



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

Relação dureza/alcalinidade da água e seus efeitos sobre a qualidade da
água, do solo e desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo,
Oreochromis niloticus, mantidos em condições laboratoriais

DAVI DE HOLANDA CAVALCANTE

Orientador: Prof. Dr. Marcelo V.C. Sá

FORTALEZA - CEARÁ

FEVEREIRO/2012

DAVI DE HOLANDA CAVALCANTE

RELAÇÃO DUREZA/ALCALINIDADE DA ÁGUA E SEUS EFEITOS
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA, DO SOLO E DESEMPENHO
ZOOTÉCNICO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO, *Oreochromis
niloticus*, MANTIDOS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

Dissertação submetida à coordenação
do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Pesca, da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia de
Pesca.

Orientador: Marcelo Vinícius do
Carmo e Sá

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

C364r

Cavalcante, Davi de Holanda.

Relação dureza/alcalinidade da água e seus efeitos sobre a qualidade da água, do solo e desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos em condições laboratoriais / Davi de Holanda Cavalcante. – 2012.

46 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia de Pesca, Mestrado em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2012.

Área de Concentração: Recursos Pesqueiros e Aquicultura.

Orientação: Prof. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

1. Piscicultura. 2. Produção pesqueira. 3. Aquicultura. I. Título.

CDD 639.2

DAVI DE HOLANDA CAVALCANTE

RELAÇÃO DUREZA/ALCALINIDADE DA ÁGUA E SEUS EFEITOS
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA, DO SOLO E DESEMPENHO
ZOOTÉCNICO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO, *Oreochromis
niloticus*, MANTIDOS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

Dissertação submetida à coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Pesca.

Aprovada em 14/02/2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá (Orientador)

Prof^a. Dr^a. Lúcia Helena Sipaúba Tavares

Prof. Dr. Alberto Jorge Pinto Nunes

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar os efeitos de relações dureza/alcalinidade da água desequilibradas sobre a qualidade da água, do solo e o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos em condições laboratoriais. Além disso, buscou-se determinar se os possíveis efeitos adversos decorrentes das relações dureza/alcalinidade da água desequilibradas sobre o crescimento dos peixes poderiam ser minimizados pela elevação da alcalinidade total da água de cultivo. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, do Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. Neste trabalho, foram realizados três experimentos completos. Em cada trabalho, havia seis grupos experimentais, distribuídos segundo delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2 x 3. O primeiro fator avaliado foi a alcalinidade total (AT) da água de cultivo, havendo dois níveis, 50 e 100 mg L⁻¹ CaCO₃ eq. O segundo fator avaliado foi a relação dureza cálcica/alcalinidade total (DC/AT) da água, onde foram testadas três relações, 1/2, 1/1 e 5/1. No primeiro experimento, os peixes foram cultivados na sala coberta do laboratório, em 30 tanques circulares de polietileno com volume útil de 100 litros cada um. Nesse trabalho, não havia substrato arenoso nos tanques de cultivo. O segundo experimento foi realizado nas mesmas condições experimentais do experimento anterior, exceto pela presença de substrato de fundo nos tanques de cultivo, formado por uma camada de aproximadamente 5 cm de areia em cada tanque. O terceiro experimento foi realizado na área descoberta do laboratório, onde há exposição da água dos tanques à radiação solar. Nesse trabalho, foram utilizados 36 tanques de polietileno com volume útil de 250 litros cada um. No início dos trabalhos, foram estocados, quatro, três e seis peixes em cada tanque dos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. O primeiro experimento durou 10 semanas; os dois últimos, oito semanas. Não houve diferença significativa no desempenho zootécnico dos peixes entre as AT de 50 mg L⁻¹ CaCO₃ e 100 mg L⁻¹ CaCO₃. Por outro lado, houve prejuízo zootécnico para as relações DC/AT desequilibradas de 1/2 e 5/1, em relação ao grupo-controle (relação DC/AT de 1/1). O impacto negativo do desequilíbrio das relações DC/AT, tanto para cima (DC/AT > 1), como para baixo (DC/AT < 1), dependeu da magnitude da diferença existente entre os valores absolutos de dureza e alcalinidade. Pequeno desequilíbrio na relação DC/AT da água causou prejuízos mínimos aos peixes, mas desequilíbrio acentuado causou grandes prejuízos zootécnicos.

Palavras-chave: relação dureza/alcalinidade, qualidade de água, tilápia.

ABSTRACT

The present work aimed to determine the effects of unbalanced calcium hardness/total alkalinity (CH/TA) ratios on the water quality, soil quality and growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles, reared in controlled conditions. Besides, it was also sought if the possible adverse effects of the unbalanced CH/TA ratios of fish growth performance could be minimized by the fish culture water's total alkalinity (TA) increasing. The experiments were carried out in the Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, of the Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. In this study, three complete experiments were performed. In each trial, there were six experimental groups, which were distributed according to a totally randomized design, in a 2 x 3 factorial arrangement. The first factor under scrutiny was the TA of the culture water in two levels (50 and 100 mg L⁻¹ CaCO₃ eq.). The second factor was the CH/TA ratio of the culture water in three levels (1/2, 1/1 and 5/1). In the first experiment, fish were reared in the roofed room of the laboratory, using 30 polyethylene circular 100-L tanks with no addition of bottom substrate. The second experiment was carried out in the same room used in the previous experiment, but the bottom of the tanks received a 5-cm layer of sand substrate. The third experiment was carried out in the open area of the lab in which the tank water is exposed directly to sunlight. In this last experiment, there were 36 polyethylene circular 250-L tanks with no bottom substrate. The respective stocking densities were 4, 3 and 6 fish per tank and the experiments lasted 10 (1st) and 8 (2nd and 3rd) weeks. No significant differences were observed between the treatments for the TA of water (50 and 100 mg L⁻¹ CaCO₃ eq.). On the other hand, there was fish growth performance impairment caused by the unbalanced CH/TA ratios (1/2 and 5/1) of water when compared to the control (CH/TA ratio = 1/1). The negative impact of the unbalanced CH/TA ratios on fish growth performance, either upwards (CH/TA > 1) or downwards (CH/TA < 1), was dependent on the degree that there was between the absolute values of hardness and alkalinity. Small unbalance in the CH/TA ratio of culture water caused little growth retardation, but the higher unbalance produced considerable impairment in fish growth.

Key-words: hardness/alkalinity ratio, water quality, tilapia

LISTA DE TABELAS

1.	Delineamento experimental empregado no presente projeto de pesquisa.....	15
2.	Alcalinidade total e dureza cálcica da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo.1º experimento - Cultivo em águas claras sem substrato de fundo nos tanques.....	18
3.	Alcalinidade total e dureza cálcica da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia. 2º experimento -Cultivo em águas claras com substrato de fundo nos tanques.....	18
4.	TABELA 4. Alcalinidade total e dureza cálcica da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia.3º experimento - Cultivo em águas verdes sem substrato de fundo nos tanques.....	19
5.	Qualidade de água de tanques de polietileno de 100 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $1,12 \pm 0,11$ g), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total e relação dureza/alcalinidade da água (média \pm d.p.; n=5).....	23
6.	TABELA 5. Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $1,12 \pm 0,11$ g) estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 100 L submetidos a diferentes valores de alcalinidade total e relação dureza cálcica/alcalinidade total da água (média \pm d.p.; n=5).....	26
7.	Qualidade de água de tanques de polietileno de 100 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $0,49 \pm 0,04$ g), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total e relações dureza cálcica/alcalinidade total da água, (média \pm d.p.; n=5).....	29
8.	Qualidade do solo em tanques de polietileno de 100 L que foram estocados com juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $0,49 \pm 0,04$ g), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total (50 ou 100 mg/L CaCO ₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5: 1; 1: 1 ou 5: 1); média \pm d.p.; n=5).....	31
9.	Desempenho produtivo de alevinos de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $0,49 \pm 0,04$ g) estocados por 8 semanas em tanques de polietileno de 100 L com camada de solo no fundo, submetidos a diferentes valores de alcalinidade total da água (50 ou 100 mg/L CaCO ₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5: 1, 1: 1 ou 5: 1) , (média \pm d.p.; n=5).....	34
10.	Qualidade da água de cultivo de tanques circulares de polietileno de 250 L sem substrato de fundo, instalados em ambiente externo, estocados com juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $0,47 \pm 0,03$ g), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total (50 ou 100 mg L ⁻¹ CaCO ₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5:1; 1:1 e 5:1; média \pm d.p.; n=6)	36
11.	Desempenho produtivo de alevinos de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $0,47 \pm 0,03$ g) estocados por 8 semanas em tanques de polietileno de 250 L, em ambiente externo, sem substrato de fundo, submetidos a diferentes valores de alcalinidade total da água (50 ou 100 mg L ⁻¹ CaCO ₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5:1; 1:1 ou 5:1; média \pm d.p.; n=6).	39

SUMÁRIO

1	Introdução.....	07
2	Revisão bibliográfica.....	10
2.1	Alcalinidade da água.....	10
2.2	Dureza da água.....	11
2.3	Relação dureza/alcalinidade da água.....	12
2.4	Calagem em aquicultura.....	12
3	Materiais e métodos.....	14
3.1	Peixes e sistema experimental.....	14
3.2	Sistema de cultivo e delineamento experimental.....	14
3.3	Variáveis experimentais.....	20
3.4	Análises estatísticas.....	21
4	Resultados e discussão.....	22
4.1	Experimento 1 – Cultivo em águas claras sem substrato de fundo nos tanques..	22
4.1.1	Qualidade de água.....	22
4.1.2	Desempenho zootécnico.....	25
4.2	Experimento 2 – Cultivo em águas claras com substrato de fundo nos tanques..	28
4.2.1	Qualidade de água.....	28
4.2.2	Qualidade do solo.....	30
4.2.3	Desempenho zootécnico.....	33
4.3	Experimento 3 – Cultivo em águas verdes em tanques sem substrato de fundo..	35
4.3.1	Qualidade de água.....	35
4.3.2	Desempenho zootécnico.....	38
5	Conclusões.....	41
6	Referências bibliográficas.....	42

1. INTRODUÇÃO

A produção pesqueira do Brasil em 2008 foi de 1.156.423 ton, o que representou aumento de 7,8% em relação a 2007. Desse total, a aquicultura respondeu por 35.9% da produção (415.649 ton). Dentre as espécies cultivadas no Brasil, destaca-se a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, com produção total de 132.957 t, em 2008 (IBAMA, 2011). O Brasil é um dos sete maiores produtores mundiais de tilápia cultivada, ficando atrás apenas da China, Egito, Filipinas, Indonésia, Tailândia e Taiwan (FAO, 2011). Dos Estados brasileiros, o Ceará é o maior produtor de tilápia, tendo produzido 20.000 t ou 20% da produção nacional em 2008 (IBAMA, 2011).

Diferentes variáveis de qualidade de água influenciam o crescimento, a reprodução, a saúde e a sobrevivência das tilápias cultivadas. Grande parte do sucesso do cultivo de tilápia depende da qualidade da água na qual os animais vivem. Por isso, os tilapicultores estão permanentemente em busca de melhores condições de qualidade de água em seus tanques e viveiros, especialmente aqueles destinados a alevinagem e recria (SIPAÚBA-TAVARES, 1995). Dentre os aspectos limnológicos de importância para vida aquática, destacamos o equilíbrio ácido-base da água. Este equilíbrio está diretamente relacionado à alcalinidade e dureza da água. As relações entre essas variáveis necessitam ser corretamente compreendidas para que se possa manejar corretamente as unidades de cultivo (VINATEA, 2004).

A dureza total da água é a soma das concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) presentes na água, além de outros cátions divalentes que contribuem em menores concentrações. O valor recomendado para dureza total em viveiros de aquicultura está compreendido entre 20 e 200 $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ (ZWEIG et al., 1999). O cálcio influencia o crescimento do fitoplâncton, é essencial aos animais pois participa de vários processos biológicos, tais como construção óssea, coagulação sanguínea, e muitas outras funções celulares (COOTE, 1996). Os peixes e camarões obtêm o cálcio e o magnésio que necessitam para sua fisiologia através da absorção branquial e intestinal, sendo que a primeira rota é a preferencial (HWANGET al. (1996).

Resultados experimentais têm mostrado que as águas de cultivo duras exercem efeito protetor sobre a fisiologia animal quando o peixe está exposto à má qualidade de água. Townsend e Baldisserotto (2001) observaram que juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*,

cultivados em águas com pH inadequado e submetidos a estresse ácido ou alcalino, apresentaram melhor desempenho zootécnico quando a dureza da água era elevada. Além disso, Tomasso *et al.* (1980) observaram efeito positivo da dureza da água sobre a sobrevivência de bagres-do-canal, *Ictalurus punctatus*, quando os animais foram submetidos a concentrações elevadas de amônia não-ionizada.

A alcalinidade total da água representa a soma de todas as bases tituláveis presentes na água, constituindo-se, predominantemente, de bicarbonatos e carbonatos. Certos benefícios podem ser obtidos quando se tem uma alcalinidade total adequada, como maior poder tampão da água contra alterações no pH, reserva alcalina e diminuição no potencial de toxicidade de metais. A alcalinidade total desejável em viveiros de aquicultura está compreendida na seguinte faixa: 20 a 150 mg L⁻¹ CaCO₃ (VINATEA, 2004). Entretanto, melhores resultados podem ser obtidos com alcalinidade total da água acima de 60 mg L⁻¹ CaCO₃ (CAVALCANTE *et al.* 2010).

Em viveiros fertilizados de peixe, alcalinidade total da água abaixo de 20 - 30 mg L⁻¹ CaCO₃ pode afetar negativamente a produção primária. Nesse caso, a produção primária é afetada não pela escassez de nutrientes, mas sim pelo baixo pH da água que está geralmente associado à baixa alcalinidade da mesma. Com a correção do pH e da alcalinidade da água pela aplicação de calcário agrícola ou de outro produto com propriedades semelhantes (calagem), verifica-se aumento na produção primária do viveiro. Por outro lado, águas doces e fertilizadas de cultivo com alcalinidade total acima de 50 - 60 mg L⁻¹ CaCO₃ eq. ou pH do solo acima de 7,0 já não necessitariam de calagem (BOYD; WOOD; THUNJAI, 2002).

O pH da água indica o grau de acidez ou basicidade da água, sendo definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio na água. A exposição de animais a valores inadequados de pH pode ser estressante ou letal. O pH da água influencia o equilíbrio aquoso das diferentes formas químicas de amônia, sulfitos, cloro e metais. O pH ideal para aquicultura de peixes de água doce está compreendido entre 6,5 e 9,0 (COSTA-NETO, 1990).

A variação do pH da água ao longo do dia em viveiros de aquicultura está associado aos processos de fotossíntese e respiração de sua biota. Enquanto o processo fotossintético reduz as concentrações de CO₂ livre da água, aumentando seu pH, a respiração promove o processo inverso, aumentando as concentrações de CO₂ livre da água, reduzindo assim o seu pH. Grandes variações de pH da água ao longo do dia são prejudiciais ao crescimento dos peixes. Viveiros que apresentam bons níveis de alcalinidade total, mas que tenham relação

dureza: alcalinidade da água menor que 1 estão sujeitos à grandes elevações de pH da água durante o dia, por conta da fotossíntese (BOYD; TUCKER, 1998). Já em viveiros onde a relação dureza: alcalinidade da água é igual ou maior que 1, previne-se essa elevação do pH da água ao longo do dia.

A alcalinidade total, a dureza total, bem como a relação dureza/alcalinidade da água de cultivo podem ser manipuladas pela realização da calagem com a utilização de diferentes produtos. A calagem da água e do solo de viveiros de cultivo de peixes é uma das técnicas de menor custo que traz vários benefícios. Consiste na aplicação de calcários, cal ou outros sais com a finalidade de corrigir o pH da água e do solo, elevar a alcalinidade e a dureza da água (QUEIROZ *et al.*, 2004). Os produtos mais utilizados para realização da calagem de viveiros são o calcário agrícola, a cal virgem e a cal hidratada (BOYD, 1998). A qualidade do produto empregado na calagem dependerá do poder de neutralização, granulometria e concentrações de cálcio e magnésio no mesmo (THUNJAI; BOYD; BOONYARATPALIN, 2004). A relação dureza/alcalinidade da água pode ser manipulada pela aplicação de diferentes produtos na água, tais como o sulfato de cálcio (gesso agrícola), que eleva a dureza sem alterar a alcalinidade, e o carbonato de sódio, que eleva a alcalinidade sem alterar a dureza da água.

Este trabalho teve como objetivo determinar os efeitos de relações dureza/alcalinidade da água desequilibradas sobre a qualidade da água, do solo e o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* mantidos em diferentes condições laboratoriais. Além disso, buscou-se determinar se os possíveis efeitos adversos decorrentes das relações dureza/alcalinidade da água desequilibradas sobre o crescimento dos peixes poderiam ser minimizados pela elevação da alcalinidade total da água de cultivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Alcalinidade da água

A alcalinidade da água representa a sua capacidade de neutralização de ácidos, que pode ser expressa em termos de equivalentes de carbonato de cálcio (CaCO_3). Em águas naturais, a alcalinidade total se deve principalmente a hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-), embora outras substâncias possam influenciar esta propriedade (SAWYER *et al.*, 2003). Estes compostos relacionam-se entre si em um equilíbrio químico reversível, conforme a equação a seguir:



A partir desta equação é possível perceber que os diferentes compostos responsáveis pela alcalinidade da água estão interligadas de tal forma que uma mudança na concentração de algum de seus membros irá afetar o pH da água, ao alterar o equilíbrio químico da reação. Da mesma forma, uma mudança de pH afeta as relações entre os diferentes componentes do sistema (SAWYER *et al.*, 2003).

A alcalinidade da água é particularmente importante em sistemas de águas naturais, ou que se aproximam destes, nos quais o CO_2 é capturado da água pelo fitoplâncton durante a fotossíntese, tendendo a elevar o pH no período diurno. Uma alcalinidade total da água apropriada (normalmente acima de 30 mg L^{-1} de CaCO_3) evita mudanças diárias elevadas no pH da água (BOYD; TUCKER, 1998).

Compostos que oferecem resistência a mudanças de pH são conhecidas como tampões (REYNOLDS; RICHARDS, 1996). Desta forma, águas com alta alcalinidade são mais fortemente tamponadas do que águas com baixa alcalinidade (BOYD, TUCKER, 1998). Esta estabilidade de pH da água é importante, pois a maioria dos animais aquáticos apresenta uma faixa ótima de pH da água, não suportando grandes variações (HUET, 1998).

Em trabalho realizado por Cavalcante *et al.* (2009) mostraram que a utilização de carbonato de cálcio (CaCO_3) foi eficiente para elevação da dureza e alcalinidade da água,

aumentando a alcalinidade de 21,3 para 53,7 mg L⁻¹ CaCO₃, este aumento de alcalinidade propiciou melhores condições de cultivo, onde os peixes apresentaram um melhor desempenho zootécnico comparados com os que foram cultivados com alcalinidade de 21,3 mg L⁻¹.

2.2 Dureza da água

O cálcio é um nutriente essencial para a vida aquática, seja vegetal (microalgas) ou animal (peixes e camarões cultivados). O cálcio participa de importantes funções biológicas, tais como formação óssea, coagulação sanguínea, transmissão nervosa, osmorregulação, dentre outras (FLICK; VERBOST; BONGA, 1995). A concentração de cálcio da água é geralmente expressa como dureza. Além do cálcio, a dureza total também compreende o magnésio e outros cátions divalentes menos importantes (Mn⁺² e Fe⁺²; ESTEVES, 1998)

O componente mais crítico na dureza da água é a concentração de cálcio, sendo este considerado o mais importante. Quando a dureza da água indica apenas a concentração de cálcio, esta é chamada de dureza cálcica. Peixes de água doce toleram uma ampla faixa de concentrações de dureza total da água. A faixa desejável de dureza total para piscicultura vai de 20 a 200 mg L⁻¹ CaCO₃ eq. (VINATEA, 2004).

A importância de se ter uma boa dureza cálcica na água de cultivo se dá pelo fato da absorção branquial de cálcio pelos peixes ser mais importante que a absorção de cálcio pelo intestino. Portanto, a água é a principal fonte de cálcio para os peixes (FLIK; VERBOST, 1995; FERREIRA; BALDISSEROTTO, 2007).

Águas com concentrações moderadamente elevadas de cálcio reduzem a perda de sódio e potássio dos fluidos dos peixes de água doce. Já em águas com baixas concentrações de cálcio (águas moles), os peixes perdem uma quantidade considerável de sódio e potássio para o meio, prejudicando a sua osmorregulação. Com isso, pode haver desvio de energia do crescimento corporal dos peixes para a realização da osmorregulação (WOOD; McDONALD, 1988).

2.3 Relação dureza/alcalinidade da água

Em águas doces, os íons cálcio estão geralmente associados a bicarbonatos e carbonatos, formando CaCO_3 , que é um composto com baixa solubilidade em água. Em águas nos quais a alcalinidade é maior que a dureza, os íons carbonatos e bicarbonatos estão associados a outros íons que não o cálcio, tais como o potássio e o sódio. Nesse caso, formam-se compostos tais como K_2CO_3 e Na_2CO_3 , respectivamente. Esses compostos são mais solúveis em água que o CaCO_3 , permitindo maior liberação de íons CO_3^{2-} para a água, que através de hidrólise liberam íons OH^- , elevando, assim o pH da água (BOYD, 1990). Nessa situação, a relação dureza cálcica: alcalinidade total da água será menor que 1,0 e a atividade fotossintética poderá elevar o pH da água até 11 ou mais, causando mortandades massivas. Portanto, a relação DC/AT da água maior que 1 previne problemas com pH da água muito alcalino ao longo do dia.

2.4 Calagem em aquicultura

A calagem em aquicultura consiste na prática de aplicar calcário na água ou no solo do viveiro com o objetivo de corrigir o pH da água e aumentar sua alcalinidade. Além disso, quando realizada pela aplicação de calcário agrícola, que é a forma comercial do carbonato de cálcio ou carbonato de cálcio e magnésio, a calagem aumenta também a dureza da água. Geralmente, águas com alcalinidade total abaixo de $50 \text{ mgL}^{-1} \text{ CaCO}_3$ se beneficiam da calagem. A calagem é usualmente feita antes de se iniciar o ciclo de cultivo, na fase de preparação dos viveiros. Frequentemente, o calcário é misturado com os sedimentos do fundo dos viveiros com o auxílio de arado ou pode ser lançado diretamente sobre o espelho d'água (BOYD *et al.*, 2007).

Um dos efeitos importantes da calagem de viveiros está associado com a resposta à fertilização. A fertilização em aquicultura consiste basicamente na aplicação de produtos que aumentem as concentrações de nitrogênio e fósforo da água, visando estimular o crescimento

do fitoplâncton. O fitoplâncton é importante durante o cultivo por promover elevação na concentração de oxigênio dissolvido na água durante o dia, e ser utilizado como alimento natural pelos animais cultivados. Em viveiros ácidos, há liberação de ferro dos sedimentos para a água, sendo que o ferro é o principal ligante do fósforo na coluna d'água. O fósforo complexado ao ferro está indisponível para o aproveitamento do fitoplâncton. Com a calagem e conseqüente correção do pH da água e do solo, o ferro se mantém retido nos sedimentos, permitindo que o fósforo adicionado à água através da fertilização seja eficientemente utilizado pelos produtores primários (BOYD; WOOD; THUNJAI, 2002).

Rojas, Rocha e Amaral (2001), em estudo realizado com larvas de curimatá, *Prochilodus lineatus*, concluíram que a aplicação moderada de carbonato de cálcio à água de cultivo dos peixes melhorou os resultados zootécnicos (alcalinidade total = 32 mg L⁻¹ CaCO₃). Entretanto, quando a aplicação de carbonato de cálcio à água foi maior, com elevação da alcalinidade da água para 55 mg CaCO₃ L⁻¹, os resultados zootécnicos obtidos não foram favoráveis. Resultados similares a esses foram obtidos em trabalho posterior, realizado com larvas de tilápia do Nilo (ROJAS; ROCHA, 2004). Portanto, a calagem deve ser feita de acordo com as orientações técnicas pertinentes a cada situação, sob pena de trazer resultados negativos ao produtor.

Geralmente, considera-se que a aplicação de calcário no solo do viveiro traz melhores resultados do que quando aplicado diretamente sobre a água (viveiros cheios). Contudo, Queiroz *et al.* (2004) observaram que não houve diferença significativa quanto à alcalinidade e dureza da água, tampouco quanto ao pH dos sedimentos, quando se aplicou o calcário diretamente sobre as águas, sobre o fundo do viveiro vazio ou sobre o solo seguido de aragem. Quando a aplicação do calcário foi feita diretamente na água, o efeito positivo da calagem sobre a alcalinidade e dureza da água foi observado logo após duas semanas. Já sobre o pH dos sedimentos, somente após 1 – 2 meses da aplicação. Além disso, esses autores observaram que a calagem não teve nenhum efeito sobre as camadas do sedimento localizadas abaixo de 8 cm de profundidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Peixes e sistema experimental

Dois milheiros de alevinos revertidos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $0,67 \pm 0,07$ g) foram obtidos junto ao Centro de Pesquisa em Aquicultura do Departamento Nacional de Obras Contra Seca – DNOCS, localizado na cidade de Pentecoste, Ceará, distante 89 km da capital do Estado, Fortaleza. Os alevinos foram transportados por via rodoviária até o Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, do Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. Ao chegar ao laboratório, os peixes foram transferidos para um tanque circular de polietileno de 1000 L, mantido sob aeração constante, para aclimação dos animais às condições laboratoriais.

Após 24 horas da chegada dos peixes ao laboratório, foi aplicado à água do tanque de aclimação solução de permanganato de potássio P.A. na dosagem de 4 mg L⁻¹, por 48 horas, como tratamento profilático contra bacterioses. Após esse período, foi aplicado à água do tanque de aclimação dos peixes solução de tiosulfato de sódio P.A. na concentração de 4 mg L⁻¹ para neutralização do permanganato de potássio residual. Durante o período de aclimação, os peixes foram alimentados com ração farelada de alto teor protéico (PB \geq 45%, Aquaxcel, Cargill Nutrição Animal Ltda). A ração foi ofertada aos animais quatro vezes ao dia, às 8, 11, 13 e 16 horas, sendo que a taxa de arraçoamento empregada foi de 15% da biomassa total ao dia. O período de aclimação dos peixes às condições laboratoriais teve a duração de uma semana.

3.2 Sistema de cultivo e delineamento experimental

Neste trabalho, foram realizados três experimentos completos, sendo que os dois últimos experimentos aconteceram ao mesmo tempo. Em cada trabalho, havia seis grupos experimentais, distribuídos segundo delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2 x 3. O primeiro fator avaliado foi a alcalinidade total da água de cultivo, havendo dois níveis, 50 e 100 mg L⁻¹ CaCO₃ eq. O segundo fator

avaliado foi a relação dureza cálcica/alcalinidade total da água, onde foram testadas três relações, 1/2, 1/1 e 5/1 (Tabela 1).

O planejamento do presente trabalho se baseou na realização de quatro experimentos consecutivos, iniciando-se em sistema de cultivo de grande controle ambiental (1º experimento), e concluindo-se o trabalho em sistema de cultivo de mínimo controle ambiental (4º experimento). De acordo com o previsto, o 1º dos experimentos programados receberia os grupos-controles e tratamentos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Delineamento experimental empregado no presente projeto de pesquisa

Alcalinidade total da água (mg L ⁻¹ CaCO ₃ eq.)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água ¹		
	1/2	1/1	5/1
50	T1	C1	T2
100	T3	C2	T4

¹C1 e C2: controles experimentais; relação dureza/alcalinidade da água equilibrada; T1, T2, T3 e T4: grupos tratados; relação dureza/alcalinidade da água desequilibrada.

A seguir, está apresentado o delineamento geral adotado no presente projeto de pesquisa:

- 1º experimento:** Sistema de cultivo *indoor* (águas claras), com tanques sem substrato de fundo (máximo controle ambiental);
- 2º experimento:** Sistema de cultivo *indoor* (águas claras), com tanques com substrato de fundo (controle ambiental moderado);
- 3º experimento:** Sistema de cultivo *outdoor* (águas verdes), com tanques sem substrato de fundo (baixo controle ambiental);
- 4º experimento:** Sistema de cultivo *outdoor* (águas verdes), com tanques com substrato de fundo (controle ambiental mínimo).

À medida que se avançasse nos experimentos programados, seriam excluídos os tratamentos de baixo desempenho zootécnico nos experimentos posteriores. Isso permitiria aumentar o número de repetições dos tratamentos remanescentes. Com isso,

esperava-se dar maior relevância aos resultados finais obtidos por ocasião do último experimento.

Entretanto, dos quatro experimentos acima, conseguiu-se realizar, em tempo hábil, apenas os três primeiros experimentos que estavam programados, cujos resultados estão apresentados a seguir.

Experimento 1 – Cultivo em águas claras sem substrato de fundo nos tanques

O primeiro experimento foi desenvolvido em sala coberta do laboratório, utilizando-se de 30 tanques circulares de polietileno com volume útil de 100 litros cada um. Nesse experimento, seguiu-se o delineamento experimental apresentado na Tabela 1. Havia cinco repetições por grupo-controle ou tratamento. Os tanques experimentais foram mantidos sob aeração constante, fornecida através de um soprador de ar de 2 HP, conectado a tubulações de PVC, mangueiras e pedras porosas. No início do experimento, quatro juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal = $1,12 \pm 0,11$ g) foram estocados em cada tanque de cultivo. Apenas durante a primeira semana, os peixes mortos foram substituídos por outros peixes com peso e comprimento aproximados. Os peixes foram mantidos no sistema experimental por dez semanas. Nesse experimento, não havia substrato arenoso nos tanques de cultivo.

Experimento 2 – Cultivo em águas claras com substrato de fundo nos tanques

O segundo experimento foi realizado nas mesmas condições experimentais do experimento anterior, exceto pela presença de substrato de fundo nos tanques de cultivo, peso corporal inicial dos peixes e densidade de estocagem. No início do experimento, três alevinos de tilápia do Nilo (peso corporal = $0,49 \pm 0,04$ g) foram estocados em cada tanque de cultivo. Nesse trabalho, os peixes foram mantidos no sistema experimental por oito semanas. Em cada tanque de cultivo foi adicionado substrato (areia grossa), formando uma camada de aproximadamente 5 cm de areia em cada tanque.

Experimento 3 – Cultivo em águas verdes sem substrato de fundo nos tanques

O terceiro experimento foi realizado em área descoberta do laboratório, onde há exposição da água dos tanques à radiação solar. Nesse trabalho, foram utilizados 36

tanques de polietileno com volume útil de 250 litros cada um. Não havia aeração mecânica da água dos tanques, nem troca de água durante o experimento, apenas reposição de água para manutenção do nível. No início do experimento, foram estocados seis alevinos de tilápia do Nilo (peso corporal = $0,47 \pm 0,03$ g), em cada tanque de cultivo. Durante a primeira semana de cultivo, os alevinos mortos foram repostos por outros com peso e comprimento semelhantes. Não havia substrato de fundo nos tanques de cultivo. Os peixes foram mantidos nesse sistema experimental de cultivo por oito semanas.

A alcalinidade total e a dureza cálcica da água inicial (torneira) eram iguais a $52,4 \pm 2,5$ mg L⁻¹ CaCO₃ eq. e $30,3 \pm 2,2$ mg L⁻¹ CaCO₃eq, respectivamente. Para manipulação da relação dureza cálcica/alcalinidade total (DC/AT) das águas dos tanques experimentais foram utilizados os seguintes produtos, todos com qualidade p.a.: ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), carbonato de sódio (Na₂CO₃) e cloreto de cálcio (CaCl₂). A aplicação de EDTA na água para redução da dureza cálcica foi realizada a partir da seguinte equação proposta por Pinheiro *et al.* (2011): $y = -0.0911x + 3.3628$, onde “x” representa o valor de dureza cálcica (mg L⁻¹) que se deseja reduzir e “y” representa a quantidade de EDTA (mg L⁻¹) que deve ser aplicado na água. O carbonato de sódio foi utilizado para elevação da alcalinidade total, sem alteração na dureza da água, e o cloreto de sódio foi utilizado para elevação da dureza cálcica, sem alteração na alcalinidade da água.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos no 1º experimento para alcalinidade total, dureza cálcica e dureza total. Os valores obtidos para essas variáveis ficaram próximos dos desejados. Contudo não dá para se manipular de forma precisa o nível de alcalinidade total da água que cada tratamento vai possuir, nem tampouco prever alterações físico-químicas que ocorrem no decorrer do tratamento, portanto os tratamentos não possuem de forma precisa as concentrações de alcalinidade total e dureza cálcica que se desejavam. Porém todos os resultados estão próximos dos valores desejados.

Os resultados mostram que todos os tratamentos estão dentro da faixa de referência para alcalinidade da água para aquicultura, que é de 20 a 150 mg L⁻¹ CaCO₃ (COSTA-NETO, 1990). Para dureza cálcica apenas os tratamentos que tinham relação

DC/AT de 5/1 tiveram valor médio maior que a referência para o cultivo (entre 20 e 200 mg L⁻¹ CaCO₃).

TABELA 2. Alcalinidade total e dureza cálcica da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo.1º experimento - Cultivo em águas claras sem substrato de fundo nos tanques

Variável	Alcalinidade total da água (mg L ⁻¹ CaCO ₃ eq.)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		1/2	1/1	5/1
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	50	50,12 ± 0,90	50,88 ± 1,27	50,40 ± 1,38
	100	92,96 ± 1,11	93,05 ± 2,11	92,48 ± 0,78
Dureza cálcica (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	50	28,27 ± 1,36	49,38 ± 1,31	247,65 ± 0,65
	100	50,80 ± 0,78	100,65 ± 2,63	502,22 ± 1,96
Dureza total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	50	59,61 ± 2,75	91,61 ± 2,21	299,10 ± 1,21
	100	86,13 ± 1,83	141,18 ± 2,15	584,43 ± 3,36

A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam os resultados para alcalinidade total, dureza cálcica e dureza total dos experimentos 2 e 3, respectivamente. Assim como no 1º experimento o 2º e 3º experimentos tiveram resultados parecidos para alcalinidade total e dureza cálcica, onde em todos os tratamentos a alcalinidade total estava de acordo com as referências adequadas para cultivo de peixes, e nos tratamentos onde se tinham uma relação DC/AT de 5/1 tinha-se uma inadequação para a variável dureza cálcica.

TABELA 3. Alcalinidade total e dureza cálcica da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia. 2º experimento -Cultivo em águas claras com substrato de fundo nos tanques

Variável	Alcalinidade total da água (mg L ⁻¹ CaCO ₃ eq.)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		1/2	1/1	5/1
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	50	49,89 ± 2,99	50,00 ± 2,93	48,90 ± 2,30
	100	99,22 ± 3,68	97,68 ± 3,30	95,43 ± 4,27
Dureza cálcica (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	50	27,12 ± 2,12	50,52 ± 2,07	238,87 ± 12,21
	100	47,63 ± 1,97	99,03 ± 6,45	465,82 ± 8,12
Dureza total (mg L ⁻¹ .CaCO ₃)	50	87,62 ± 3,56	111,57 ± 3,17	301,51 ± 4,50
	100	107,72 ± 3,37	158,38 ± 6,17	526,19 ± 9,85

TABELA 4. Alcalinidade total e dureza cálcica da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia. 3º experimento - Cultivo em águas verdes sem substrato de fundo nos tanques

Variável	Alcalinidade total da água (mg L ⁻¹ CaCO ₃ eq.)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		1/2	1/1	5/1
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	50	52,44 ± 5,26	56,38 ± 3,36	55,09 ± 3,97
	100	104,87 ± 4,88	105,46 ± 5,08	104,23 ± 4,60
Dureza cálcica (mgL ⁻¹ CaCO ₃)	50	27,71 ± 4,70	48,44 ± 2,10	231,51 ± 9,92
	100	50,19 ± 3,15	98,96 ± 3,01	482,03 ± 23,96
Dureza total (mg L ⁻¹ .CaCO ₃)	50	57,67 ± 5,26	96,19 ± 4,73	277,35 ± 9,10
	100	93,80 ± 4,30	146,65 ± 5,93	519,37 ± 13,21

Durante os períodos experimentais (1º, 2º e 3º experimentos), os peixes foram alimentados com a mesma ração comercial utilizada no período de aclimação. O manejo alimentar adotado nos três experimentos realizados seguiu as recomendações constantes no Quadro 1.

QUADRO 1–Manejo alimentar dos peixes em todos os experimentos realizados

Faixa de peso corporal (g)	Taxa de arraçoamento (% da biomassa ao dia)	Número de tratamentos ao dia	Horário dos tratamentos alimentares (h)	Granulometria da ração (mm)
1,0 – 1,5	20	6	8, 9, 11, 13, 14, 16	< 0,5
1,5 – 2,0	18	6	8, 9, 11, 13, 14, 16	< 0,5
2,0 – 2,5	16	5	8, 10, 12, 14, 16	0,8
2,5 – 3,0	15	5	8, 10, 12, 14, 16	0,8
3,0 – 3,5	14	5	8, 10, 12, 14, 16	0,8
3,5 – 4,5	13	4	8, 11, 13 e 16	0,8
4,5 – 5,5	12	4	8, 11, 13 e 16	1,5 – 1,7
5,5 – 7,0	11	4	8, 11, 13 e 16	1,5 – 1,7
7,0 – 9,0	10	4	8, 11, 13 e 16	1,5 – 1,7
9,0 – 16,0	9	4	8, 11, 13 e 16	1,5 – 1,7
16,0 – 20,0	8	4	8, 11, 13 e 16	1,5 – 1,7
20,0 – 25,0	7	4	8, 11, 13 e 16	2,0 – 4,0
25,0 – 30,0	6	4	8, 11, 13 e 16	2,0 – 4,0

3.3 Variáveis experimentais

Nos três experimentos realizados, foram analisadas variáveis de qualidade de água e de desempenho zootécnico. No segundo experimento, além daquelas, havia ainda variáveis de qualidade de solo.

As variáveis de qualidade de água observadas durante os experimentos foram as seguintes:

- Quinzenalmente (sempre no período da manhã):
 - Alcalinidade total;
 - Dureza cálcica;
 - Amônia total;
 - Fósforo reativo;
 - Nitrito.

- Diariamente (duas vezes ao dia, às 8 e 16 h):
 - Temperatura;
 - pH;
 - Condutividade elétrica da água.

O pH da água foi determinado através de pH-metro de bancada (Marconi, PA 200). A condutividade elétrica e a temperatura da água foram obtidas através de condutivímetro digital portátil (Schott, HANDYLAB LF1). As determinações analíticas de alcalinidade total, dureza cálcica, amônia total, fósforo reativo e nitrito foram realizadas de acordo com metodologias recomendadas pela APHA (1999), descritas brevemente a seguir.

A determinação da alcalinidade total da água foi realizada através da titulação com solução-padrão de ácido sulfúrico e a utilização dos indicadores de fenolftaleína e alaranjado de metila. Os pontos de viragem desses indicadores são utilizados na determinação das alcalinidades (fenolftaleína e total). A dureza cálcica foi determinada através da titulação da amostra de água com solução-padrão de EDTA. Nessa metodologia, utiliza-se como indicador a murexida. O EDTA se liga ao cálcio, retirando-o de solução. Quando não há mais o complexo murexida-cálcio na água, há

uma mudança na coloração da solução. Através do volume gasto de solução de EDTA é então calculado o valor da dureza cálcica. Nas determinações das concentrações de amônia total, fósforo reativo e nitrito foi utilizado o espectrofotômetro visível ThermoScientific, GENESYS 20.

Nos três experimentos, as variáveis de desempenho zootécnico observadas foram as seguintes:

- Peso corporal;
- Comprimento corporal total;
- Sobrevivência;
- Fator de conversão alimentar (FCA);
- Taxa de crescimento específico (TCE).

No segundo experimento realizado, foram realizadas as seguintes análises de solo:

- pH;
- demanda por calcário;
- concentração de carbono orgânico.

As determinações de qualidade de solo foram realizadas antes do início e ao final do experimento, de acordo com Boydet al. (2002)

3.4. Análises estatísticas

Os resultados de qualidade de água, qualidade de solo e de desempenho zootécnico foram submetidos à análise de variância bifatorial 3 x 2 (ANOVA). Quando havia diferença significativa entre os resultados, estes eram então submetidos, dois a dois, ao teste de Tukey para comparação das médias. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sigma Stat 2.0 (JandelStatistics, EUA). O nível de significância adotado foi de 5% em todas as variáveis experimentais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1 – Cultivo em águas claras sem substrato de fundo nos tanques

4.1.1 Qualidade de água

A concentração de nitrogênio amoniacal total na água se refere à soma de ambas as formas de amônia e pode ser representado como $N-NH_3+NH_4^+$. As proporções de NH_3 e NH_4^+ na água dependem principalmente da temperatura e do pH da água. A concentração relativa de NH_3 aumenta com o aumento da temperatura e do pH da água. Em criações comerciais, a alimentação fornecida aos animais é a maior fonte de matéria orgânica protéica que, após decomposição, libera amônia para água. A toxicidade da amônia é maior do meio para o final da tarde quando o pH e a temperatura da água atingem seus valores máximos. Nestas condições, a amônia não ionizada (tóxica) atinge seus níveis mais críticos no tanque. No primeiro experimento do presente trabalho, a concentração média de nitrogênio amoniacal total (NAT) na água não diferiu significativamente entre os tratamentos. A média geral foi de $0,57 \pm 0,03 \text{ mgL}^{-1}$ (Tabela 5). Este valor médio está um pouco acima da referência para aquicultura que é menor que $0,5 \text{ mg/L}$ (BOYD; TUCKER, 1998).

Altas concentrações do íon amônio podem influenciar fortemente a dinâmica do oxigênio dissolvido do meio, uma vez que para oxidar 1 mg do íon amônio (NH_4^+) são necessários cerca de $4,3 \text{ mg}$ de oxigênio, além disso em pH básico, o íon amônio se converte a amônia (NH_3 livre), que permeável as brânquias dos peixes, e é tóxico para esses organismos (BOYD, 1990).

Houve diferença significativa para fósforo reativo entre os tratamentos (Tabela 5). A concentração de fósforo reativo na água foi maior quando se tinha uma relação DC/AT de $0,5/1$, em ambos os níveis de alcalinidade total. Dentre os parâmetros utilizados para a avaliação da qualidade da água, o fósforo é um dos principais. Em comparação aos outros nutrientes necessários à vida em águas naturais, o fósforo é o que ocorre em menor abundância, sendo por esta razão, frequentemente, o primeiro elemento a limitar a produtividade primária. O excesso de fósforo na água pode

desencadear um crescimento excessivo de algas, acarretando o processo de eutrofização (ESTEVEVES, 1998).

TABELA 5. Qualidade de água de tanques de polietileno de 100 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $1,12 \pm 0,11$ g), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total e relação dureza/alcalinidade da água (média \pm d.p.; n=5)

Variável	Alcalinidade total da água (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total			
		0,5/1	1/1	5/1	
Nitrogênio amoniacal total (mgL ⁻¹)	50	0,579 \pm 0,04	0,603 \pm 0,02 A	0,582 \pm 0,04	
	100	0,568 \pm 0,02 a	0,534 \pm 0,03Bb	0,572 \pm 0,03 a	
Fósforo reativo (mgL ⁻¹)	50	0,216 \pm 0,01 a	0,205 \pm 0,01 b	0,205 \pm 0,01 b	
	100	0,215 \pm 0,01 a	0,201 \pm 0,01 b	0,199 \pm 0,01 b	
Nitrito (mgL ⁻¹)	50	0,480 \pm 0,03	0,483 \pm 0,02	0,474 \pm 0,02	
	100	0,456 \pm 0,02	0,466 \pm 0,03	0,489 \pm 0,01	
Condutividade elétrica(μS cm ⁻¹)	50	600 \pm 9 Aa	712 \pm 22Ab	1506 \pm 47 Ac	
	100	750 \pm 9 Ba	846 \pm 34 Bb	2094 \pm 51 Bc	
pH	50	7,56 \pm 0,11Aa	7,58 \pm 0,06Aa	7,72 \pm 0,07Ab	
	100	7,83 \pm 0,10Ba	7,89 \pm 0,09Ba	7,64 \pm 0,05Bb	
P da ANOVA bifatorial					
	Amônia	Fósforo	Nitrito	Condut.	pH
Alcalinidade	ns ²	ns	ns	<0,001	<0,05
Relação D/A	ns	ns	ns	<0,001	<0,001
Alcalin. x Relação	ns	ns	ns	<0,001	ns

¹ Para cada variável, diferentes letras maiúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa entre as médias pelo teste deTukey (P<0,05); ² Para cada variável, diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste deTukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, representa ausência de significância estatística entre as médias consideradas;

² Não significativo (P>0,05).

A concentração média de nitrito na água em todos os tratamentos foi de $0,47 \pm 0,02$ mgL⁻¹, não havendo diferença significativa entre os resultados (Tabela 5). A concentração desejável de nitrito na água para aquicultura é menor que $0,30$ mgL⁻¹ (KUBTIZA, 2003). Portanto, as concentrações de nitrito observadas nesse trabalho estão acima do desejado para criação de peixes. A elevação da alcalinidade da água de 50 para 100 mgL⁻¹ CaCO₃ e a elevação da relação DC/AT de 1/1 para 5/1 não tiveram

efeito sobre a concentração de nitrito elevado na água. O nitrito presente na água entra no sistema circulatório dos peixes, através das brânquias. O nitrito oxida o ferro da hemoglobina do estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}). Como resultado, forma-se, através desse processo reversível, a meta-hemoglobina, que é incapaz de transportar oxigênio até os tecidos. Como prevenção dos problemas causados pelo nitrito aos peixes pode ser adicionado sal comum (NaCl) à água de cultivo (VINATEA, 2004).

O nitrito (NO_2^-) é o composto intermediário da oxidação do íon amônio (NH_4^+) em nitrato (NO_3^-). Na transformação de íons amônio em nitrato (nitrificação) participam dois gêneros de bactérias: *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que oxidam amônio a nitrito e nitrito a nitrato, respectivamente. A nitrificação é um processo exclusivamente aeróbio (ESTEVES, 1998). A presença de nitrito na água mostra que este não foi eficientemente convertido em nitrato, possivelmente por falta de bactérias oxidantes ou baixas concentrações de oxigênio.

A condutividade elétrica é a medida da capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica devido à presença de íons dissolvidos na mesma. Portanto, quanto maior a condutividade elétrica maior será a quantidade de íons dissolvidos na água (TAVARES; GAGLIANONE, 1993). Houve diferença significativa entre todos os tratamentos para condutividade elétrica da água, tanto para o fator alcalinidade total, como para o fator relação dureza/alcalinidade da água (Tabela 5). No experimento 1, o maior valor de condutividade elétrica da água encontrado foi $2094 \pm 51,4 \mu\text{S cm}^{-1}$, no tratamento com alcalinidade total de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ e relação dureza/alcalinidade da água de 5:1. O menor valor de condutividade elétrica da água ($600,8 \pm 9,6 \mu\text{S cm}^{-1}$) foi observado nos tanques com alcalinidade total de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ e relação DC/AT da água de 0,5/1. Boyd e Tucker (1998) afirmam que a condutividade elétrica da água de cultivo de peixes de água doce deve ser menor que $1000 \mu\text{S/cm}$. Portanto, os valores de condutividade elétrica da água encontrados nos tratamentos onde a relação dureza/alcalinidade da água era de 5:1 ultrapassaram esse limite desejável ($1506,0 \pm 47,5$ e $2094,9 \pm 51,4$, respectivamente para os níveis de alcalinidade de 50 e $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$).

O pH da água dos tanques com relação dureza/alcalinidade de 5/1 diferiu significativamente dos tanques com relação dureza/alcalinidade de 0,5/1 e 1/1. Isto foi

válido para ambos os níveis de alcalinidade total (50 e 100 mg L⁻¹ CaCO₃; Tabela 5). Entretanto, o comportamento do pH da água variou com a alcalinidade: nos tanques com alcalinidade total água de 50 mg L⁻¹ CaCO₃, o pH da água daqueles tanques com relação dureza/alcalinidade de 5/1 foi significativamente maior em relação aos demais tanques; nos tanques com alcalinidade total da água de 100 mg L⁻¹ CaCO₃, o pH da água dos tanques com relação dureza/alcalinidade de 5/1 foi menor, em relação aos demais tanques. O pH da água em todos os tratamentos se encontrava dentro da faixa ideal de cultivo para tilápias que é de 6,5 a 8,5 (VINATEA, 2004).

4.1.2 Desempenho zootécnico

Não houve diferença significativa para sobrevivência, sendo que o menor valor encontrado foi de 85 ± 13,7 % para alcalinidade total de 100mg L⁻¹ CaCO₃ e relação dureza cálcica/alcalinidade total de 1:1 (Tabela 6). Portanto, a alcalinidade total da água entre 50 – 100 mg L⁻¹ CaCO₃ e, dentro dessa faixa de alcalinidade, relações dureza cálcica/alcalinidade total da água de 0,5/1; 1/1 e 5/1 não afetam a sobrevivência de juvenis de tilápia do Nilo criados em águas claras.

Houve diferença significativa para peso corporal final dos peixes, em ambos os níveis de alcalinidade total da água avaliados no presente trabalho, 50 e 100mg L⁻¹ CaCO₃, por efeito da relação dureza/alcalinidade da água. Houve prejuízo no crescimento corporal dos animais quando a relação dureza/alcalinidade da água foi aumentada para 5:1, nos dois níveis de alcalinidade total. Quando se comparou o peso corporal final dos peixes entre as relações dureza/alcalinidade da água de 1/1 e 0,5/1, não se verificou diferença significativa entre elas (Tabela 6). Dentro de uma mesma relação dureza/alcalinidade da água, os pesos corporais finais dos animais não diferiram entre as alcalinidade totais de 50 e 100 mg L⁻¹ CaCO₃. A elevação da relação DC/AT para 5:1, em ambos os níveis de alcalinidade, fez com que houvesse uma elevação da dureza cálcica (> 250 mg L⁻¹ CaCO₃). Quando os peixes são submetidos a níveis muito

elevados de dureza total da água, eles sofrem estresse osmorregulatório (SILVA et al., 2003; TOWNSEND et al., 2003). Os peixes cultivados em água com valores de condutividade elétrica acima de $1000 \mu\text{Scm}^{-1}$, como ocorrido nos tanques com relação DC/AT de 5/1, gastaram, provavelmente, mais energia metabólica para manutenção desse equilíbrio osmótico que os demais peixes. Essa energia gasta provavelmente foi desviada do crescimento corporal, explicando dessa forma o menor ganho em peso desse grupo. Portanto, sugere-se que valores de dureza total da água que resultem em condutividades elétricas da água maiores que $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ são inadequadas ao bom desenvolvimento dos peixes cultivados.

TABELA 6. Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $1,12 \pm 0,11$ g) estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 100 L submetidos a diferentes valores de alcalinidade total e relação dureza cálcica/alcalinidade total da água (média \pm d.p.; n=5)

Variável	Alcalinidade total da água (mg/L CaCO ₃)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total		
		0,5/1	1/1	5/1
Peso corporal (g)	50	$45,10 \pm 2,50$ a ¹	$41,54 \pm 4,73$ a	$37,52 \pm 1,53$ b
	100	$42,21 \pm 2,51$ a	$42,64 \pm 2,51$ a	$35,80 \pm 1,31$ b
Comprimento final (cm)	50	$12,92 \pm 1,13$	$11,51 \pm 1,52$	$11,82 \pm 0,65$
	100	$11,86 \pm 0,80$ a	$12,26 \pm 0,87$ a	$10,54 \pm 0,83$ b
Sobrevivência (%)	50	$90 \pm 13,7$	$90 \pm 13,7$	$90 \pm 13,7$
	100	$90 \pm 13,7$	$85 \pm 13,7$	$90 \pm 13,7$
FCA ²	50	$1,11 \pm 0,04$ a	$1,12 \pm 0,03$ a	$1,25 \pm 0,09$ b
	100	$1,11 \pm 0,05$ a	$1,14 \pm 0,02$ a	$1,27 \pm 0,08$ b
TCE ³ (%/dia)	50	$5,27 \pm 0,17$	$5,13 \pm 0,33$	$5,07 \pm 0,11$
	100	$5,15 \pm 0,16$	$5,22 \pm 0,23$	$4,98 \pm 0,13$

P da ANOVA bifatorial

	Peso	Comprimento	Sobrevivência	FCA	TCE
Alcalinidade	ns ⁴	ns	ns	ns	ns
Relação D/A	<0,05	<0,05	ns	<0,05	ns
Alcalin. x Relação	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Para cada variável, letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de significância estatística (P>0,05).

²Fator de conversão alimentar = [ração ofertada / (biomassa final – biomassa inicial)]

³Taxa de crescimento específica (% peso corporal por dia) = [(Ln peso corporal final – Ln peso corporal inicial)/dias de cultivo]

Quando foram comparados os comprimentos corporais finais dos peixes, verificou-se que houve diferença significativa apenas entre os animais submetidos às diferentes relações dureza cálcica/alcalinidade total da água para a alcalinidade total da água de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Nessa alcalinidade, a relação dureza cálcica/alcalinidade total da água de 5/1 promoveu menor comprimento final dos peixes em relação aos demais (Tabela 6). Esses resultados confirmam os resultados de ganho em peso, mostrando que a relação DC/AT de 5/1 foi prejudicial ao crescimento dos peixes, principalmente no nível de alcalinidade de 100 mg L^{-1} , onde se tinha uma maior dureza cálcica ($500 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$).

Para o fator de conversão alimentar (FCA), houve diferença significativa apenas por efeito da relação dureza cálcica/alcalinidade total da água, mantendo-se o mesmo padrão de resposta em ambos os níveis de alcalinidade avaliados (50 e $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$; Tabela 6). Nos tanques de cultivo onde a relação DC/AT da água era de 5/1, o FCA foi significativamente maior (pior) tanto para alcalinidade total de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, como para alcalinidade total de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$.

Em trabalho realizado por Townsend, Silva e Baldisserotto (2003) foi observado que larvas de jundiá, *Rhamdia quelen*, que foram submetidas a diferentes concentrações de dureza da água ($30, 70, 150, 300$ e $600 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) apresentaram melhores resultados de crescimento e sobrevivência nos níveis de dureza de 30 e $70 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Neste mesmo trabalho, os autores relatam que os resultados ruins obtidos nos níveis mais elevados de dureza da água estão associados ao estresse osmótico sofrido pelas larvas. Esses resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho, onde níveis de dureza total de 250 e $500 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ trouxeram prejuízo zootécnico aos alevinos de tilápia. Provavelmente o prejuízo no desempenho zootécnico obtido neste trabalho está associado aos valores absolutos de dureza cálcica (250 e $500 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) e não especificamente à relação DC/AT de 5/1.

No presente trabalho, não houve diferença significativa, entre nenhum dos tratamentos, para taxa de crescimento específico (Tabela 6). Esses resultados sugerem que as inadequações ou desequilíbrios da relação dureza/alcalinidade da água de cultivo são mais evidentes em sistemas eutróficos, como poderá ser visto mais adiante, no Experimento 3 (cultivo em água verdes).

4.2. Experimento 2 – Cultivo em águas claras com substrato de fundo nos tanques

4.2.1. Qualidade de água

A temperatura média da água no experimento 2 foi de $26,7 \pm 0,48^{\circ}\text{C}$, não havendo diferença significativa entre os tratamentos

Houve diferença significativa entre os tratamentos experimentais para concentração de amônia total na água. Nos tratamentos onde se tinha uma relação DC/AT de 5/1, a concentração média de NAT foi maior que nos demais. A concentração de NAT observada no presente trabalho está de acordo com o nível aceitável para o cultivo de tilápias que é menor que $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (BOYD; TUCKER, 1998; Tabela 7).

No experimento 2, não houve diferença significativa para concentração de fósforo reativo na água entre os tanques de cultivo (Tabela 7). A concentração média de fósforo reativo foi de $0,13 \pm 0,05 \text{ mg L}^{-1}$. Esse valor está abaixo do limite máximo de referência para o cultivo de tilápias, que é menor que $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (BOYD, 1990). Não houve diferença significativa para a concentração de nitrito na água, entre os tanques experimentais. A concentração média de nitrito foi de $0,37 \pm 0,23 \text{ mg L}^{-1}$. Esse valor está um pouco acima da referência máxima para o cultivo de tilápias que é menor que $0,30 \text{ mg L}^{-1}$ (VINATEA, 2004).

Portanto, a elevação da alcalinidade da água de 50 para $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, bem como a alteração da relação dureza cálcica/alcalinidade total da água de 1/1 para 0,5/1 ou 5/1, não afetaram as concentrações de fósforo reativo e nitrito da água em sistema de cultivo oligotrófico.

Houve diferença significativa para condutividade elétrica da água por efeito de ambos os fatores avaliados (alcalinidade total da água e relação dureza cálcica/alcalinidade total da água; Tabela 7). Para alcalinidade da água, houve diferença significativa nas três relações DC/AT testadas. Já para relação DC/AT da água, houve diferença significativa apenas entre a relação de 5/1 e as demais (0,5/1 e 1/1), na alcalinidade total de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. A condutividade elétrica da água para relação dureza DC/AT de 5/1 foi a maior, dentro da alcalinidade total de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Para

o nível de alcalinidade de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ houve diferença significativa entre todos os tratamentos: à medida que a relação dureza alcalinidade aumentou, a condutividade elétrica aumentou.

TABELA 7. Qualidade de água de tanques de polietileno de 100 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $0,49 \pm 0,04 \text{ g}$), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total e relações dureza cálcica/alcalinidade total da água, (média \pm d.p.; n=5)

Variável	Alcalinidade total da água (mg/L CaCO_3)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total		
		0,5/1	1/1	5/1
Nitrogênio amoniacal total (mgL ⁻¹)	50	0,285 \pm 0,13 a	0,301 \pm 0,14 a	0,345 \pm 0,19 b
	100	0,268 \pm 0,18 a	0,264 \pm 0,16 a	0,348 \pm 0,16 b
Fósforo reativo (mgL ⁻¹)	50	0,120 \pm 0,04	0,132 \pm 0,05	0,139 \pm 0,05
	100	0,129 \pm 0,04	0,128 \pm 0,04	0,137 \pm 0,05
Nitrito (mgL ⁻¹)	50	0,394 \pm 0,24	0,350 \pm 0,20	0,467 \pm 0,29
	100	0,315 \pm 0,21	0,299 \pm 0,23	0,393 \pm 0,22
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	50	584 \pm 31 Aa	590 \pm 34 Aa	1066 \pm 43Ab
	100	678 \pm 43Ba	818 \pm 35Bb	1657 \pm 59Bc
pH	50	7,68 \pm 0,35 Aa	7,62 \pm 0,29 Aa	7,44 \pm 0,24Ab
	100	7,80 \pm 0,23Ba	7,81 \pm 0,26Ba	7,52 \pm 0,23Bb

P da ANOVA bifatorial

	Amônia	Fósforo	Nitrito	Condut.	pH
Alcalinidade	ns	ns	ns	<0,001	<0,05
Relação D/A	ns	ns	ns	<0,001	<0,05
Alcalin. x Relação	ns	ns	ns	<0,001	<0,05

¹Para cada variável, letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ² Para cada variável, letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de significância estatística ($P > 0,05$).

² Não significativo ($P > 0,05$).

O pH da água dos tanques com alcalinidade total de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ foi significativamente maior que nos tanques com alcalinidade total de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Isso não foi verificado apenas quando a relação dureza cálcica/alcalinidade total da água era de 5/1. Quando foram comparados os valores de pH da água entre os tanques com diferentes relações DC/AT, observou-se que aqueles com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 5/1 apresentavam valores significativamente menores que

os demais. Isso se deveu, provavelmente, ao maior desperdício de ração nos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 5/1. Sob estresse, os peixes diminuem sua atividade alimentar, podendo haver também prejuízo na fisiologia digestiva (queda na digestibilidade). Os resultados de conversão alimentar (FCA) sustentam essa hipótese (PEZZATO *et al*, 2002; Tabela 9).

4.2.2 Qualidade do solo

Antes do povoamento dos tanques experimentais, foram realizadas determinações de pH, concentração de carbono orgânico e demanda por calcário de amostras aleatórias do solo dos tanques. Os resultados médios obtidos foram os seguintes: pH = $7,59 \pm 0,38$; concentração de carbono orgânico = $1,51 \pm 0,08\%$; demanda do solo por calcário = $201,8 \pm 29,8 \text{ g/m}^2$.

O pH final do solo dos tanques foi sempre maior no tanques onde se tinha a alcalinidade total da água de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Para alcalinidade total de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, o pH do solo dos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total da água de 5/1 foi significativamente menor em relação aos demais tratamentos (Tabela 8). De acordo com Boyd e Tucker (1998), o pH ideal para o solo de viveiros de aquicultura está compreendido na faixa entre 7,0 – 8,0. Portanto, nos tanques onde se tinha alcalinidade total da água de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, o pH do solo estava ligeiramente inferior ao valor mínimo desejado. Portanto, embora a aplicação de Na_2CO_3 tenha sido feita na água de cultivo, e não diretamente no solo, a qualidade do solo foi afetada pela aplicação na água. Isso indica, assim como constatado por Queiroz *et al.* (2004), que a calagem da água consegue corrigir também o pH do solo. A maior acidez do solo dos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 5/1 sugere que houve maior deposição e decomposição de matéria orgânica nos mesmos (resto de ração e fezes de peixes).

TABELA 8. Qualidade do solo em tanques de polietileno de 100 L que foram estocados com juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $0,49 \pm 0,04$ g), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total (50 ou 100 mg/L CaCO₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5: 1; 1: 1 ou 5: 1); média \pm d.p.; n=5)

Variável	Alcalinidade total da água (mg/L CaCO ₃)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		0,5/1	1/1	5/1
pH do solo	50	6,93 \pm 0,13 A ¹	6,83 \pm 0,10A	6,92 \pm 0,05 A
	100	7,41 \pm 0,11 Ba ²	7,35 \pm 0,10Ba	7,14 \pm 0,11Bb
Carbono orgânico (%)	50	2,08 \pm 0,09 a	2,07 \pm 0,08 a	2,26 \pm 0,19 b
	100	2,14 \pm 0,09 a	2,12 \pm 0,09 a	2,54 \pm 0,12 b
Demanda do solo por calcário(g/m ²)	50	1915,2 \pm 187,4 A	2172,8 \pm 160,4 A	2083,2 \pm 348,37 A
	100	1624,0 \pm 68,59 B	1568,0 \pm 142,8 B	1612,8 \pm 127,7 B

ANOVA bifatorial P

	pH do solo	Carbono orgânico	Demanda do solo por calcário
Alcalinidade	<0,05	ns ²	<0,001
Relação D/A	<0,05	<0,05	ns
Alcalin. x Relação	<0,05	ns	ns

¹Para cada variável, letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ²Para cada variável, letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, representa falta de significância estatística entre as diferenças;

² Não significativo (P>0,05).

É sabido que há significativa interação entre os sedimentos e a água que está acima dos mesmos, havendo expressiva troca de nutrientes e de outros elementos entre esses compartimentos do viveiro (BOYD; WOOD; THUNJAI, 2002). As características do solo de piscicultura tem grande influência nas qualidades físico-químicas da água de cultivo. As concentrações e os tipos de diferentes substâncias dissolvidas na água (sais e componentes orgânicos) dependem muito da físico-química dos sedimentos. Acidificação da água, por exemplo, pode ocorrer devido à presença de cátions ácidos no solo, tais como o Al³⁺, ou de compostos de ferro (pirita de ferro), que sob condições adequadas formam ácido sulfúrico (ZWEIG et al., 1999).

Em todos os tratamentos, houve uma redução no pH do solo dos tanques em relação ao pH inicial. Isto ocorreu porque, ao longo do cultivo, restos de ração e fezes se acumularam no substrato. Com a decomposição dos mesmos, houve liberação de CO₂ para o meio. Este reage com a água formando ácido carbônico, com consequente redução no pH do solo.(BOYD; WOOD; THUNJAI, 2002).

Não houve diferença significativa entre os tanques experimentais para a concentração de carbono orgânico do solo, em função da alcalinidade total da água (50 ou 100 mg L⁻¹ CaCO₃). Por outro lado, houve diferença significativa para essa variável quanto à relação dureza cálcica/alcalinidade total, quando a mesma era de 5/1. Em ambos os níveis de alcalinidade (50 ou 100mg L⁻¹ CaCO₃,) a porcentagem de carbono orgânico no solo desses últimos tanques foi maior em relação aos demais (Tabela 8). Esses resultados sustentam a hipótese de que houve maior desperdício de ração nos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 5/1. Carbono orgânico no solo significa que haverá decomposição do mesmo, com consumo de parte do oxigênio do sistema durante esse processo. Em casos onde a quantidade de matéria orgânica é muito elevada, sua decomposição pode acontecer de forma anaeróbia, produzindo assim substâncias tóxicas aos peixes (BOYD, 1992).

No início do cultivo, a concentração de carbono orgânico no solo dos tanques era de 1,51 ± 0,08%. Logo, para todos os tratamentos essa porcentagem aumentou com o decorrer do cultivo. Entretanto, para os tanques onde se tinha uma relação dureza cálcica/alcalinidade total da água de 5/1, esse aumento foi significativamente maior em relação aos demais (Tabela 8). Isso ocorreu, provavelmente, por conta da ração não ter sido tão bem aproveitada nesses tanques como nos outros tratamentos, ocasionando um maior acúmulo de matéria orgânica no substrato. Os resultados de concentração de carbono orgânico no solo dos tanques de cultivo se mostraram úteis na avaliação indireta da eficiência alimentar dos animais cultivados, somando-se aos resultados de fator de conversão alimentar. Na verdade, pela dificuldade em se determinar com precisão a ingestão alimentar em peixes, a concentração de carbono orgânico no solo pode ser considerada como indicador de eficiência alimentar até mais confiável que os resultados de FCA.

Houve diferença significativa na demanda do solo por calcário apenas quando se comparou o efeito da alcalinidade total da água de cultivo. Os tanques com alcalinidade total de 100 mg L⁻¹CaCO₃apresentaram demanda do solo por calcário sempre menor em relação aos tanques com alcalinidade total da água de 50 mg L⁻¹ CaCO₃ (Tabela 8). Quando se comparou a demanda inicial do solo por calcário com os resultados finais para essa variável, constatou-se que houve diminuição na demanda por calcário nos tanques com alcalinidade total da água de 100 mg L⁻¹ CaCO₃. A demanda do solo por calcário determina a quantidade de calcário que deve ser aplicada ao solo para obtenção

de pH ajustado e boa reserva alcalina. Como os tanques com alcalinidade total da água de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ receberam água com maiores concentrações de bicarbonatos e carbonatos que os tanques com alcalinidade total de $50 \text{ mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$, houve interação entre água e solo com a transferência dessa melhor condição da água para o solo. Em geral, quanto maior a demanda do solo por calcário, pior a qualidade do mesmo para aquicultura.

4.2.3 Desempenho zootécnico

O peso corporal e a taxa de crescimento específico (TCE) dos peixes foram significativamente influenciados apenas pela relação dureza/alcalinidade da água. Os maiores pesos corporais e valores de TCE foram encontrados nos tanques onde se tinha uma relação dureza cálcica/alcalinidade total da água de 1/1, em ambos os níveis de alcalinidade total (50 ou $100 \text{ mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$). Os menores pesos corporais e valores de TCE foram observados nos tanques nos quais a relação dureza cálcica/alcalinidade total da água era de 5:1 (Tabela 9).

Townsend e Baldisserotto (2001) estudaram a influência da dureza da água de cultivo no crescimento de juvenis de jundiá submetidos a estresse ácido e básico. Nesse estudo, os autores verificaram que valores elevados de dureza da água ($600 \text{ mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$) beneficiaram o crescimento dos peixes. Esses resultados vão contra os encontrados no presente experimento, no qual a elevação da dureza total da água para níveis acima de $250 \text{ mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ prejudicou o crescimento dos peixes. Em águas ácidas, os íons H^+ em excesso competem com os íons Ca^{2+} e Na^+ da água, inibindo a sua captura pelo peixe. Acredita-se que algumas espécies controlem o efluxo de íons através da alta afinidade dos íons Ca^{2+} junto às brânquias, agindo como barreira a saída de íons (BALDISSEROTO, 2003). Em águas alcalinas, o mecanismo ainda não é totalmente entendido.

TABELA9. Desempenho produtivo de alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $0,49 \pm 0,04$ g) estocados por 8 semanas em tanques de polietileno de 100 L com camada de solo no fundo, submetidos a diferentes valores de alcalinidade total da água (50 ou 100 mg/L CaCO₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5: 1, 1: 1 ou 5: 1), (média \pm d.p.; n=5)

Variável	Alcalinidade total da água (mg/L CaCO ₃)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		0,5/1	1/1	5/1
Peso corporal (g)	50	12,67 \pm 0,20 a ¹	14,48 \pm 0,72 b	10,06 \pm 0,30 c
	100	12,84 \pm 0,83 a	14,83 \pm 1,20 b	10,15 \pm 0,95 c
Comprimento corporal (cm)	50	8,22 \pm 1,16	8,44 \pm 0,93	7,82 \pm 0,85
	100	8,46 \pm 1,11 a	8,57 \pm 1,24 a	7,26 \pm 0,98 b
Sobrevivência (%)	50	86,67 \pm 18,26	93,33 \pm 14,91	86,67 \pm 18,26
	100	86,67 \pm 18,26	86,67 \pm 18,26	73,33 \pm 14,91
FCA ²	50	1,14 \pm 0,03 a	1,14 \pm 0,11 a	1,38 \pm 0,14 b
	100	1,13 \pm 0,04 a	1,17 \pm 0,12 a	1,41 \pm 0,14 b
TCE ³ (% peso corporal/dia)	50	5,83 \pm 0,20 a	6,03 \pm 0,17 a	5,44 \pm 0,17 b
	100	5,88 \pm 0,20 a	6,11 \pm 0,19 a	5,38 \pm 0,19 b

P da ANOVA bifatorial

	Peso	Comprimento	Sobrevivência	FCA	TCE
Alcalinidade	ns ⁴	ns	ns	ns	ns
Relação D/A	<0,001	<0,001	ns	<0,001	<0,001
Alcalin. x Relação	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Para cada variável, letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica falta de significância estatística entre as médias (P>0,05);

²Fator de conversão alimentar = [ração ofertada / (biomassa final – biomassa inicial)]

³Taxa de crescimento específica (% peso corporal por dia) = [(Ln peso corporal final – Ln peso corporal inicial) / dias de cultivo]

⁴ Não significativo (P>0,05)

O comprimento corporal final dos peixes nos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 5/1 e alcalinidade total de 100 mg L⁻¹ CaCO₃ foi significativamente menor que o observado nos demais tratamentos, dentro dessa alcalinidade (Tabela 9).

As diferenças observadas na sobrevivência final dos peixes nos tanques, entre os diferentes tratamentos, não foram significativas (P>0,05). Entretanto, ressalta-se que a menor sobrevivência encontrada no presente trabalho foi para alcalinidade total da água de 100 mg L⁻¹ CaCO₃ e relação dureza cálcica/alcalinidade total de 5/1 (Tabela 9).

O fator de conversão alimentar (FCA) dos peixes foi significativamente pior nos tanques nos quais a relação dureza cálcica/alcalinidade total da água era de 5/1, em ambos os níveis de alcalinidade testados (50 e 100 mg L⁻¹ CaCO₃). As diferenças de FCA entre os tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 0,5/1 e 1/1 não foram significativas (Tabela 9).

Em todos os experimentos realizados no presente trabalho, houve piora no fator de conversão alimentar (FCA) dos animais quando a água de cultivo apresentava relação DC/AT de 5/1. Devido ao estresse causado pela alta concentração de cálcio nos tanques com relação DC/AT de 5/1, os peixes provavelmente não aproveitaram bem o alimento a eles ofertado para crescimento somático, elevando, assim, o FCA.

4.3. Experimento 3 – Cultivo em águas verdes em tanques sem substrato de fundo

4.3.1 Qualidade de água

A temperatura média da água no experimento 3 foi de 26,2±0,9°C no horário de 08:00h e de 27,3 ± 0,9 °C no horário de 16:00 h. Apesar de não ser os horários onde se verifica os extremos da variação da temperatura ao longo do dia, observa-se que houve uma diferença de 1,1 °C entre esses dois horários.

Foi observada diferença significativa entre os tratamentos para a concentração de amônia total, sendo os maiores valores médios encontrados nos tanques onde se tinha uma relação DC/AT de 0,5/1. Em todos os tratamentos a concentração de amônia estava um pouco acima do limite de referência que é menor que 0,5 mgL⁻¹ (BOYD; TUCKER, 1998).

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável fósforo reativo, sendo este maior no tratamento onde se tinha uma relação DC/AT de 5/1 no nível de alcalinidade de 100 mg L⁻¹. Em todos os tratamentos a concentração de fósforo

estava dentro dos limites aceitáveis de menor que $0,50 \text{ mgL}^{-1}$ proposto por Boyde Tucker (1998).

TABELA 10. Qualidade da água de cultivo de tanques circulares de polietileno de 250 L sem substrato de fundo, instalados em ambiente externo, estocados com juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $0,47 \pm 0,03 \text{ g}$), submetidos a diferentes valores de alcalinidade total (50 ou $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) e relações dureza cálcica/alcalinidade total ($0,5:1$; $1:1$ e $5:1$; média \pm d.p.; $n=6$)

Variável	Alcalinidade total ($\text{mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		0,5/1	1/1	5/1
N amoniacal total (mgL^{-1})	50	$0,664 \pm 0,39 \text{ a}^1$	$0,602 \pm 0,39 \text{ b}$	$0,601 \pm 0,42 \text{ b}$
	100	$0,691 \pm 0,40 \text{ a}$	$0,544 \pm 0,37 \text{ b}$	$0,661 \pm 0,47 \text{ b}$
Fósforo reativo (mgL^{-1})	50	$0,166 \pm 0,02$	$0,166 \pm 0,02$	$0,170 \pm 0,02$
	100	$0,165 \pm 0,02 \text{ b}$	$0,163 \pm 0,01 \text{ b}$	$0,178 \pm 0,02 \text{ a}$
N-Nitrito (mgL^{-1})	50	$0,334 \pm 0,12 \text{ a}$	$0,285 \pm 0,10 \text{ b}$	$0,319 \pm 0,11 \text{ a}$
	100	$0,310 \pm 0,11 \text{ a}$	$0,289 \pm 0,10 \text{ b}$	$0,320 \pm 0,10 \text{ a}$
Condutividade elétrica 8h (μScm^{-1})	50	$539 \pm 44 \text{ A}^2 \text{ a}$	$555 \pm 33 \text{ Aa}$	$783 \pm 20 \text{ Ba}$
	100	$676 \pm 31 \text{ Ba}$	$753 \pm 51 \text{ Bb}$	$1567 \pm 87 \text{ Bc}$
Condutividade elétrica 16 h (μScm^{-1})	50	$534 \pm 31 \text{ Aa}$	$557 \pm 33 \text{ Aa}$	$783 \pm 16 \text{ Ba}$
	100	$660 \pm 29 \text{ Ba}$	$715 \pm 51 \text{ Bb}$	$1530 \pm 93 \text{ Bc}$
pH 8 h	50	$6,97 \pm 0,29 \text{ A}$	$6,98 \pm 0,13 \text{ A}$	$6,94 \pm 0,16 \text{ A}$
	100	$7,30 \pm 0,15 \text{ Ba}$	$7,35 \pm 0,12 \text{ Ba}$	$7,18 \pm 0,09 \text{ Bb}$
pH 16 h	50	$7,47 \pm 0,27 \text{ Aa}$	$7,32 \pm 0,17 \text{ Ab}$	$7,29 \pm 0,20 \text{ Ab}$
	100	$7,60 \pm 0,20 \text{ Ba}$	$7,49 \pm 0,21 \text{ Bb}$	$7,43 \pm 0,16 \text{ Bb}$

ANOVA bifatorial P

	Amônia	Fósforo	Nitrito	CE 8h	CE 16h	pH 8h	pH 16h
Alcalinidade	ns	ns	ns	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Relação D/A	0,009	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Alcalin. x Relação	<0,05	0,006	ns	<0,001	<0,001	0,003	ns

¹Em cada variável, diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam que as diferenças existentes entre as médias são significativas pelo Tukey ($P < 0,05$);

²Em cada variável, diferentes letras maiúsculas na mesma coluna indicam que as diferenças existentes entre as médias são significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica falta de significância estatística ($P > 0,05$);

³ Não significativo ($P > 0,05$).

A concentração de nitrito foi menor no tratamento controle (relação DC/AT = 1/1), quando comparado com os demais. Exceto os grupos controle, os demais grupos

apresentaram concentração de nitrito acima da referência para um bom cultivo, que tem como referência valores menores que $0,30 \text{ mgL}^{-1}$ (BOYD; TUCKER, 1998).

Nos dois horários analisados (8 e 16 h), houve diferença significativa para condutividade elétrica para ambos os fatores, sendo os maiores valores encontrados nos tratamentos onde se tinha uma relação dureza/alcalinidade de 5/1. Houve diferença também quando se comparou os níveis de alcalinidade, dentro de uma mesma relação dureza/alcalinidade, sendo maiores os resultados de CE onde se tinha uma alcalinidade de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Ao se comparar os valores de condutividade elétrica nos dois horários verifica-se que houve uma pequena diminuição em todos os tratamentos. Isto indica o processo de fotossíntese, que onde à medida que o fitoplâncton absorve nutrientes, este os retira da água, reduzindo assim a capacidade da água em conduzir eletricidade.

Para o pH 8 h, houve diferença significativa para o fator alcalinidade da água, sendo que os maiores valores foram encontrados para nos níveis de alcalinidade $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Quando considerado o efeito da relação DC/AT da água, houve diferença significativa para o nível de alcalinidade de 100 mg L^{-1} , sendo que o tratamento onde se tinha a relação DC/AT elevada para 5/1 apresentou o menor valor de pH ($7,18 \pm 0,09$).

Para o pH 16h, houve diferença significativa para o fator nível de alcalinidade total da água, sendo maior o pH dos tratamentos onde se tinha nível de alcalinidade de 100 mg L^{-1} . Houve também diferença significativa pelo efeito da relação DC/AT, em ambos os níveis de alcalinidade. O pH dos tratamentos onde a relação DC/AT da água foi reduzida para 0,5/1 foi significativamente maior em relação aos demais

Os tratamentos com relação DC/AT da água de 0,5/1 apresentaram uma maior diferença entre os valores de pHs das 8 e 16 horas. Portanto, os peixes cultivados em água com relação dureza/alcalinidade menor que 1 estão sujeitos a maiores variações de pH ao longo do dia. Esses resultados confirmam a afirmação apresentada por Boyd(1990) de que há uma maior variação de pH ao longo do dia por conta da fotossíntese quando a relação dureza/alcalinidade da água é menor que 1.

Cavalcante et al. (no prelo) mostraram que as águas onde se tenha intensa atividade fotossintética e relações de DC/AT menores que a estão sujeitas a elevadas ou maiores variações de pH ao longo do dia.

4.3.2 Desempenho zootécnico

Não houve diferença significativa para sobrevivência final dos peixes cultivados, nos diferentes tratamentos (Tabela 12; $P > 0,05$). Entretanto, o menor valor de sobrevivência foi encontrado justamente nos tanques onde a alcalinidade total da água era de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ e a relação dureza cálcica/alcalinidade total da água de 5/1.

O peso corporal dos peixes foi significativamente afetado pela relação DC/AT da água. Em ambos os níveis de alcalinidade avaliados no presente trabalho (50 e $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$), o peso corporal final dos peixes nos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 1/1 foi significativamente maior que o observado nos demais tanques. Além disso, os peixes nos tanques com relação dureza cálcica/alcalinidade total de 0,5/1 apresentaram peso corporal final significativamente maior que os animais nos tanques com relação DC/AT de 5/1 (Tabela 11).

O comprimento final dos peixes foi influenciado significativamente pela alcalinidade total da água (50 ou $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$), sendo os peixes estocados nos tanques com relação DC/AT da água de 1/1 apresentaram os maiores comprimentos finais (Tabela 12; $P < 0,05$). O menor peso corporal final dos peixes foi observado nos tanques com relação DC/AT da água de 5/1, em ambas as alcalinidades totais testadas.

A taxa de crescimento específico (TCE) dos peixes nos tanques com relação DC/AT de 1:1, em ambos os níveis de alcalinidade total (50 ou $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$), foi significativamente maior que o observado nos demais tanques (Tabela 12; $P < 0,05$). As menores TCE foram observadas nos tanques com relação DC/AT de 5/1, independentemente da alcalinidade total da água. Estes resultados mostram que houve prejuízo quando se desequilibrou a relação DC/AT, sendo o maior prejuízo quando se tinha um desequilíbrio maior (relação DC/AT = 1/1)

TABELA11. Desempenho produtivo de alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $0,47 \pm 0,03$ g) estocados por 8 semanas em tanques de polietileno de 250 L, em ambiente externo, sem substrato de fundo, submetidos a diferentes valores de alcalinidade total da água (50 ou 100 mg L⁻¹ CaCO₃) e relações dureza cálcica/alcalinidade total (0,5:1; 1:1 ou 5:1; média \pm d.p.; n=6)

Variável	Alcalinidade total da água (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Relação dureza cálcica/alcalinidade total da água		
		0,5/1	1/1	5/1
Peso corporal final (g)	50	11,02 \pm 0,69 a ¹	12,62 \pm 0,48 b	9,95 \pm 0,83 c
	100	11,15 \pm 0,63 a	12,88 \pm 1,04 b	9,81 \pm 0,42 c
Comprimento corporal final (cm)	50	7,34 \pm 1,40 a	7,72 \pm 1,45 b	7,04 \pm 1,20 a
	100	6,73 \pm 1,48 a	7,48 \pm 1,56 b	7,13 \pm 1,70 a
Sobrevivência (%)	50	86,1 \pm 6,8	88,9 \pm 8,61	86,1 \pm 6,8
	100	83,3 \pm 14,9	83,3 \pm 0,00	80,6 \pm 6,8
FCA ²	50	1,49 \pm 0,13 a	1,27 \pm 0,08 b	1,51 \pm 0,23 a
	100	1,48 \pm 0,18 a	1,26 \pm 0,13 b	1,55 \pm 0,15 a
TCE ³ (% peso corporal dia ⁻¹)	50	5,62 \pm 0,13 a	5,83 \pm 0,12 b	5,46 \pm 0,21 c
	100	5,70 \pm 0,15 a	5,93 \pm 0,21 b	5,40 \pm 0,14 c

ANOVA bifatorial P

	Peso	Comprimento	Sobrevivência	FCA	TCE
Alcalinidade	ns ⁴	ns	ns	ns	ns
Relação D/A	<0,001	<0,001	ns	<0,001	<0,001
Alcalin. x Relação	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Para cada variável, letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica falta de significância estatística entre as médias (P>0,05);

² Fator de conversão alimentar = [ração ofertada / (biomassa final – biomassa inicial)]

³ Taxa de crescimento específica (% peso corporal por dia) = [(Ln peso corporal final – Ln peso corporal inicial) / dias de cultivo]

⁴ Não significativo (P>0,05)

O fator de conversão alimentar (FCA) dos peixes cultivados foi significativamente afetado pela relação DC/AT da água. Os peixes estocados nos tanques com relação DC/AT de 1:1, em ambos os níveis de alcalinidade total (50 ou 100 mg L⁻¹ CaCO₃), apresentaram significativamente melhores resultados de FCA em relação aos demais tratamentos (Tabela 11).

Apenas no experimento 3 houve diferença significativa entre os pesos corporais dos peixes dos tanques com relação DC/AT de 0,5/1 e 1/1. Os dois primeiros experimentos foram realizados em sala coberta com iluminação artificial fraca. Nesses trabalhos, portanto, os tanques não estavam expostos à radiação solar. Já no último

experimento, os tanques de cultivo estavam instalados em local descoberto, estando expostos à radiação solar. Nesse cultivo, havia as condições necessárias para ocorrência de florações de fitoplâncton. O fitoplâncton ao realizar fotossíntese causa elevação do pH da água ao longo do dia. Nesse período, nas águas com relação dureza/alcalinidade menor que 1 pode haver forte aumento do pH da água, do meio para o final da tarde. A elevação do pH da água acima de 9 causa estresse nos peixes e prejudica, dessa forma, seu crescimento (CECCARELLI et al., 2000).

Cavalcante *et al.* (no prelo) demonstraram que mesmo níveis adequados de dureza e alcalinidade da água podem prejudicar o crescimento de juvenis tilápias se a relação entre essas variáveis estiver desajustada (relação DC/AT < 1). Essa situação se verificou no terceiro experimento do presente trabalho.

5 CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos com esses experimentos, pode-se concluir que:

1. Não há diferença no desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo entre as $AT = 50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ a $AT = 100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. Logo, AT de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ além de não ser prejudicial ao crescimento, ainda propicia maior poder tampão à água;
2. Dureza da água muito elevada ($> 300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) prejudica o crescimento de juvenis de tilápia cultivados por causar, provavelmente, estresse osmótico nos mesmos;
3. O problema da elevação indesejado do pH da água pela inadequação da relação DC/AT, com alcalinidade maior que dureza, somente ocorrerá em ambientes eutrofizados e em dias ensolarados;
4. O impacto negativo do desequilíbrio das relações DC/AT, tanto para cima ($DC/AT > 1$), como para baixo ($DC/AT < 1$), dependerá da magnitude da diferença existente entre os valores absolutos de dureza e alcalinidade. Pequenos desequilíbrios na relação DC/AT da água podem causar prejuízos insignificantes, mas, desequilíbrios acentuados podem causar grandes prejuízos zootécnicos;
5. Em águas verdes, a relação $DC/AT = 1/1$ é superior às relações DC/AT de $1/2$ e de $5/1$;
6. A relação $DC/AT = 5/1$ se mostra pior que a relação $DC/AT = 1/2$ porque a magnitude da diferença entre os valores absolutos da alcalinidade e dureza são bem maiores em DC/AT $5/1$.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th ed. Washington: APHA, 1999.

BALDISSEROTTO, B. Osmoregulatory adaptations of freshwater teleosts. In: **Fish adaptations** (KAPOOR, B.G. & VAL, A.L. org). pp.179-201. New Hampshire: Science Publishers. 2003.

BOYD, C.E.; TANNER, M.E.; MADKOUR, M.; MASUDA, K. Chemical characteristics of Bottom Soils from Freshwater and Brackishwater Aquaculture Ponds. **Journal of The World Aquaculture Society**, v.25, n.4, p.517-534, 2007.

BOYD, C. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Auburn Univ. Press, Birmingham. 1990.

BOYD, C.E. **bottom soils, sediment and pond aquaculture**. New York: Chapman and Hall, 1992.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Ponds aquaculture water quality management**. Springer, 1998. 700 p.

BOYD, C.E.; WOOD, C.W.; THUNJAI, T. **Aquaculture pond bottom soil quality management**. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program Oregon State University, Corvallis, Oregon, 2002. 48 p.

CAVALCANTE, D.H.; BARROS, R.L.; SÁ, M.V.C. Growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fingerlings reared in Na₂CO₃ limed waters. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. Maringá. v.32. n.3. p.331-336, 2010.

CAVALCANTE, D.H.; POLIATO, A.S.; RIBEIRO, D.C.; MAGALHÃES, F.B. SÁ, M.V.C. Effects of CaCO₃ liming on water quality and growth performance of fingerlings of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v. 31. N. 3. P.327-333, 2009.

CAVALCANTE, D.H.; SILVA, S.R.; PINHEIRO, P.D.; AKAO, M.M.F. SÁ, M.V.C. Single or double increase of total alkalinity and hardness of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles culture water. **Acta Scientiarum – Technology**. No prelo.

CECCARELLI, P.S.; SENHORINI, J.A.; VOLPATO, G. **Dicas em Piscicultura**. Botucatu: Santana, 2000. 247 p.

COOTE, T.A.; HONE, P.W.; KENYON, R.; MAGUIRE, G.B. The effect of different combinations of dietary calcium and phosphorus on the growth of juvenile *Haliotis laevigata*. **Aquaculture**. v.145, p.267-279, 1996.

COSTA-NETO J.P. **Bases limnológicas para o manejo de tanques de cultivo de peixes**. Tese (Doutoramento). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 1990.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP. 1998. 575 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 5 de outubro de 2011.

FERREIRA, F.W.; BALDISSEROTTO, B. Diet and osmoregulation. In: **Fish osmoregulation** (BALDISSEROTTO, B.; MANCERA, J.M.; KAPOOR, B.G. eds). pp.67-83. Science Publishers: New Hampshire, USA. 2007.

FLIK G.; VERBOST P.M.; BONGA S.E.W. Calcium transport processes in fishes. In: **Cellular and Molecular Approaches to Fish Ionic Regulation** (ed. By C.M. Wood & T.J. Shuttleworth), pp. 317-341. Academic Press: London, 14. 1995.

FLIK, G.; VERBOST, P.M. Cellular mechanisms in calcium transport and homeostasis in fish. In: HOCHACHKA, P.W.; MOMMSEN, T.P. (Eds), **Molecular Biology Frontiers. Biochemistry and Molecular Biology of Fishes**. Elsevier, Amsterdam. v.5, p.251-263, 1995.

HUET, M. **Tratado de Piscicultura**. 3ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 1998.

HWANG, P.P.; TUNG, Y.C.; CHANG, M.H. Effect of environmental calcium levels on calcium uptake in tilapia larvae (*Oreochromis mossambicus*). **Fish Physiol. Biochem.** v.15. p.363- 370. 1996.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da Pesca 2006 – Brasil. Grandes Regiões e Unidades da Federação. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/documentos/estatistica-pesqueira/>. Acesso em: 1 de novembro de 2011.

KUBTIZA, F. **Qualidade de água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: Degaspari, 2003. 229 p.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; PINTO, L. G. Q.; FURUYA, W. M.; BARROS, M. M.; ROSA, G. J. M.; LANNA, E. A. T. Avaliação de dois métodos de determinação do coeficiente de digestibilidade aparente com 34 a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v.24, n.4, p.965-971, 2002.

PINHEIRO, P.D.; CAVALCANTE, D.H.; MORAES, M.G.; SÁ, M.V.C. Calcium-free and low-calcium water production for aquaculture research. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 47-49, 2011.

QUEIROZ, J.F.; NICOLELLA, G.; WOOD, C.W.; BOYD, C.E. Lime application methods, water and bottom soil acidity in fresh water fish ponds. **Scientia Agricola**, v.61, no.5, p.469-475, 2004.

REYNOLDS, T.D.; RICHARDS, P.A. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**, 2.ed. Boston: PWS Publishing Company, 1996

ROJAS, N.E.T.; ROCHA, O.; AMARAL, J.A.B. O efeito da alcalinidade da água sobre a sobrevivência e o crescimento das larvas do curimatá, *prochilodus lineatus* (CHARACIFORMES, PROCHILODONTIDAE), mantidas em laboratório. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo. v.27, p.155-162, 2001.

ROJAS, N.E.T.; ROCHA, O. Influência da alcalinidade da água sobre o crescimento de larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 Perciformes, Cichlidae). **Acta Scientiarum**, v.26, n.2, p.163-167, 2004.

SAWYER, C.N.; CARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for the Environmental Engineering**, 4.ed. New York: McGraw-Hill. 2003. 752p.

SILVA, L.V.F.; GOLOMBIESKI, J.I.; BALDISSEROTTO, B. Incubation of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Pimelodidae), eggs at different calcium and magnesium concentrations. **Aquaculture**, v.228, p.279-287, 2003.

SIPAÚBA - TAVARES, L. H. **Limnologia aplicada à aquicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 70p

SIPAÚBA - TAVARES, L. H.; GAGLIANONE, M. C. Estudo preliminar da sucessão dos parâmetros físico, químico e biológico em dois viveiros de piscicultura. **Red Aquicult. Boletim**, 7, 8-12. 1993.

THUNJAI, T.; BOYD, C.E.; BOONYARATPALIN, M. Bottom soil quality in Tilapia ponds of different age in Thailand. **Aquaculture research**. V.35. p. 698-705. 2004.

TOMASSO, J.R. CHERVI, A. GOUDIE, Bill; SIMCO, A.; DAVIS, K.B. Effects of environmental pH and calcium on ammonia toxicity in channel catfish. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 109, p. 229 – 234. 1980.

TOWNSEND, C.R.; BALDISSEROTTO, B. Survival of silver catfish juveniles exposed to acute changes of water pH and hardness. **Aquac. Internat.**, 9, 413-419, 2001.

TOWNSEND, C.R.; SILVA, L.V.F; BALDISSEROTTO, B. Growth and survival of *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Pimelodidae) larvae exposed to different levels of water hardness. **Aquaculture**. v.215, 103-108, 2003.

VINATEA, L. **Princípios Químicos de Qualidade de Água em Aquicultura: uma revisão para peixes e camarões**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004. 231p.

WOOD, C.M.; McDONALD, G. **Impact of environmental acidification on gill function in fish**, pp. 162-182. Environ. Protect. Ag., Internat. Symp. Guangzhou. 1998.

ZWEIG, R.D., MORTON, J.D, STEWART, M.M. **Source water quality for aquaculture**. The World Bank, Washington, USA, 62pp. 1999.