, 2004.

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. M. G.; SANTOS, V. G.; SILVA, L. C. R.; SILVA, T. C.; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. Aplicação do Conceito de Proteína Ideal

para Redução dos Níveis de Proteína em Dietas para Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.34, n.5, p.1433-1441. 2005.

GAMBOA-DELGADO, J. AND LE VAY, L. Artemia replacement in co-feeding regimes for mysis and postlarval stages of *Litopenaeus vannamei*: Nutritional contribution of inert diets to tissue growth as indicated by natural carbon stable isotopes. **Aquaculture**. 297, 128-135. 2009a.

GAMBOA-DELGADO, J.; LE VAY, L. Natural stable isotopes as indicators of the relative contribution of soy protein and fish meal to tissue growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed compound diets. **Aquaculture** 291, 115–123. 2009b.

GAMBOA-DELGADO, J.; ROJAS-CASAS, M. G.; NIETO-LÓPEZ, M. G.; CRUZ-SUÁREZ, L. E. Simultaneous estimation of the nutritional contribution of fish meal, soy protein isolate and corn gluten to the growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using dual stable isotope analysis. **Aquaculture**. 380–383. 33–40. 2013.

GAMERMAN, D. **Simulação Estocástica via Cadeias de Markov**. Instituto de Matemática UFRJ. 1996.

GANNES, L. Z.; O'BRIEN, D. M.; MARTINEZ DEL RIO, C. Stable isotopes in animal ecology: Assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. **Ecology**, 78(4), pp. 1271-1276. 1997.

GANNES, L. Z.; MARTINEZ DEL RIO, C.; KOCH, P. Natural Abundance Variations in Stable Isotopes and their Potential Uses in Animal Physiological Ecology. **Comp. Biochem. Physiol.** Vol. 119A, No. 3, pp. 725–737, 1998.

GASALLA, M. L. A.; SOARES, L. S. H. Comentários sobre os estudos tróficos de peixes marinhos no processo histórico da ciência pesqueira e modelagem ecológica. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, 27(2): 243 – 259. 2001.

GAYE-SIESSEGGGER, J., FOCKEN, U., ABEL, H.J., BECKER, K., Feeding level and diet quality influence trophic shift of C and N isotopes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). **Isotopes in Environmental and Health Studies** 39, 125–134. 2003.

GAYE-SIESSEGGGER, J.; FOCKEN, U.; ABEL, H.; BECKER, K., Individual protein balance strongly influences d15N and d13C values in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **The Science of Nature – Naturwissenschaften**. 91, 90–93. 2004a.

GAYE-SIESSEGGGER, J.; FOCKEN, U.; MUETZEL, S.; ABEL, H., BECKER, K., Feeding level and individual metabolic rate affect d13C and d15N values in carp: implications for food web studies. **Oecologia**. 138, 175–183. 2004b.

GELMAN, A.; RUBIN, D.B. A single series from the Gibbs sampler provides a false sense of security. In: Bernardo, J.M., Berger, J.O., Dawid, A.P., Smith, A.F.M. (Eds.), *Bayesian Statistics*, Vol. 4. Oxford University Press, Oxford, pp. 625-631. 1992.

GELMAN, A.; CARLIN, J. B.; STERN, H. S.; DUNSON, D. B.; VEHTARI, A.; RUBIN, D. B. **Texts in Statistical Science Donald L. Phillips · Paul L. Kocher Series. Bayesian Data Analysis**. Chapman & Hall/CRC editora. 3ª ed. 656 p. 2014.

GERMAN, D.P.; MILES, R.D. Stable carbon and nitrogen incorporation in blood and fin tissue of the catfish *Pterygoplichthys disjunctivus* (Siluriformes, Loricariidae). **Environmental Biology of Fishes**, 89: 117-133. 2010.

GEWEKE, J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. **In:** Bernardo, J.M., Berger, J.O., Dawid, A.P., Smith, A.F.M. (Eds.), *Bayesian Statistics*, Vol. 4. Oxford University Press, Oxford, pp. 169-193. 1992.

GOLTERMAN, H. L.; CLIMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of fresh Waters**. 2 ed. Oxford: IBP, 213p. 1978.

GONDWE, M. J.; GUILDFORD, S. J.; HECKY, R. E. Physical-chemical measurements in the water column along a transect through a tilapia cage fish farm in Lake Malawi, Africa. **Journal of Great Lakes Research**. 37 (1), 102-113. 2011.

GONDWE, M. J.; GUILDFORD, S. J.; HECKY, R. E. Tracing the flux of aquaculture-derived organic wastes in the southeast arm of Lake Malawi using carbon and nitrogen stable isotopes. **Aquaculture**. 350-353. 8-18. 2012.

GRACIANO, T. S.; MICHELATO, M.; NEU, D. H.; VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; MOURA, L. B.; FURUYA, W. M. Desempenho produtivo e composição corporal de tilápias do Nilo alimentadas com AminoGut® no período de reversão sexual. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, suplemento, p. 2779-2789, 2014.

GREY, J.; WALDRON, S.; HUTCHINSON, R. The utility of carbon and nitrogen isotope analyses to trace contributions from fish farms to the receiving communities of freshwater lakes: a pilot study in a Esthwaite Water, UK. **Hydrobiologia**. 524: 253-262. 2004.

GRIFFITHS, H. Applications of stable isotope technology in physiological ecology. **Functional Ecology**. 5, 254-269.1991.

HALFEN, G. E.; NICOLETTI, M. E.; APPEL, H. B.; TCACENCO, F. A. Caracterização molecular de plantéis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) em Santa Catarina, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Vol. 3, N. 2: pp. 21-29, May, 2012.

HAMILTON, S. K.; LEWIS, JR. W. M.; SIPPEL, S. J. Energy Sources for Aquatic Animals in the Orinoco River Floodplain: Evidence from Stable Isotopes. **Oecologia**. Vol. 89, No. 3. pp. 324-330. 1992.

HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R.; SOARES, C. M.; MEURER, F. Exigência de Proteína Digestível para Larvas de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante a Reversão Sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.31, n.2, p.823-828, (suplemento). 2002.

HEDGES, J. L., CLARK, W. A., QUAY, P. D. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, 31, 717-738. 1986.

HENRY-SILVA, G. G.; SANTOS, R. V.; MOURA, R. S. T.; BUENO, N. C. Primeiro registro de *Chara indica* e *Chara zeylanica* (Charophyceae, Charales, Characeae) em reservatórios do semiárido do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biotemas**. 26 (3): 243-248.2013.

HOBSON, K. A.; WELCH, H. E. Cannibalism and trophic structure in a high arctic lake- insights from stableisotope analysis. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 52, 1195-1201. 1995.

HOPKINS, J. B.; FERGUSON, J. M. Estimating the Diets of Animals Using Stable Isotopes and a Comprehensive Bayesian Mixing Model. **PLoS ONE**. January 2012 | Vol.7. Issue 1. 2012.

HUCHETTE, S. M. H.; BEVERIDGEA, M. C. M.; BAIRD, D. J.; IRELAND, M. The impacts of grazing by tilápias (*Oreochromis niloticus* L.) on periphyton communities growing on artificial substrate in cages. **Aquaculture**, Bangladesh, v.186, p.45-60, 2000.

JACKSON, A. L.; INGER, R.; PARNELL, A. C.; BEARHOP, S. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER–Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. **Journal of Animal Ecology**. 80, 595–602, 2011.

KELLY, L. J.; MARTINEZ DEL RIO, C. The Fate of Carbon in Growing Fish: An Experimental Study of Isotopic Routing. **Physiological and Biochemical Zoology**. 83(3):473–480. 2010.

KENDALL, C.; SILVA, S. R.; KELLY, V. J. Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States. **Hydrological Processes**, 15, 1301–1346. 2001.

KESHAVANATH, P.; GANGADHAR, B.; RAMESH, T.J.; VAN DAM A.A.; BEVERIDGE, M.C.M; VERDEGEM, M.C.J. 2002 The effect of periphyton and supplemental feeding on the production of the indigenous carps Tot khudree and Labeo fimbriatus. **Aquaculture**, Amsterdam, 231: 207- 218.

KOCH, P. L.; D. L. PHILLIPS. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models: a reply to Robbins, Hilderbrand and Farley (2002). **Oecologia** 133:14–18. 2002.

KOCH, P. L. Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates. 5ºCapítulo. In: MICHENER, R.; LAJTHA, K. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. 2 ed. Blackwell Publishing. 594p. 2007.

KOROLEFF, F. Determination of nutrientes. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). **Methods of seawater analysis**. New York: Verlag Chemie Weinhein. p.117-181. 1976.

KUANYI, L.; ZENGHONG, X.; ZHENGWEN, L.; BINHE, G. Stable isotope enrichment, dietary sources and trophic overlap between silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*). **Aquaculture**. 402–403. 8–12. 2013.

KUBITZA, F. Nutrição e Alimentação de Tilápias - Parte 1. **Panorama da Aquicultura**. março/abril, p. 42-50. 1999a.

KUBITZA, F. Nutrição e Alimentação de Tilápias - Parte 2. **Panorama da Aquicultura**. março/abril, p. 41-49. 1999b.

KUBITZA, F. Tanques-rede, Rações e Impacto Ambiental. **Panorama da Aquicultura**. janeiro/fevereiro. 1999c.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L. M. M. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade – Parte 2. **Panorama da Aquicultura**. julho/agosto, p.31-53. 2000.

KUBITZA, F. Questões frequentes dos produtores sobre a qualidade dos alevinos de tilápia. **Panorama da Aquicultura**. setembro/outubro, p.14-23. 2006a.

KUBITZA, F. Ajustes na nutrição e alimentação das tilápias. **Panorama da Aquicultura**, novembro/dezembro, p.14-24. 2006b.

KUBITZA, F. Tilápias na bola de cristal. **Panorama da Aquicultura**, janeiro/fevereiro, p.14-21. 2007.

LAJTHA, K.; MICHENER, R. H. (Ed). **Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 315pp. 1994.

LAJTHA, J.; MARSHALL, J. D. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. **In:** Lajtha, K. & Michener, R.H. (Ed) *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, cap.1, p. 1-21. 1994.

LANNA, E. A. T.; PEZZATO, L. E.; CECON, P. R.; FURUYA, W. M.; BOMFIM, M. A. D. Digestibilidade Aparente e Trânsito Gastrintestinal em Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em Função da Fibra Bruta da Dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.33, n.6, p.2186-2192, (Supl. 3). 2004.

LEAL, J. C. M.; DUBOIS, S.; ORVAIN, F.; GALOIS, R.; BLIN, J.-L.; ROPERT, M.; BATAILLÉ, M.-P.; OURRY, A.; LEFEBVRE, S. Stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) and modelling as tools to estimate the trophic ecology of cultivated oysters in two contrasting environments. **Marine Biology**. February. Volume 153, Number 4 : Pages 673- 688. 2008.

LEONARDO, A. F.; CORRÊA, C. F.; BACCARIN, A. E. Qualidade da água de um reservatório submetido à criação de tilápias em tanques-rede, no sul de São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**. São Paulo, 37(4): 341 – 354, 2011.

LE VAY, L.; GAMBOA-DELGADO, J. Naturally-occurring stable isotopes as direct measures of larval feeding efficiency, nutrient incorporation and turnover. **Aquaculture** 315. 95–103. 2011.

LIMA, E. J. V. M. O. Utilização de isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N na identificação de bacalhau *Gadus* e outras espécies de peixes salgados secos. **Tese (doutorado)**. Universidade Estadual Paulista. Centro de Aquicultura. Jaboticabal. 2010.

LOCHMANN, R.; PERSCHBACHER, P. Nutritional contribution of natural and supplemental foods for Nile tilapia: Stable carbon isotope analysis. **In:** K. Mcelwee, D. Burke, M. Niles, X. Cummings, and H. Egna (Editors), *Seventeenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP*. Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 29-31. 2000.

LOWE, R. L.; PAN, Y. Benthic algal communities as biological monitors. **In:** STEVENSON, R.J., BOTHWELL, M.L. and LOWE, R.L., eds. *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. New York: Academic Press. p. 31-56. 1996.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: Consequências e recomendações. **Bol. Inst. Pesca**, São Paulo, 36(2): 149 – 163, 2010.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. Water analysis: some revised methods for limnologists. London: **Freshwater Biological Association**. 121p. 1978.

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

MARENGONI, N. G.; MOTA, F. L. S.; GOMES, R. B.; BASÍLIO, F. F. F.; OLIVEIRA, N. T. E.; OGAWA, M. Qualidade física e química da água em sistema fechado de recirculação durante o cultivo de juvenis de tilápia-do-Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 927-934, mar./abr. 2013.

MARIOTTI, A., GADEL, F., GIRESE, P. & MOUZEO, K. (1991) Carbon isotope composition and geochemistry of particulate organic matter in the Congo River (Central Africa): Application to the study of Quaternary sediments off the mouth of the river. **Chemical Geology**, 86, 345–357.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, S. E.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, B. P.; MOREIRA, M. Z. **Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MARTINEZ DEL RIO, C.; WOLF, N.; CARLETON, S. A.; GANNES, L. Z. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. **Biological Reviews**. 84 91–111. 2009.

MARTINS, M. B. Turnover de carbono e a preferência alimentar de ovelhas por isótopos estáveis/Marcela Buosi Martins. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. 2010.

MARTINS, R. B.; VALE, D. A.; REBOUÇAS, V. T.; SÁ, M. V. C. Imbalanced C/N - controlled, periphyton-based system has hampered tilapia growth in stagnant experimental tanks. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 36, n. 2, p. 229-235, Apr.-June, 2014.

MCCLELLAND, J. W.; MONTOYA, J. P. Trophic relationships and the nitrogen isotopic composition of amino acids in plankton. **Ecology**. 83, 2173–2180. 2002.

MCCUTCHAN, J. H. JR, LEWIS, W. M., KENDALL, C. AND MCGRATH, C. C. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. **Oikos**. 102: 378-390. 2003.

MERCANTE, C. T. J.; CARMO, C.F.; RODRIGUES, C. J.; OSTI, J. A. S.; PINTO, C. S. M.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; TUCCI, A.; GENARO, A. C. Limnologia de viveiro de criação de tilápias do nilo: avaliação diurna visando boas práticas de manejo. **Boletim do Instituto da Pesca**, São Paulo, 37(1): 73 – 84, 2011.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R.; SOARES, C. M. Lipídeos na Alimentação de Alevinos Revertidos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.566-573, 2002.

MICHENER, R.; LAJTHA. **Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science**. Ecological Methods and Concepts Series. 2° ed. 2007.

MILL, A. C.; PINNEGAR, J. K.; POLUNIN, N. V. C. Explaining isotope trophic-step fractionation: why herbivorous fish are different. **Functional Ecology**. 21, 1137–1145. 2007.

- MINAGAWA, M.; WADA, E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. 48: 1135 – 1140, 1984.
- MONTEIRO, M. L. G.; MÁRSICO, E. T.; TEIXEIRA, C. E.; MANO, S. B.; JÚNIOR, C. A. C.; VITAL, H. C. Validade comercial de filés de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) resfriados embalados em atmosfera modificada e irradiados. **Ciência Rural**, v.42, n.4, abr, 2012.
- MOORE, J. W.; B. X. SEMMENS. Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. **Ecology Letters** 11:470–480. 2008.
- MORENO, Y. M.; RAMIREZ, J. J. Seston fluxes in the dam of a Colombian tropical reservoir. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, no. 3, p. 325-334. 2010.
- NAVARRO, R. D.; FERREIRA, W. M.; RIBEIRO FILHO, O. P.; BOTION, L. M.; PEREIRA, F. K. S.; SILVA, R. F.; MACIEL, T. E. F. Desempenho de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) suplementada com vitamina C. **Archivos de zootecnia**. 59 (228): 589-596. 2010a.
- NAVARRO, R. D.; MATTA, S. L. P.; RIBEIRO FILHO, O. P.; FERREIRA, W. M.; MIRANDA, D. C.; PEREIRA, F. K.S. Morfometria e desenvolvimento gonadal em (*Oreochromis niloticus*) suplementada com vitamina E. **Archivos de zootecnia**. (228): 519-528. 2010b.
- NEWSOME, S. D.; CLEMENTZ, M. T.; KOCH, P. L. Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. **Marine Mammal Science**, 26(3): 509–572. July. 2010.
- NEWSOME, S.D.; YEAKEL, J. D.; WHEATLEY, P. V.; TINKER, M. T. Tools for quantifying isotopic niche space and dietary variation at the individual and population level. **Journal of Mammalogy**, 93(2):329–341, 2012.
- OVERMAN, N.C.; PARRISH, D.L. Stable isotope composition of walleye: N-15 accumulation with age and area-specific differences in delta C-13. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 58, 1253–1260. 2001.
- PARNELL, A. C.; INGER, R.; BEARHOP, S.; JACKSON, A. L. Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. **Plos one** | www.plosone.org 1. March. Volume 5. Issue 3. 2010.
- PARNELL, A. C.; PHILLIPS, D. L.; BEARHOP, S.; SEMMENS, B. X.; WARD, E. J.; MOORE, J. W.; JACKSON, A. L.; GREY, J.; KELLY, D. J.; INGER, R.; Bayesian stable isotope mixing models. **Environmetrics**, 24(6), 387-399. 2013.
- PEREIRA, L. A.; BENEDITO, E. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. **Revista. biociências**. Taubaté, v.13, n.1-2, p.16-27, jan/jun. 2007.
- PEREIRA, J. S.; MERCANTE, C.T. J.; LOMBARDI, J.V.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; CARMO, C. F.; OSTI, J. A. S. Eutrophization process in a system used for rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), São Paulo State, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**. vol. 24, no. 4, p. 387-396, 2012.
- PEREIRA, A. C.; SILVA, R. F. Produção de tilápias. **Manual técnico**, 31. ISSN 1983-5671 Niterói: Programa Rio Rural. 52 p. 2012.

- PEREIRA-DA-SILVA, E. M.; ORSOLI, D. N.; ARAÚJO, L. F.; CANTELMO, O. Â.; MERIGHE, G. K. F. Regulação da Ingestão Protéica na Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.33, n.6, p.1921-1927, (Supl. 2). 2004.
- PESSOA, E. K. R.; SILVA, N. B.; ARAUJO, A.; CHELLAPPA, S. Morphohistology of the digestive tract of the carnivorous fish *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes: Erythrinidae). **Animal Biology Journal**, v. 3 (4), p. 145-158, 2012.
- PESSOA, E. K. R.; LIMA, L. T. B.; CHELLAPPA, N. T.; SOUZA, A. A.; CHELLAPPA, S. Aspectos alimentares e reprodutivos do cascudo, *Hypostomus pusalum* (Starks, 1913) (Osteichthyes: Loricariidae) no açude Marechal Dutra, Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Amazônia**. Macapá, v. 3, n. 3, p. 45-53, 2013a.
- PESSOA, E. K. R.; SILVA, N. B.; CHELLAPPA, N. T.; ARAUJO, A.; CHELLAPPA, S. Morfologia comparativa do trato digestório dos peixes *Hoplias malabaricus* e *Hypostomus pusalum* do açude Marechal Dutra, Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 3, p. 48- 57, 2013b.
- PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. **Review of Ecology and Systematics**. vol. 18 (1987), p. 293-320.1987.
- PHILIPPSEN, J. S.; BENEDITO, E. Fator de Discriminação na Ecologia Trófica de Peixes: Uma Revisão Sobre as Fontes de Variação e os Métodos de Obtenção. **Oecologia Australis**. 17(2): 15-26. Junho. 2013.
- PHILLIPS, D. L.; GREGG, J. W. Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. **Oecologia**. 127:171–179. 2001.
- PHILLIPS, D. L. Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a critique. **Oecologia**. 127:166–170. 2001.
- PHILLIPS, D. L.; KOCH, P. L. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models. **Oecologia**. 130:114–125. 2002.
- PHILLIPS, D. L.; GREGG J. W. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. **Oecologia**. 136:261–269. 2003.
- PHILLIPS, D. L.; NEWSOME, S. D.; GREGG, J. W. Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods. **Oecologia**.144: 520–527. 2005.
- PHILLIPS, D. L.; ELDRIDGE, P. M. Estimating the timing of diet shifts using stable isotopes. **Oecologia**. 147: 195–203. 2006.
- PHILLIPS, D. L. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. **Journal of Mammalogy**, 93(2):342–352, 2012.
- PHILLIPS, D. L.; INGER, R.; BEARHOP, S.; JACKSON, A. L.; MOORE, J. W.; PARNELL, A. C.; SEMMENS, B. X.; WARD, E. J. Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. **Canadian Journal of Zoology**. 92: 823–835. 2014.
- PINNEGAR, J.K.; POLUNIN, N.V.C. Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. **Functional Ecology**, 13: 225-231. 1999.

PINNEGAR, J.K.; CAMPBELL, N.; POLUNIN, N.V.C. Unusual stable isotope fractionation patterns observed for fish host-parasite trophic relationships. **Journal of Fish Biology**, 59, 494–503. 2001.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton - aspectos ecológicos e metodológicos**. Rima, São Carlos. 2003.

PONSARD, S.; AVERBUCH, P. Should growing and adult animals fed on the same diet show different $\delta^{15}\text{N}$ values? **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, 13, 1305–1310. 1999.

PONTES, E. C.; OLIVEIRA, M. M.; ROSA, P. V.; FREITAS, R. T. F.; PIMENTA, M. E. S. G.; RODRIGUES, P. B. Níveis de farinha de peixe em rações para juvenis de tilápia. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.8, p.1626-1632, 2010.

POPP, B. N., GRAHAM, B. S., OLSON, R. J., HANNIDES, C. C. S., LOTT, M., LOPEZ-IBARRA, G. & GALVAN-MAGANA, F. Insight into the trophic ecology of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from compound-specific nitrogen isotope analysis of proteinaceous amino acids. **In: Isotopes as Tracers in Ecological Change** (eds. T. Dawson & R. Seigwolf), pp. 173–190. Elsevier, New York. 2007.

POST, D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. **Ecology**, 83(3), pp. 703-718. 2002.

POST, D. M.; LAYMAN, C. A.; ARRINGTON, D. A.; TAKIMOTO, G.; QUATTROCHI, J.; MONTAÑA, C. G. Getting to the fat of the matter: models, methods, and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analysis. **Oecologia** 152, 179–189. 2007.

QUAY, P. D.; WILBUR, D. O.; RICHEY, J.E.; Carbon cycling in the Amazon River: Implications from the ^{13}C compositions of particles and solutes. **Limnology and Oceanography**, 37, 857–871.1992.

RAO, W.; NING, J.; ZHONG, P.; JEPPESEN, E.; LIU, Z. Size-dependent feeding of omnivorous Nile tilapia in a macrophyte-dominated lake: implications for lake management. **Hydrobiologia**. 749:125–134. 2015.

RICHARDSON, D. C.; KAPLAN, L. A.; NEWBOLD, J. D.; AUFDENKAMPE, A. K. Temporal dynamics of seston: A recurring nighttime peak and seasonal shift composition in a stream ecosystem. **Limnology and Oceanography**, v. 54, n. 1, p. 344-354, 2009.

ROBBINS, C. T.; HILDERBRAND, G. V.; FARLEY, S. D. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models: a response to Phillips and Koch. **Oecologia**. 133:10–13. 2002.

ROBBINS, C. T.; FELICETTI, L. A.; FLORIN, S.T. The impact of protein quality on stable nitrogen isotope ratio discrimination and assimilated diet estimation. **Oecologia**. 162:571-579. 2010.

RODRIGUES, G. B.; FAUTH, G. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio em ostrácodes do cretáceo: metodologias, aplicações e desafios **Terra Didática**. 9: 34-49, 2013.

ROOZEN, F. C. J. M.; URLING, M. L.; VLEK, H.; KRAAN, E. A. J. V. D. P.; IBELINGS, B. W.; SCHEFFER, M. Resuspension of algal cells by benthivorous fish boosts

phytoplankton biomass and alters community structure in shallow lakes. **Freshwater Biology**. 52, 977–987. 2007.

SÁ, M. V. C. **Limnicultura**: Limnologia para a Aquicultura. Fortaleza. Edições UFC. 218 p. 2012.

SAMPAIO, F. G.; HISANO, H.; YAMAKI, R. A.; KLEEMANN, G. K.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Digestibilidade aparente das farinhas de peixe nacional e importada das farinhas de sangue tostada e spray-dried, pela tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.). **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 4, p. 891-896, 2001.

SANTOS, E. M.; TREMARIN, P. I.; LUDWIG, T. A. V. Diatomáceas perifíticas em Potamogeton polygonus Cham. & Schltdl.: citações pioneiras para o estado do Paraná. **Biota Neotropica**. Jul/Set . vol. 11, no. 3. 2011.

SCHROEDER, G. L. Stable isotope ratios as naturally occurring tracers in the aquaculture food web. **Aquaculture**, 30: 203-210. 1983.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (SEMARH). Disponível em: < http://www.semarh.rn.gov.br/contentproducao/aplicação/semarh/sistemadeinformacoes/consultamapas/mapaRN_AQ_Bacia01.jpg> Acesso em: 06 de Jun. 2014.

SEMMENS, B. X.; WARD, E. J.; MOORE, J. W.; DARIMONT, C. T. Quantifying inter-and intra-population niche variability using hierarchical Bayesian stable isotope mixing models. **PLoS One**, 4(7), e6187. 2009.

SEMMENS, B.X.; WARD, E. J.; PARNELL, A. C.; PHILLIPS, D. L.; BEARHOP, S.; INGER, R.; JACKSON, A.; MOORE, J. W. Statistical basis and outputs of stable isotope mixing models: Comment on Fry (2013). **Marine Ecology Progress Series**. Vol. 490: 285–289, 2013.

SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Effect of phenolic nonprotein amino acid L L-dopa (L L-3,4-dihydroxyphenylalanine) on growth performance, metabolic rates and feed nutrient utilization of common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture Nutrition**, v.8 p.69-77, 2002.

SILVA, T. S. C.; FURUYA, W. M.; SANTOS, L. D.; FUJII, K. M.; MICHELATO, M.; IWAMOTO, B. S. Fitase líquida em dieta extrusada para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Sci. Anim. Sci**. Maringá, v. 29, n. 4, p. 449-455, 2007.

SIQUEIRA, N. S.; RODRIGUES, L. Biomassa perifítica em tanques-rede de criação de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (Linneau, 1758). **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, 35(2): 181-190, 2009.

SILVA, R. D.; ROCHA, L. O.; FORTES, B. D. A.; VIEIRA, D.; FIORAVANTI, M. C. S. Parâmetros hematológicos e bioquímicos da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) sob estresse por exposição ao ar. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. 32(Supl.1):99-107, dezembro 2012a.

SILVA, D. A.; PESSOA, E. K. R.; COSTA, S. A. G. L.; CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPPA, S. Ecologia alimentar de *Astyanax lacustris* (Osteichthyes: Characidae) na Lagoa do Piató, Assu, Rio Grande do Norte, Brasil. **Biota Amazônia**. Macapá, v. 2, n. 1, p. 74-82, 2012b.

- SILVA, L. E. S.; GALÍCIO, G. S. Alimentação de peixes em piscicultura intensiva. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 49-62. 2012.
- SILVA, L. E. S.; AMARAL, C. M. C. Produção intensiva de tilápias em tanques-rede. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2131-2150. 2013.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MILLAN, R. N.; SANTEIRO, R. M. Characterization of a plankton community in a fish farm. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, no. 1, p. 60-69. 2010a.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MILLAN, R. N.; AMARAL, A. A. Influence of management on plankton community of fishponds during the dry and rainy seasons. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, no. 1, p. 70-79. 2010b.
- SOUZA, V. L.; URBINATI, E. C.; MARTINS, M. I. E. G.; SILVA, P. C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus Holmberg, 1887*) submetidos a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia** 32: 19-28. 2003.
- SUZUKI, K.W.; KASAI, A.; NAKAYAMA, K.; TANAKA, M. Differential isotopic enrichment and half-life among tissues in Japanese temperate bass (*Lateolabrax japonicus*) juveniles: implications for analyzing migration. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 62: 671-678. 2005.
- STOCK, B. C.; SEMMENS, B. X. 2013. **MixSIAR GUI user manual: version 1.0**. Disponível em: < <http://conserver.iugo-cafe.org/user/brice.semmens/MixSIAR> >.
- SWEETING, C. J.; BARRY, J.; BARNES, C.; POLUNIN, N.V.C.; JENNINGS, S. Effects of body size and environment on diet-tissue delta N-15 fractionation in fishes. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 340, 1–10. 2007.
- TACON, A.G.J.; JACKSON, A.J. Utilisation of conventional and unconventional protein sources in practical fish foods. A review. **In: Nutrition and Feeding in Fish** (Cowey, C.B., Mackie, A.M.; Bell, J.G. eds). Academic Press, London. P.119-145, 1985.
- TAYLOR, C. A.; SOUCEK, D. J. Re-examining the Importance of Fish in the Diets of Stream-dwelling Crayfishes: Implications for Food Web Analyses and Conservation. **American Midland Naturalist**, Vol. 163, No. 2 (April), pp. 280-293. 2010.
- TIUNOV, A.V. Stable isotopes of carbon and nitrogen in soil ecological studies. **Biology Bulletin**, v. 34, n. 4, p. 395-407, 2007.
- TUCKER, J., SHEATS, N., GIBLIN, A.E.. Using stable isotopes to trace sewage derived material through Boston Harbor and Massachusetts Bay. **Marine Environmental Research**. 48, 353–375. 1999.
- TURRA, E. M.; OLIVEIRA, D. A. A.; TEIXEIRA, E. A.; LUZ, R. K.; PRADO, S. A.; MELO, D.C.; FARIA, P.M.C.; SOUSA, A.B. Controle reprodutivo em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por meio de manipulações sexuais e cromossômicas. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**. Belo Horizonte, v.34, n.1, p.21-28, jan./mar. 2010.
- VANDER-ZANDEN, M. J.; CABANA, G.; RASMUSSEN, J. B. Primary Consumer d13C and d15N the trophic position of aquatic consumers. **Ecology**, 80(4): 395 – 1404, 1999.

- VANDERKLIFT, M.A., PONSARD, S. Sources of variation in consumer-diet delta N-15 enrichment: a meta-analysis. **Oecologia**, 136, 169–182. 2003.
- VAN DOVER, C. L.; GRASSLE, J. F.; FRY, B. Stable isotope evidence for entry of sewage-derived organic material into a deep-sea food web. **Nature**, 360, 153–155. 1992.
- VASLET, A.; FRANCE, C.; BALDWIN, C. C. & FELLER, I. C. Dietary habits of juveniles of the Mayan cichlid, *Cichlasoma urophthalmus*, in mangrove ponds of an offshore islet in Belize, Central America. **Neotropical Ichthyology**. 10(3):667-674, 2012.
- VEVERICA, K.; BOWMAN, J.; GICHURI, W.; IZARU, P.; MWAU, P.; POPMA, T. Relative contribution of supplemental feed and inorganic fertilizers in semi-intensive tilapia production. **In**: K. McElwee, D. Burke, M. Niles, X. Cummings, and H. Egna (Editors), Seventeenth Annual Technical Report. **Pond Dynamics/ Aquaculture CRSP**, Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 23–28. 2000.
- VRIES, M. S. The Feeding Morphology and Ecology of Stomatopod Crustaceans. **A dissertation of Doctor of Philosophy**. University of California – Berkeley. 2012.
- WAGNER, C. E.; MCLNTYRE, P. B.; BUELS, K. S.; GILBERT, D. M.; MICHEL, E. Diet predicts intestine length in Lake Tanganyika's cichlid fishes. **Functional Ecology**. 23, 1 122-1 131. 2012.
- WAHAB, M. A.; AZIM, M. E.; ALI, M. H.; BEVERIDGE, M. C. M.; KHAN, S. The potential of periphyton based culture of the native major carp calbaush, *Labeocalbasu* (Hamilton). **Aquaculture Research**., Bangladesh, v.30, p.409-419, 1999.
- WARD, E. J.; SEMMENS, B. X.; PHILLIPS, D. L.; MOORE, J. W.; N. BOUWES, A quantitative approach to combine sources in stable isotope mixing models. February. **Echosphere**. V. 2(2). 2011.
- WETZEL, R. G. Opening remarks. **In**: WETZEL, R. G., ed. Periphyton in freshwater ecosystems. The Hague: Dr. W. Junk Publishers. Developments in Hydrobiology, no. 17. p. 3-4. 1983.
- WETZEL, R. G. **Limnology**: lake and river ecosystems. San Diego: Academic Press, 2001.
- WOLF, N.; CARLETON, S. A.; MARTINEZ DEL RIO, C. Ten years of experimental animal isotopic ecology. **Functional Ecology**. Vol. 23, No. 1. Feb. pp. 17-26. 2009.
- ZAVALA-CAMIN, L. A. Alimentação de peixes. **In**: AGOSTINHO, A. A. e BENEDITOCECILIO, E., eds. **Situação atual e perspectivas da ictiologia no Brasil**. Maringá. Editora da Universidade Estadual de Maringá. 121p. 1992.
- ZAVALA-CAMIN, L. A. Introdução aos estudos sobre alimentação natural em peixes. Maringá: **Eduem**. 129p. 1996.
- ZERFASS, G.S.A.; SÁNCHEZ, F. J. S.; CHEMALE JR., F. Aplicação de Métodos Isotópicos e Numéricos em Paleoceanografia com Base em Foraminíferos Planctônicos. **Terræ Didactica**. 7(1):4-17, 2011.
- ZORZAL-ALMEIDA, S.; FERNANDES, V. O. Influência da predação de tilápia (*Oreochromis* sp.) na estrutura da comunidade de algas perifíticas em tanque de piscicultura tropical. **Neotropical Biology and Conservation**. p. 49-54. Vol. 9. Nº 1. January - April 2014.

ZUANON, J. A. S. Turnover de carbono em tecido muscular de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por meio dos isótopos estáveis de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). **Tese (Doutorado)**. Jaboticabal. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2003.

ZUANON, J.A.S.; PEZZATO, A.C.; DUCATTI, C.; BARROS, M.M.; PEZZATO, L.E.; PASSOS, J.R.S. Muscle $\delta^{13}\text{C}$ change in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings fed on C_3 -or C_4 -cycle plants grain-based diets. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A 147. 761–765. 2007.

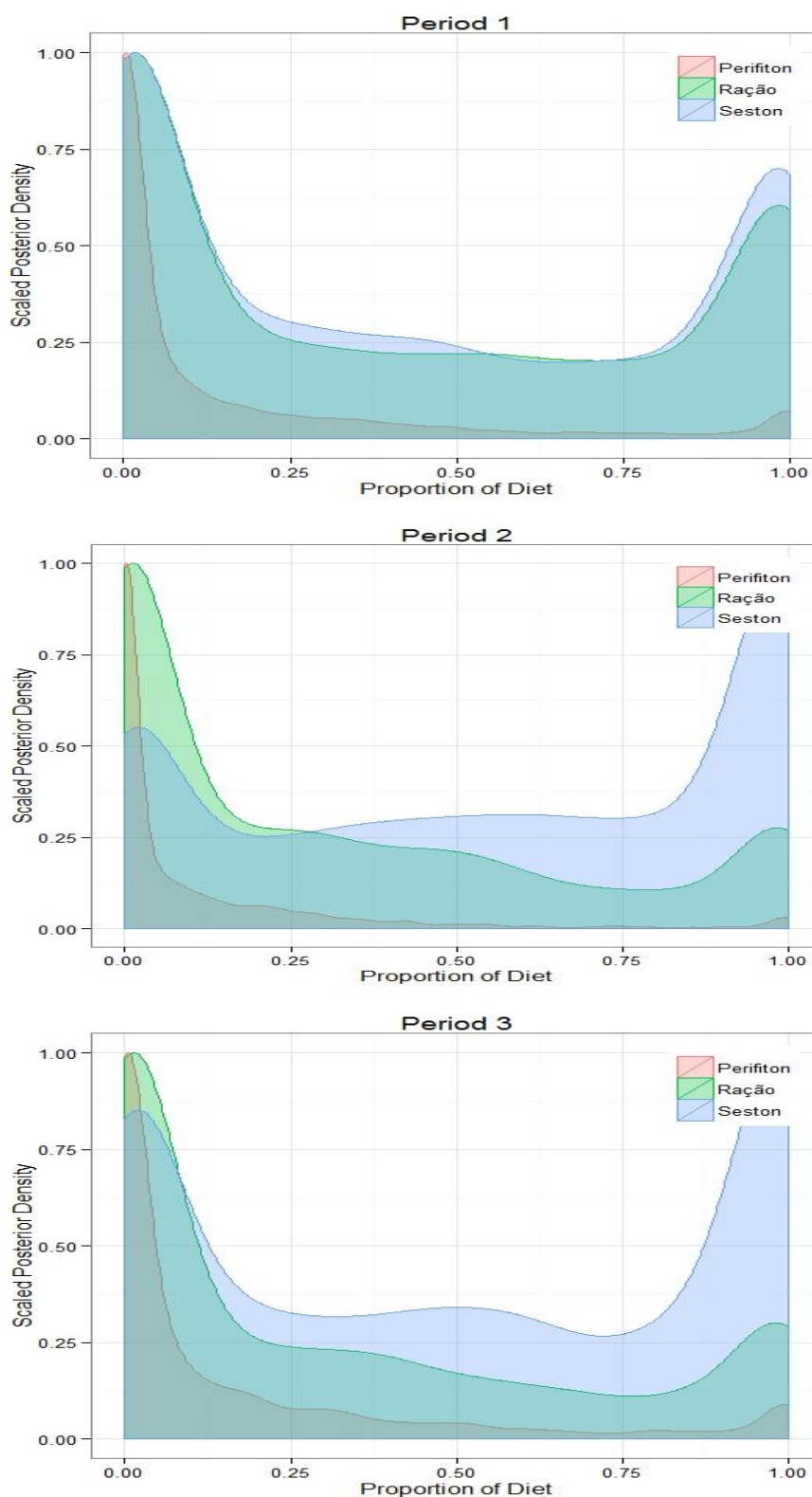
10. APÊNDICE

Tabela 1 – Formulação das rações ofertadas durante o cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz.

Formulação das rações comerciais		
Características e componentes	Tipos de Ração	
	40 % de PB	32 % de PB
Níveis por Kg do Produto		
Umidade (máximo)	120 g/Kg	120 g/Kg
Proteína Bruta (mínimo)	400g/kg	320 g/Kg
Extrato Etéreo (mínimo)	75 g/Kg	60 g/Kg
Fibra Bruta (máximo)	50 g/Kg	70 g/Kg
Matéria Mineral (máximo)	130 g/Kg	110 g/Kg
Cálcio (mínimo)	10 g/Kg	10 g/Kg
Cálcio (máximo)	35 g/Kg	30 g/Kg
Fósforo (mínimo)	7.000 mg/Kg	6.000 mg/Kg
Vitamina Hidrossolúveis		
Vitamina C	400 mg/Kg	300 mg/Kg
Tiamina B ₁	20 mg/Kg	20,25 mg/Kg
Riboflavina B ₂	20 mg/Kg	20,25 mg/Kg
Piridoxina B ₆	20 mg/Kg	20,25 mg/Kg
Pantotenato de Cálcio	40 mg/Kg	36 mg/Kg
Niacina	120 mg/Kg	112,5 mg/Kg
Biotina	0,6 mg/Kg	0,585 mg/Kg
Ácido Fólico	6 mg/Kg	5,4 mg/Kg
Cianocobalamina B ₁₂	24 µg/Kg	22,5 µg/Kg
Inositol	80 mg/Kg	81 mg/Kg
Colina	800 mg/Kg	800 mg/Kg
Vitaminas Lipossolúveis		
Vitamina A	10.000 UI/Kg	9.000 UI/Kg
Vitamina D ₃	3.200 UI/Kg	3.150 UI/Kg
Vitamina E	120 mg/Kg	135 mg/Kg
Vitamina K ₃	12 mg/Kg	9 mg/Kg
Minerais		
Cobre	30 mg/Kg	25 mg/Kg
Cobalto	0,72 mg/Kg	0,6 mg/Kg
Ferro	75 mg/Kg	62,5 mg/Kg
Iodo	1,5 mg/Kg	1,25 mg/Kg
Magnésio	37,5 mg/Kg	31,25 mg/Kg
Manganês	75 mg/Kg	62,5 mg/Kg
Selênio	0,3 mg/Kg	0,25 mg/Kg
Zinco	120 mg/Kg	100 mg/Kg

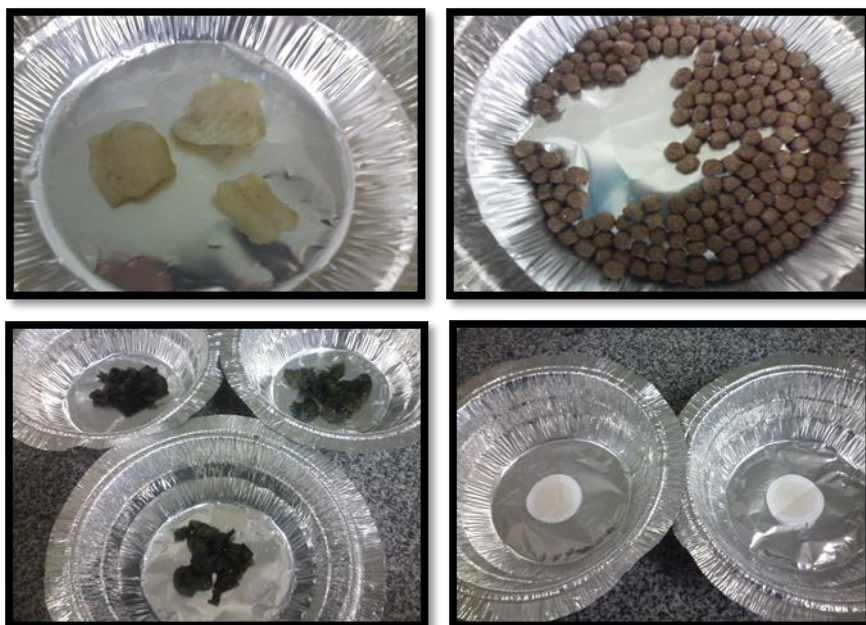
Fonte: Arquivo da autora, 2013.

Legenda: UI/Kg – Unidade internacional específica a cada item; PB – Proteína Bruta.



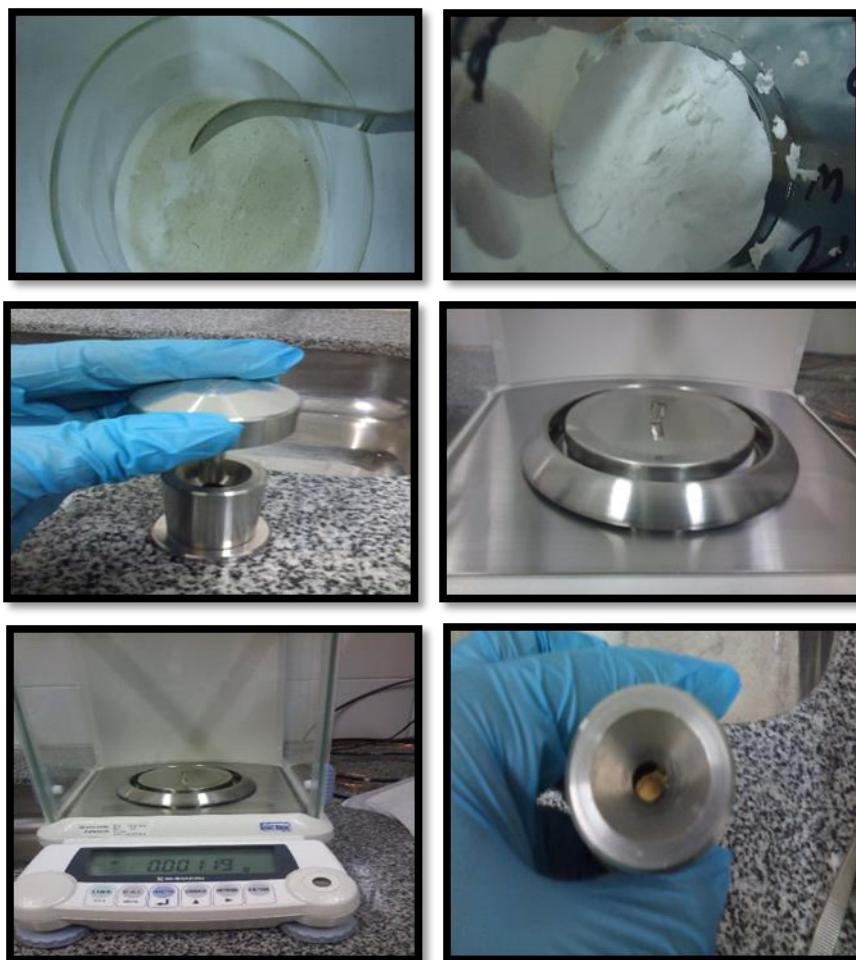
Fonte: Arquivo da autora, 2015.

Figura 8 – Contribuição relativa das dietas disponíveis nos três períodos de cultivo (30 dias, 60-90 dias e 120 dias) determinado pelo modelo MixSIAR.



Fonte: Arquivo da autora, 2014.

Figura 9 – Amostras sendo preparadas para a secagem em estufa.



Fonte: Arquivo da autora, 2014.

Figura 10 - Medidas de peso das amostras e armazenamento em cápsulas de estanho.



Fonte: Arquivo da autora, 2014.

Figura11 – Organização sequencial de amostras, embalagem e envio para realização das análises isotópicas de ^{13}C e ^{15}N .