

**MARCELLE MARQUES DA SILVA**

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DE MANEJO DO  
CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), NA  
FASE BERÇÁRIO**

**Recife – PE  
FEVEREIRO/2009**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA  
APLICADA**

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DE MANEJO DO  
CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), NA  
FASE BERÇÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Modelagem Estatística e Computacional (com ênfase nas áreas agrárias, biológicas e humanas)

**Orientador:  
Prof. Dr. Paulo de Paula Mendes**

**Recife – PE  
FEVEREIRO/2009**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586a Silva, Marcelle Marques da  
Análise estatística das variáveis de manejo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), na fase berçário / Marcelle Marques da Silva. -- 2009.  
59 f. : il.

Orientador : Paulo de Paula Mendes  
Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Estatística e Informática.  
Inclui bibliografia.

CDD 519.536

1. Box e Cox
  2. *Litopenaeus vannamei*
  3. Stepwise Forward
- I. Mendes, Paulo de Paula
  - II. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA**

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DE MANEJO DO CAMARÃO  
MARINHO *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), NA FASE BERÇÁRIO.**

MARCELLE MARQUES DA SILVA

Dissertação julgada adequada para  
obtenção do título de mestre em Biometria  
e Estatística Aplicada da Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, defendida  
e aprovada por unanimidade em  
19/02/2009 pela Comissão Examinadora.

Orientador:

---

---

Prof. Dr. Paulo de Paula Mendes  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

---

---

Profa. Dra. Emiko Shinozaki Mendes  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

---

Profa. Dra. Laélia Pumilla Botelho Campos dos Santos  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

---

Profa. Dra. Tatijana Stosic  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais **Milton Marques da Silva e Elienor Souza da Silva** que mesmo com as dificuldades me deram confiança, apoio e amor para que eu conquistasse os meus objetivos até o presente momento.

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que Ele tem feito em minha vida ao longo desses anos de vida acadêmica e por ter me guiado, orientado e me dado forças nas horas que eu mais precisei.

Agradeço também a Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao atual Coordenador da Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada na pessoa do Prof. Dr. Borko Stosic por ter me dado à oportunidade de ampliar meus conhecimentos e avançar mais uma etapa na minha formação profissional.

Ao Projeto Recarcine/FINEP pelo apoio a infraestrutura para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Dr. Paulo de Paula Mendes (orientador) que me deu a oportunidade de concluir esse trabalho me repassando seus conhecimentos e experiência na orientação do mesmo.

E em especial aos meus pais, Milton Marques da Silva e Elienor Souza da Silva, que mesmo com a distância nunca me deixaram sozinha em nenhuma etapa da minha vida, sempre me apoiaram em minhas decisões, me deram forças pra seguir na conquista dos meus objetivos e sempre me amparou nas horas que eu mais precisei.

Aos Professores que contribuíram com a minha formação acadêmica e ampliaram meus conhecimentos e aos funcionários que compõem o Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, em especial a Dona Zuleide.

Aos colegas do curso de Mestrado e Engenharia de Pesca, em especial, a Maurício Pessôa, Djaci, Vinicius Pereira e Francisco Guedes com quem tive o prazer de conviver durante este período, pela amizade, compreensão e ajuda, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a finalização de mais uma etapa.

## Resumo

Objetivou-se maximizar a sobrevivência das pós-larvas (PL) do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* relacionando-a com as variáveis de manejo (densidade de estocagem das pós-larvas, mês de cultivo, tempo de cultivo, tanques berçários e laboratórios fornecedores das pós-larvas), quando cultivadas em tanques berçários. Foram utilizados 65 dados de cultivos de uma fazenda comercial, localizada no estado do Rio Grande do Norte, correspondente ao período de outubro de 2004 a março de 2007. As PL foram estocadas em tanques berçários às densidades que variaram de 12 a 64 PL/L, durante um período de cinco a 19 dias. O sistema de cultivo adotado foi o intensivo em tanques com capacidade de 50.000L, com sistema de aeração e drenagem independentes. O abastecimento dos tanques foi feito utilizando-se água do canal de abastecimento dos viveiros. A alimentação utilizada foi à base de biomassa de artêmia e ração comercial com 40% de proteína bruta, administrada diariamente de duas em duas horas. Para relacionar a sobrevivência das PL com as variáveis de cultivo utilizou-se a regressão múltipla, em que seus parâmetros foram estimados com base na minimização da soma dos quadrados. A seleção de variáveis foi realizada utilizando-se o processo Stepwise Forward estabelecendo o valor três da estatística “F” de Snedecor de entrada ( $F_{\text{entrada}}$ ) e de saída ( $F_{\text{saída}}$ ), associado com a técnica de Montgomery e Peck para minimizar a soma dos quadrados dos resíduos. Para verificar a adequação do modelo aos dados, a linearidade, normalidade e homogeneidade dos resíduos foram utilizados a análise de variância (ANOVA) e a análise de resíduos. Assim, ao modelar a sobrevivência (Sob-%) das PL com as variáveis de manejo, obteve-se  $R^2=60,81\%$  e através da ANOVA verificou-se que o nível de probabilidade de rejeição do modelo foi muito pequeno. Verifica-se que podemos modelar a sobrevivência com os parâmetros de cultivo, onde a procedência das PL, o tempo de cultivo e a densidade influem de forma significativa na sobrevivência, e recomenda-se ao produtor que utilize PL dos laboratórios LFPL<sub>2</sub>, LFPL<sub>3</sub>, LFPL<sub>4</sub> e LFPL<sub>7</sub>, pois com certeza ele obterá sucesso no seu agronegócio.

**Palavras-chave:** Box e Cox; *Litopenaeus vannamei*; Stepwise Forward.

## Abstract

The objective to maximize the survival of the post-larvae (PL) of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* being related with the variable of handling (density of stockage of the post-larvae, month of culture, days of culture, nurseries and laboratories supplying of the post-larvae) when cultivated in the nurseries. They had been 65 data of culture of a commercial farm located in the state of Rio Grande do Norte corresponding to the period from october 2004 to march 2007. The post-larvae (PL) were storage in nursery with densities varied from 12 to 64 PL/L in a period of five to 19 days. The system of culture adopted in the nursery phase was the intensive with capacity of 50.000 liters, with system of aeration and draining independents. The supplying of the tanks was made using water of the canal of supplying of the fisheries. The feeding used was to the base of biomass of artêmia and commercial ration with 40% of rude protein, and was managed of daily of two in two hours. To relate the survival of the post-larvae with the culture variable it was used multiple regression, where its parameters had been esteem on the base of the minimization the sum of square of residues. The selection of variable was carried through using the process of Stepwise Forward, establishing value 3 of statistics "F" of Snedecor of entrance and exit, associated the Montgomery and Peck to minimize the sum of square of residues. To verify the adequacy of the model to the data, the linearity, normality and homogeneity for the residues had been the analysis of variance (ANOVA) and analysis residues. Thus, to the shape a survival of the post-larvae of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* in the nursery phase, with the variable of handling, it was gotten  $R^2 = 60,81\%$ , and through the ANOVA is verified that the level of probability of rejection of the model was very small. It was concluded that we can shape the survival with the culture parameters, where the origin of the post-larvae, the time of culture and the density influence of significant form in the survival and send regards to the producer that it uses PL of the laboratories LFPL<sub>2</sub>, LFPL<sub>3</sub>, LFPL<sub>4</sub> e LFPL<sub>7</sub>, therefore with certainty it will get success in its production.

**Keywords:** Box e Cox; *Litopenaeus vannamei*; Stepwise Forward.



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Tanques berçário em alvenaria e fibra de vidro.....	20
Figura 2 - Aclimação de pós-larvas do camarão marinho <i>L. vannamei</i> .....	21
Figura 3 - Alimentação de pós-larvas utilizando bandejas.....	22
Figura 4 - Intervalo de confiança para $\lambda$ através da minimização $SS_E(\lambda)$ e identificação do seu melhor valor.....	34
Figura 5 - Resíduo padronizado em função dos valores estimados.....	48
Figura 6- Resíduo padronizado em função dos quantis da normal reduzida.....	49
Figura 7- Representação da sobrevivência das pós-larvas do <i>L. vannamei</i> em função dos laboratórios fornecedores de pós-larvas e tempo de cultivo.....	50
Figura 8- Sobrevivência das pós-larvas do <i>L. vannamei</i> em função dos laboratórios fornecedores de pós-larvas e da densidade de estocagem.....	51

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tabela da análise de variância para a regressão (ANOVA).....	30
Tabela 2 - Variável resposta e variáveis de manejo relacionadas ao cultivo do camarão marinho <i>L. vannamei</i> .....	44
Tabela 3 - Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão.....	46
Tabela 4 - Análise de variância para a regressão da taxa de sobrevivência das pós-larvas do camarão marinho <i>L. vannamei</i> .....	47
Tabela 5 - Testes de normalidade.....	47

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISAO DE LITERATURA .....	13
2.1. Carcinicultura mundial .....	13
2.2. O <i>Litopenaeus Vannamei</i> .....	18
2.3. O cultivo do <i>Litopenaeus Vannamei</i> .....	19
2.3.1. Fase de berçário .....	19
2.3.2. Fase de engorda .....	22
2.4. Regressão .....	23
2.4.1. Regressão linear simples .....	24
2.4.2. Estimação do parâmetro .....	24
2.4.3. Regresão linear múltipla .....	27
2.4.4. Transformação de dados .....	31
2.4.5. Variáveis indicadoras no modelo .....	35
2.4.6. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de determinação ...	35
2.4.7. Intervalo de confiança para $\beta$ .....	37
2.4.8. Análise dos resíduos .....	38
2.4.9. Seleção de variáveis na equação .....	40
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	42
3.1. Origem dos dados .....	42
3.2. Análise dos dados .....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	46
5. CONCLUSÕES .....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Mendes et al. (2006), a aqüicultura é um agronegócio que envolve as técnicas de cultivo de peixes, crustáceos, moluscos, outros animais aquáticos e as algas. Porém, dentre os ramos da aqüicultura, destaca-se a carcinicultura que é responsável pelo cultivo de camarões em cativeiro.

Vários fatores têm contribuído de forma significativa, para o crescimento do agronegócio da carcinicultura, dentre eles destacam-se o progresso de novas tecnologias de manejo na fase de larvicultura e de engorda; a busca de técnicas que interajam entre o manejo e as epizootias; e a maximização da produção e produtividade nas fazendas, através de pesquisas nas diversas áreas que compõem a cadeia produtiva do camarão (OLIVEIRA, 2008).

O camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, atualmente, é a única espécie cultivada no Brasil. Essa espécie é originária do Oceano Pacífico em meados da década de 80, e se reproduz no mar migrando em seguida para as zonas costeiras onde se desenvolvem.

Atualmente a carcinicultura busca uma tecnologia sustentável, tanto para não prejudicar as crias, quanto para não gerar efluentes ao meio, sendo uma atividade onde os pescadores se mantêm ocupados gerando rendas, principalmente em locais com altos índices de desemprego.

Assim, devido ao crescimento da carcinicultura, faz-se necessário realizar pesquisas constantes, tanto na área de manejo da espécie quanto na área de estatística, analisando a eficiência das variáveis envolvidas no cultivo do *L. vannamei* visando sempre à expansão desse agronegócio.

Dentre as técnicas utilizadas para o cultivo de camarão, a estatística destaca-se como uma ferramenta usada para a análise de seus dados e modelagem dos parâmetros relacionados com o cultivo. A análise de regressão é, utilizada para verificar como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma a uma na população,

ou seja, pode ser utilizado para estimar os parâmetros de cultivo tais como, taxa de sobrevivência, peso final, etc., em função das variáveis de manejo tais como, mês de cultivo, densidade de estocagem, etc., onde esses parâmetros podem ser correlacionados utilizando-se ou a regressão simples ou a regressão múltipla.

Desta forma, objetivou-se elaborar um modelo estatístico, com os dados obtidos do cultivo do *L. vannamei* na fase berçário, cultivado em uma fazenda comercial do Rio Grande do Norte, selecionando quais variáveis independentes (densidade de estocagem das pós-larvas, mês de cultivo, tempo de cultivo, tanques berçários e laboratórios fornecedores das pós-larvas) são mais significativas em relação à variável produto (sobrevivência), de forma que haja uma maximização da variável produto no final do cultivo, gerando conseqüentemente sucesso no agronegócio.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Carcinicultura mundial

A aqüicultura é uma atividade de indiscutível importância para garantir o fornecimento de proteínas necessárias à continuidade da alimentação humana. Ela gera emprego e renda nas pequenas comunidades, trazendo novas oportunidades e auxiliando a manter o homem no campo e nas comunidades litorâneas de origem.

A carcinicultura é o segmento mais bem sucedido, economicamente, da aqüicultura. Os números do desempenho da carcinicultura a nível mundial são bastante expressivos, pois segundo a FAO (2007), a produção desse setor cresceu de 2.152.173 t em 2003 para 2.734.411 t em 2005, correspondendo a um incremento de 26,99%. Porém, esse agronegócio é, na atualidade, a atividade que mais cresce no ramo da aqüicultura no mundo, com uma produção equivalente a 3,16 milhões de toneladas no ano de 2006 (FAO, 2008).

O cultivo de camarão marinho teve sua origem na Ásia quando, na década de 30, cientistas japoneses iniciaram trabalhos de larvicultura com a espécie *Marsupenaeus japonicus*, mas somente nas décadas de 70 e 80 foi que essa atividade se proliferou intensamente (ROCHA e MAIA, 1998). Em meados dos anos 80, a disponibilidade de larvas produzidas em laboratórios e rações comerciais permitiu sua intensificação, levando Taiwan a colheitas recordes, junto com Filipinas, China e outros países asiáticos (PRIMAVERA, 1998).

No início das atividades, a carcinicultura foi implantada nas áreas costeiras, nos manguezais, o que ocasionou devastamento dos mangues com o objetivo de atender as necessidades de sua construção. Porém, no início dos anos 80, começaram as primeiras instalações de fazendas de camarão em áreas afastadas dos manguezais em decorrência não só da preocupação com a preservação desses manguezais como também da relação ecológica e sócio-econômica.

O cultivo do camarão marinho, como atividade do setor primário da economia de muitos estados brasileiros, tem reflexos imediatos no mercado de trabalho devido a sua ampla capacidade de gerar empregos diretos e indiretos. Segundo Rocha (2007) no ano de 2005 entre os maiores produtores de camarão marinho destacam-se a China com 1.024.949 t, Tailândia com 376.320 t, Vietnã com 327.200 t e Indonésia com 279.539 t. O Brasil ocupa a oitava posição no mundo com uma produção equivalente a 65.000 t (FAO, 2007), em um mercado cada vez mais competitivo onde a qualidade do produto é tão ou mais importante do que a quantidade ofertada.

De acordo com Rocha (2007) e Oliveira (2008), o *Litopenaeus vannamei* é a espécie que mais se destacou na produção mundial de camarão cultivado em cativeiro no ano de 2005. Sua representatividade foi de 61,09% do total das espécies de camarão cultivados em todo o mundo, onde em seguida tem-se o *Penaeus monodom* com 26,01%, o *Penaeus merguensis* com 2,97%, o *Penaeus chinensis* com 1,88% e outras espécies e policultivos com 8,05% (FAO, 2007).

Segundo Neto e Barbieri (2002), a evolução da carcinicultura tem se dado a passos muito largos no Brasil, em um processo dinâmico e rápido. Em poucos anos a atividade popularizou-se, deixando de ser um negócio apenas para grandes investidores e se tornando atrativa também para pequenos produtores. Mais, de acordo com Rocha e Maia (1998), o desenvolvimento da carcinicultura no Brasil está concentrado na região Nordeste, com pequenas iniciativas nas regiões Norte e Sul.

O Nordeste é a região brasileira em que se encontram as melhores condições para a carcinicultura devido às altas temperaturas com variação anual em torno de 22 a 30° C e à relativa estabilidade climática. Essas condições estão ainda aliadas a uma ampla extensão de terras às margens do litoral, boa qualidade da água e disponibilidade de mão-de-obra barata, indicando um considerável potencial para a expansão da maricultura. Além disso, o Nordeste com seus 3.300 km de litoral é responsável por 94% de todo o camarão produzido pelo Brasil, segundo dados da Associação Brasileira dos Criadores de Camarão-ABCC.

Os primeiros experimentos com o camarão cultivado no Brasil datam da década de 70 quando o governo do Rio Grande do Norte criou o Projeto Camarão para estudar a viabilidade do cultivo desse crustáceo em substituição à extinção do sal. Nesse período, o Estado de Santa Catarina também desenvolveu pesquisas de reprodução, larvicultura e engorda do camarão cultivado e conseguiu produzir as primeiras pós-larvas em laboratórios da América Latina.

A realização do primeiro esforço organizado e orientado para a produção comercial do camarão confinado ocorreu no período de 1978 a 1984 por iniciativa do governo do Rio Grande do Norte (RN), que importou a espécie *Marsupenaeus japonicus*, reforçou o Projeto Camarão e envolveu a EMPARN (Empresa de Pesquisas Agropecuárias do RN) para sistematizar e desenvolver os trabalhos de adaptação da espécie exótica às condições locais. Neste período caracterizou-se a primeira fase do camarão cultivado no Brasil, na qual predominou cultivos extensivos de baixa densidade de estocagem, reduzida renovação da água e uso da alimentação natural produzida no próprio viveiro. Os resultados favoráveis obtidos com o *P. japonicus* nos três primeiros anos dos trabalhos da EMPARN no que concerne à reprodução e larvicultura, o crescimento e engorda, serviram de base para a mobilização dos mecanismos federais de assistências técnica e financiamento da época em apoio à iniciativa privada.

Com a realização do Primeiro Simpósio Brasileiro sobre cultivo do camarão, em Setembro de 1991 em Natal/Brasil, houve uma ampla divulgação do desempenho da espécie importada do Japão e foram instaladas as primeiras fazendas de camarão do Nordeste. A decisão da Companhia Industrial do Rio Grande do Norte (CIRNE) de transformar boa parte de suas salinas em viveiros de camarão constituiu um estímulo importante para outras iniciativas do setor privado.

Além da falta de um plano muito mais abrangente de pesquisa e validações tecnológicas, uma das causas que levou ao fracasso a domesticação do *P. japonicus* depois de resultados iniciais promissores esteve vinculado ao período de sua adaptação (1978 a 1983), que coincidiu com uma das estiagens mais prolongadas do Nordeste criando condições excepcionalmente favoráveis para o seu



bom desempenho. A partir de 1984, com o encerramento do prolongado período seco e a ocorrência de chuvas intensas e das apreciáveis variações de salinidade nas águas estuarinas, ficaram evidenciadas as intransponíveis dificuldades para assegurar a maturação, a reprodução e a própria sobrevivência do camarão *P. japonicus* no nosso ambiente tropical. Em meados de 1985 a 1986, já estava descartada a viabilidade de se desenvolver uma carcinicultura regional com a referida espécie.

Apesar do insucesso, a primeira fase da carcinicultura brasileira deixou alguns pontos de apoio que serviram de estímulo para continuar os esforços de viabilização desse agronegócio. Contando com fazendas e laboratórios de camarão instalados e com experiência acumulada em procedimentos e práticas de produção, os técnicos e produtores envolvidos no setor partiram para as domesticações das espécies nativas (*L. subtilis*, *L. paulensis* e *L. schimiti*), período este que passa a constituir a segunda fase da evolução da carcinicultura nacional. Neste caso, alguns cultivos passaram a adotar uma maior densidade de povoamento (de 4 a 6 camarões por m<sup>2</sup>), taxas de renovação de água de 3% a 7% e alimento concentrado. Ficou caracterizado, nesta fase, o primeiro intento de estabelecer um sistema semi-intensivo para produzir o camarão confinado no Nordeste.

Durante 10 anos de trabalhos de domesticação das nossas espécies nos quais se demonstrou a viabilidade de importantes aspectos como maturação, reprodução e larvicultura e se trabalhou intensamente em manejo de água e de solo de fundo dos viveiros, o desempenho produtivo dessas espécies não ultrapassou as médias de 400 a 600 kg/ha/ano. Estes níveis de produtividade traduzidos em termos financeiros mostram-se apenas suficientes para cobrir custos diretos de produção das fazendas com melhor manejo. Em um bom número de casos, nem sequer chegou a este nível de cobertura financeira. Tal situação comprometeu a rentabilidade do agronegócio levando à desativação de algumas grandes unidades produtivas da região.

A decisão de descontinuar a domesticação das espécies silvestres nacionais como opção para viabilizar a carcinicultura no Brasil, levou o grupo pioneiro de técnicos e produtores a buscar solução com a espécie exótica *Litopenaeus*

*vannamei*, ainda na década de 80. As importações ocorreram nos primeiros anos da década de 90. Esta nova situação caracterizou a terceira etapa da carcinicultura brasileira. O critério básico para a adoção da nova espécie foi o fato de ser a mesma já cultivada com êxito no Equador e Panamá e haver demonstrado capacidade de adaptação aos ecossistemas de diferentes partes do hemisfério ocidental.

De acordo com Oliveira (2006), a partir do momento em que laboratórios brasileiros dominaram a reprodução e larvicultura do *Litopenaeus vannamei* e iniciaram a distribuição comercial de pós-larva, o que vem a ocorrer na primeira metade dos anos 90, as fazendas em operação ou semiparalizadas adotaram o cultivo do novo camarão obtendo índices de produtividade e rentabilidade superiores aos das espécies nativas. As validações tecnológicas foram intensificadas no processo de adaptação do *L. vannamei*, sendo válido afirmar que a partir de 1995/1996 foi demonstrada a viabilidade comercial de sua produção no país.

O *L. vannamei* é, portanto, a única espécie que atualmente se cultiva no Brasil, onde os resultados dos trabalhos realizados no processo de sua domesticação converge e continuam convergindo cada vez mais.

Assim, em realidade, a carcinicultura se constitui a alternativa de maior viabilidade para o estabelecimento de uma ordem econômica no setor primário, onde a qualificação prévia de mão-de-obra não representa um impedimento para a implantação dos seus empreendimentos, contribuindo adicionalmente, de forma bastante positiva, para o desenvolvimento de tecnologias que beneficiam toda a cadeia produtiva da aqüicultura mundial.

Segundo Rocha (2007), pode-se notar que no ano de 2004 houve uma queda na produção da carcinicultura brasileira, onde a produção caiu 27,93% saindo de 90.190 t no ano de 2003 para 65.000 t no ano de 2005, e a produtividade sofreu uma queda de 6.084 kg/ha/ano no ano de 2003 para 4.333 kg/ha/ano no ano de 2005 mesmo tendo um aumento na área de produção.

De acordo com Pinheiro (2006), umas das causas dessa diminuição da produção nacional em 2004, se deu em virtude do surgimento de doença tais como o vírus da mionecrose infecciosa- IMNV (Infectious Myonecrosis Vírus), ainda não identificado em outros países, porém identificado no Nordeste brasileiro, sendo uma ameaça à sustentabilidade da indústria do camarão, e causando sérias perdas econômicas para os produtores. Além desse fator, outro causador dessa diminuição da produção nacional foi o processo *antidumping* que os EUA promoveu contra o produto brasileiro. Os preços baixos no mercado internacional e a desvalorização do dólar frente ao real também contribuíram para agravar as perdas na indústria do camarão cultivado.

## **2.2. O *Litopenaeus vannamei***

O *Litopenaeus vannamei*, é também conhecido como *Penaeus vannamei*, camarão cinza ou camarão branco do pacífico. O seu rosto apresenta, normalmente de 2 a 4 ventrais dentes, que são longos.

Segundo Bezerra (2006), a desova do *L. vannamei* ocorre no mar onde a sua primeira fase larval se inicia após a eclosão das larvas. O mesmo diz que na fase de larva, o *L. vannamei* pode se encontrar no estágio de náuplios, zoéa e mysis e posteriormente, a fase de pós-larva. Essas pós-larvas migram para regiões próximas as costas, onde há águas pouco profunda, com aportes fluviais e fundo lamoso, que são ricos em matéria orgânica, fornecendo as pós-larvas abrigo e alimento.

O *Litopenaeus vannamei* é atualmente a única espécie de camarão cultivada no Brasil para fins comerciais, devido não só a sua rusticidade, como também a sua boa adaptação às condições climáticas que são estáveis, às altas temperaturas, e além disso, pelo fato dessa espécie apresentar uma taxa de crescimento rápida em todas as fases do seu cultivo. Pode-se encontrar essa espécie do leste do Oceano Pacífico até o norte do Peru, podendo chegar a ter 23 cm de comprimento.

Devido não só a seu valor nutritivo como também ao seu excelente sabor, tornou-se um produto que tem um mercado externo crescente, uma vez que a cada

dia aumenta no mundo a preferência dos consumidores por esse alimento. Demonstra grande resistência na criação em cativeiro, permitindo a sua criação em altas densidades, não dependendo de chuvas por encontrar nas águas salobras, principalmente nas da costa do Nordeste brasileiro, condições ideais para o seu crescimento.

Devido aos fatores acima mencionados, existe um grande e crescente interesse por parte dos produtores em investir nas pesquisas voltadas para o melhoramento do cultivo do *Litopenaeus vannamei*, obtendo conseqüentemente sucesso no seu agronegócio.

### **2.3. O Cultivo do *litopenaeus vannamei***

Durante a prática do manejo do camarão marinho, geralmente as fazendas comerciais de camarão implantadas no Brasil adotam o sistema bifásico de cultivo. Esse sistema é compreendido por duas fases que são desenvolvidas em tanques berçário e em viveiros para crescimento (engorda).

Nas fazendas comerciais, existem várias técnicas empregadas na fase berçário e engorda que visam à obtenção de melhores resultados, primordialmente no peso final do camarão e na taxa de sobrevivência, proporcionando altos valores na produção e minimização dos custos da produção. Dentre as técnicas ressaltam-se: aclimação, preparação do solo, monitoramento dos parâmetros que envolvem a qualidade e transparência da água nos viveiros, biometrias, fornecimento de ração, desinfecção, correção e fertilização.

#### **2.3.1. Fase berçário**

Nessa fase, as pós-larvas são colocadas em tanques chamados de tanques berçário. Esses tanques são construídos em alvenaria tendo a profundidade de 1,0 a 1,2 m, com um volume de água entre 30 e 80 mil litros (BEZERRA, 2006). São construídos em concreto ou fibra de vidro (Figura 1) em formatos diversos

(retangulares, quadrados ou circulares), e possuem obrigatoriamente o sistema de aeração.



*Figura 1- Tanques berçário em alvenaria e fibra de vidro.*

A fase berçário tem a finalidade de aclimatar as pós-larvas (Figura 2) dos camarões às condições locais em que, posteriormente, são transferidas aos viveiros de engorda. Esse processo de aclimação consiste na mistura gradual e contínua da água de transporte da pós-larva com a água de cultivo, com a finalidade de se conseguir um nível de igualdade com a água do tanque berçário, fazendo com que as pós-larvas não sintam uma mudança brusca na troca do seu habitat e, conseqüentemente, evitando perdas maiores no seu cultivo para o produtor. Além disso, pode-se também observar e selecionar indivíduos mais resistentes, com tamanhos homogêneos para a fase de engorda, além de possibilitar a formação de estoques regulares de pós-larvas (NUNES, 2004).



*Figura 2- Aclimação de pós-larvas do camarão marinho *L. vannamei*.*

As pós-larvas são alimentadas com ração micro particulada/comercial e biomassa de artêmia. Essa alimentação durante o período do dia é administrada de duas em duas horas, havendo uma alternância entre a biomassa de artêmia e a ração e, no período noturno, essa alimentação é administrada de três em três horas.

O cultivo nessa fase dura de 10 a 20 dias, onde o produtor pode obter uma taxa de sobrevivência superior a 90%, quando há uma boa condução no manejo (BEZERRA, 2006). A densidade de estocagem das pós-larvas nesses tanques berçário varia de 20000 a 25000 PL/m<sup>3</sup>, fazendo a necessidade da utilização de aeradores por conta dessa alta densidade, para que haja um nível de oxigenação adequado.

Outro fator importante é que se faça um monitoramento diário das variáveis físico-químicas da água, obtendo assim um controle mais rígido das mesmas, e também do estado morfológico das pós-larvas. Quando necessário, faz-se inclusive renovações de água, visando o melhoramento da mesma.

### **2.3.2. Fase de engorda**

A fase de engorda é a fase de crescimento do camarão, onde se emprega o método de cultivo semi-intensivo para a sua criação comercial. Esse método se caracteriza pela oferta de alimento artificial, em complemento ao natural, por possuir densidades populacionais moderadas com aproximadamente 30 camarões/m<sup>2</sup> e pela utilização de aeradores em horários críticos de oxigênio dissolvido na água.

Os camarões de cultivo nessa fase atingem de 10 a 12 g, normalmente, durante 90 a 120 dias de engorda. Na primeira fase, a alimentação dos camarões é feita através da modalidade do voleio, afim de que os camarões comecem a buscar seu próprio alimento, porém, existe um problema que é o desperdício de alimento. Em seguida, essa modalidade é substituída pela utilização de bandejas (Figura 3).



*Figura 3 – Alimentação de pós-larvas utilizando bandeja.*

Segundo Bezerra (2006), essas bandejas são estruturas circulares, construídas com virolas ou partes internas de pneus, em cuja base é colocada uma tela para retenção da comida e, na borda, um cordão para possibilitar sua imersão e

remoção da água. A quantidade de ração que deve ser colocada no viveiro depende da densidade de estocagem de camarões que o viveiro possui.

O bem estar dos camarões submetidos ao cultivo, depende do monitoramento de algumas variáveis físico-químicas da água tais como o oxigênio dissolvido, a salinidade, a temperatura e o pH da água, tendo assim como determinar as condições de saúde dos camarões, o seu crescimento e a sua taxa de sobrevivência, mas caso algum desses parâmetros não estejam compatíveis, tem-se que tomar medidas corretivas a fim de evitar a morte ou o estresse dos camarões.

## **2.4. Regressão**

Dentre as técnicas utilizadas para o cultivo de camarão, a estatística destaca-se como uma ferramenta usada para a análise de seus dados e modelagem dos parâmetros relacionados com o cultivo. A análise de regressão, é utilizada para verificar como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma a uma na população, ou seja, pode ser utilizado para estimar os parâmetros de cultivo tais como, taxa de sobrevivência, peso final, etc., em função das variáveis de manejo tais como, mês de cultivo, densidade de estocagem, etc., onde esses parâmetros podem ser correlacionados utilizando-se ou a regressão simples ou a regressão múltipla.

Sabe-se também, que no estudo da análise de regressão, é comum se falar do efeito das variáveis independentes sobre uma variável dependente. Entretanto, é impossível provar que mudanças na variável independente venham causar (ou trocar) na variável dependente (FERNANDES, 2002). Assim, a regressão pode ser usada para estabelecer o quanto a variável independente contribui com informações para prever (estimar) a variável dependente. Além disso, segundo Ximenes (2005) a regressão é uma técnica estatística matemática utilizada para determinar uma curva que melhor se ajuste as observações feitas na amostra, ou seja, para obter as equações que interpretam a relação funcional entre as variáveis em estudo.



### 2.4.1. Regressão linear simples

A regressão linear simples é o caso onde apenas uma variável independente  $X$  (variável explicativa) é tratada afetando o valor da variável dependente  $Y$  (variável resposta). O modelo pode ser estabelecido da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{eq. (1)}$$

em que:

$Y_i$  é o valor da variável resposta no  $i$ -ésimo ensaio ou observação;  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são os parâmetros do modelo, sendo  $\beta_0$  o intercepto da linha de regressão com o eixo da ordenada e  $\beta_1$  é a inclinação da linha de regressão, ou seja, o coeficiente angular; e  $\varepsilon_i$  é o erro da  $i$ -ésima observação ou desvio do modelo com distribuição normal de média zero e variância constante  $\sigma^2$  [ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ]. (DRAPPER e SMITH, 1981).

Se a amplitude do modelo inclui  $X=0$ ,  $\beta_0$  fornece a média da distribuição de probabilidade de  $Y$  no ponto  $X=0$ . Quando a amplitude do modelo não inclui  $X=0$ ,  $\beta_0$  não tem um significado particular como termo separado do modelo de regressão;  $X_i$  é uma constante, ou seja, o valor da variável independente (explicativa) no  $i$ -ésimo ensaio ou observação;  $\varepsilon_i$  é um erro aleatório ou desvio do modelo com distribuição normal de média zero ( $E(\varepsilon_i) = 0$ ) e variância constante  $\sigma^2$  ( $\sigma^2(\varepsilon_i) = E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2$ ), isto é, [ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ]. Além disso, os  $\varepsilon_i$  são não correlacionados de modo que a covariância  $\sigma(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$  para todo  $i, j, i \neq j, i = 1, 2, \dots, n$  (FERNANDES, 2002).

O modelo da eq.(1) é dito ser simples porque tem apenas uma variável independente, é linear nos parâmetros porque nenhum parâmetro aparece em expoente ou é multiplicado ou dividido por outro parâmetro, e é linear na variável independente porque esta aparece elevada à primeira potência.

### 2.4.2. Estimação dos parâmetros

Com o objetivo de atender a natureza do modelo de regressão, seja ele simples ou múltiplo, faz-se necessário estimar os seus parâmetros, testá-los, estimar

valores para as variáveis dependentes e determinar os respectivos intervalos de confiança para essas estimativas, de acordo com a equação de regressão utilizada.

De acordo com Mendes (1999), para se estimar os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  do modelo de regressão linear simples, tem-se que:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

e da equação acima obtém-se:

$$\varepsilon_i = Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i \Rightarrow (\varepsilon_i)^2 = (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2$$

$$\therefore \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2. \quad \text{eq.(2)}$$

Os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  podem ser estimados por vários métodos tais como os métodos dos Pontos Seleccionados, das Médias ou até mesmo o dos Mínimos Quadrados, onde este último é o mais utilizado e o mais preciso também.

Segundo Stigler (1986), o Método dos Mínimos Quadrados surgiu em 1805 através de estudos do cientista francês Adrien Marie Legendre. Esse método é uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajustamento para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre a curva ajustada e os dados, ou seja, definir as estimativas dos parâmetros de modo que esses valores minimizem a soma dos quadrados dos resíduos em torno da reta estimada.

Em outras palavras, para o modelo da equação 1, o método dos mínimos quadrados consiste em estimar a reta  $E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i$  cuja soma dos quadrados das distâncias verticais dos  $Y_i$  a ela seja a menor possível. Ou seja, o método consiste em estimar  $\beta_0$  e  $\beta_1$  que determinam a reta de tal modo que  $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$  seja o menor possível.  $\hat{Y}_i$  é o estimador de  $E(Y_i)$ , ou seja, o estimador da média da distribuição dos  $Y_i$ 's. Denotando por  $\varepsilon_i$  os desvios (ou resíduo) da  $i$ -ésima

observação  $\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$ , o método dos mínimos quadrados consiste em determinar  $b_0$  e  $b_1$  (estimadores de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ ) de modo que  $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ . Isto é, consiste em determinar os valores de  $b_0$  e  $b_1$  que minimizam

$$Q = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2. \quad \text{eq. (3)}$$

Fazendo  $\frac{\partial Q}{\partial b_0} = 0$  e  $\frac{\partial Q}{\partial b_1} = 0$ , obtém-se o seguinte sistema de equações

lineares:

$$\begin{cases} nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n Y_i \\ b_0 \sum_{i=1}^n X_i + b_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \end{cases}. \quad \text{eq.(4)}$$

Resolvendo o sistema acima obtém-se:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}} \Rightarrow b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

e

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - b_1 \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \Rightarrow b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}.$$

$$\text{sendo } \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \text{ e } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}. \text{ Assim, } \hat{Y}_i = b_0 + b_1 X_i. \quad \text{eq. (5)}$$

O Teorema de Gauss-Markov, nos garante, que o estimador de mínimos quadrados EMQ é o estimador não enviesado de variância mínima linear na variável resposta, sendo assim o mais eficiente (FERNANDES, 2002).

### **2.4.3. Regressão linear múltipla**

A utilização da regressão linear simples é bastante ampla devido a sua simplicidade. Porém, em muitas situações a explicação de um fenômeno através de apenas uma variável independente por muitas vezes não é satisfatório, pois essa variável será apenas mais uma das variáveis componentes que influenciará na variação da variável resposta estudada.

Assim, nestes casos deve-se propor um modelo que envolva mais de uma variável independente, o qual é chamado de modelo de regressão linear múltipla. A teoria para a regressão linear múltipla é a semelhante a da regressão linear simples.

A partir da regressão linear múltipla procura-se explicar as relações existentes entre duas ou mais variáveis através da equação de reta que melhor se ajusta aos dados observados, onde se tem uma variável dependente  $Y$  em função de duas ou mais variáveis independentes  $X_i$ , todas desprovidas de erro.

Mendes (1999) relatou que, objetivando-se relacionar uma variável resposta  $Y$ , em função de outras variáveis independentes, também denominadas de preditoras, pode-se utilizar o modelo de regressão linear múltipla a seguir:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad \text{eq. (6)}$$

em que:

$Y_i$  - o valor da variável resposta no  $i$ -ésimo ensaio ou observação;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  - são os parâmetros do modelo;  $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$  - são as variáveis independentes do modelo;  $\varepsilon_i$  é o erro da regressão com  $i=1, 2, \dots, n$ .

Montgomery e Peck (1982), afirmam que o modelo acima, eq. (6), pode ser escrito como:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{eq. (7)}$$

e, matricialmente como:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad \text{eq.(8)}$$

sendo:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \cdots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \cdots & X_{kn} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

em que:

$Y_{(n \times 1)}$  - o vetor observação ou resposta;  $X_{(n \times p)}$  - a matriz de variáveis respostas;  $\beta_{(p \times 1)}$  - o vetor de coeficientes de regressão, com  $p=k+1$ , onde  $k$  é o número de variáveis explicativas do modelo;  $\varepsilon_{(n \times 1)}$  - o vetor de erros aleatórios.

Cordeiro e Neto (2004), afirmam que o modelo clássico de regressão é definido da seguinte forma:

1. As respostas  $Y_i$  são independentes (ou pelo menos não-correlacionadas) para  $i = 1, 2, \dots, n$ , com cada  $Y_i$  tendo uma distribuição específica de média  $\mu_i = E(Y_i)$  e variância  $\delta^2$  constante;

2. A média  $\mu_i = X_i^T \beta$ , sendo  $X_i^T \beta$  um vetor 1xp com os valores de k variáveis explicativas relacionadas a i-ésima resposta  $Y_i$  e  $\beta$  é um vetor px1 de parâmetros a serem estimados, com  $p=k+1$ .

Estes mesmos autores, afirmam ainda que as condições 1 e 2 citadas anteriormente, podem ainda serem expressas na forma matricial, como:

$\mu = E(Y) = X\beta$ , onde  $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$  é um vetor nx1 cuja i-ésima componente é  $Y_i$  e  $X$  é uma matriz formada pelas linhas  $X_1^T, \dots, X_n^T$ , onde geralmente adota-se a hipótese de aditividade entre  $Y$  e  $\mu$ , isto é,  $Y = \mu + \varepsilon$ , em que  $\varepsilon$  é um vetor de erros independentes ou pelo menos não-correlacionados, de média zero e variância  $\delta^2$  constante.

Na estimativa dos parâmetros estabelecidos para o modelo de regressão múltipla, tem-se:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - b_1 \frac{\sum_{i=1}^n X_{1i}}{n} - b_2 \frac{\sum_{i=1}^n X_{2i}}{n} - \dots - b_n \frac{\sum_{i=1}^n X_{ni}}{n}$$

ou

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - \dots - b_n \bar{X}_n \quad \text{eq.(9)}$$

Desta forma, tem-se:

$$b_0 \sum_{i=1}^n X_{ni} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{ni} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} X_{ni} + b_3 \sum_{i=1}^n X_{3i} X_{ni} + \dots + b_n \sum_{i=1}^n X_{ni}^2 = \sum_{i=1}^n X_{ni} Y_i \quad \text{eq.(10)}$$

Mas para que se possa utilizar o modelo de regressão linear seja ele simples ou múltiplo, tem-se que avaliar sua adequação em relação aos dados analisados. Dentre as técnicas utilizadas para se fazer essa avaliação destacam-se

a análise de variância (ANOVA), o índice determinístico que é também chamado de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e a análise residual.

A análise de variância é empregada para analisar ou comparar os diferentes tratamentos de uma pesquisa, além de avaliar a consistência de um modelo de regressão. O teste básico para a Análise de Variância era o teste “Z” de R. A. Fisher, hoje substituído por equivalentes, como o teste “F” de G. W. Snedecor, “V” de Hald e “v” F. G. Brieger (XIMENES, 2005).

Para se calcular a estatística “F” da análise de variância para regressão, utiliza-se o quadro da ANOVA apresentado de forma matricial a seguir:

Tabela 1- Tabela da análise de variância para a regressão (ANOVA)

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	k	$b^T X^T Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n}$	$SQ_{reg}/GL_{reg}$	$QM_{reg}/QM_{res}$
Resíduos	n-k-1	$Y^T Y - b^T X^T Y$	$SQ_{res}/GL_{res}$	
Total	n-1	$Y^T Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n}$		

em que: FV é a fonte de variação; GL é o grau de liberdade; SQ é a soma de quadrados; QM é o quadrado médio; k é o número de variáveis e n é o número de observações. (MONTGOMERY e PECK, 1982).

Para verificar se o modelo de regressão encontrado é adequado aos dados, compara-se a razão entre  $QM_{reg}/QM_{res}$  representado por F, e a estatística  $F(\alpha; k; n-k-1)$ , da tabela “F de Snedecor”. Se F for maior que o  $F(\alpha; k; n-k-1)$  encontrado na tabela, então o modelo de regressão é adequado aos dados, caso contrário, deve se procurar outro modelo, pois o encontrado não se adequa bem aos dados. O nível de significância utilizado aqui é de 5%.

#### 2.4.4. Transformação de dados

Mendes (1999) afirmou que quando as suposições de normalidade e/ou variância constante para os erros são violadas, algumas transformações para a variável resposta são sugeridas, como por exemplo, a transformação logarítmica, raiz quadrada, exponencial, angular e a de Box e Cox (1964).

As fórmulas para a transformação de Box e Cox da variável resposta “Y” são:

$$\begin{cases} W_i = (Y_i^\lambda - 1) / \lambda, \text{ para } \lambda \neq 0 \\ W_i = \ln Y, \text{ para } \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{eq.(11)}$$

onde esta família de transformação depende apenas do parâmetro  $\lambda$  e a matriz de dados é usada para estimar o valor de  $\lambda$ . O vetor de parâmetro  $\beta$  no modelo ajustado é dado por:

$$W = X\beta + \varepsilon \quad \text{eq.(12)}$$

em que  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ .

A máxima verossimilhança é um método geral de obter estimadores, utilizando a distribuição conjunta de probabilidade das observações da amostra. Assim, ao usar o método da máxima verossimilhança para estimar o melhor valor de  $\lambda$ , assumindo que  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ , tem-se:

$$W = X\beta + \varepsilon, \text{ onde a } \text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2 I,$$

e, através da matriz de dados, podemos estimar  $\lambda$ ,  $\beta$  e  $\sigma^2$  ao mesmo tempo, objetivando determinar a melhor transformação da variável resposta Y. De acordo



com Bezerra (2006), se conhecermos  $\lambda$ , a estimação dos parâmetros é imediata, e é dada através da equação:

$$\hat{b} = (X^T X)^{-1} X^T Y^\lambda, \quad \text{eq.(13)}$$

e a soma dos quadrados dos resíduos é dada por:

$$SQ_{res} = (Y^\lambda)^T (I - H) Y^\lambda, \text{ sendo } H = X(X^T X)^{-1} X^T, \quad \text{eq.(14)}$$

no entanto, sendo  $\lambda$  desconhecido, não se pode comparar diretamente as somas dos quadrados dos resíduos de  $\lambda$ , pois cada um tem unidade diferente. Para solucionar o problema acima, Box e Cox aplicaram a função de log-verossimilhança na equação da soma dos quadrados dos resíduos (eq.(14)).

Assumi-se que para estimar  $\lambda$ , deve-se usar o método da máxima verossimilhança em que  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ . Consideremos agora, a fdp (função densidade de probabilidade) por  $p(\varepsilon_i)$

$$p(\varepsilon_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma}\right)^2}. \quad \text{eq.(15)}$$

sendo que:

$$W_i \sim N(X_i\beta, \sigma^2),$$

e

$$f(W_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{W_i - X_i\beta}{\sigma}\right)^2}, \text{ que é a fdp de } W_i. \quad \text{eq.(16)}$$

Assim, a verossimilhança da amostra  $W_i$ , com  $i = 1, 2, \dots, n$  é dada por:

$$L(W_1, W_2, \dots, W_n) = f(W_1) \cdot f(W_2) \cdots f(W_n) = \prod_{i=1}^n f(W_i), \quad \text{eq. (17)}$$

então tem-se que:

$$L(W_1, W_2, \dots, W_n) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \sigma^n} e^{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i - X_i \beta}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \sigma^n} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (W_i - X_i \beta) \cdot (W_i - X_i \beta)}. \quad \text{eq. (18)}$$

A fim de colocar a eq.(18) em função de  $Y_i$ , multiplica-se pelo transformador

$$\text{Jacobiano } |J| = \begin{vmatrix} Y_1^{\lambda-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & \cdots & Y_n^{\lambda-1} \end{vmatrix} = \prod_{i=1}^n Y_i^{\lambda-1}, \text{ obtendo-se:}$$

$$L(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \sigma^n} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (W_i - X_i \beta) \cdot (W_i - X_i \beta)} \cdot Y^{\lambda-1} \quad \text{eq. (19)}$$

Logaritmando a equação acima e usando a notação de que  $L(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = L_{\max}(Y)$ , obtem-se:

$$L_{\max}(Y) = L_{\max}(\lambda) = -\frac{n}{2} \ln\left(\frac{SQ_{res}}{n}\right) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^n \ln Y_i \quad \text{eq. (20)}$$

em que o valor de  $\lambda$  que maximiza a equação acima é o melhor valor estimado para  $\lambda$ .

Outra forma de se obter o valor estimado de  $\lambda$  e o intervalo de confiança é dada da seguinte maneira por Montgomery e Peck (1982):

Temos que obter os mínimos quadrados através da equação abaixo:

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \frac{Y^{\lambda} - 1}{\lambda Y}, \lambda \neq 0 \\ W = \dot{Y} \ln Y, \lambda = 0 \end{array} \right. \quad \text{eq.(21)}$$

onde  $W = X\beta + \varepsilon$  e  $\dot{Y} = \ln^{-1} \left[ \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \ln Y_i \right]$ , que é a média geométrica das observações.

Assim, temos que o valor estimado de  $\lambda$  que mais minimiza a soma dos quadrados dos resíduos ( $SS_E(\lambda)$ ), é o melhor valor para  $\lambda$ . Podemos verificar qual é esse valor de  $\lambda$  que minimiza a  $SS_E(\lambda)$ , construindo um gráfico (Figura 4) da  $SS_E(\lambda)$  versus  $\lambda$ .

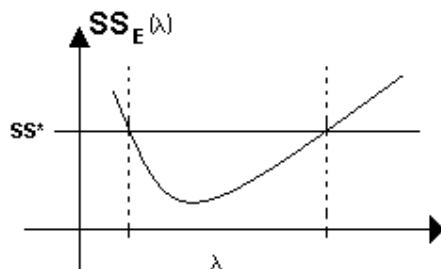


Figura 4- Intervalo de confiança para  $\lambda$  através da minimização  $SS_E(\lambda)$  e identificação do seu melhor valor.

$SS^*$  é a estatística utilizada para construir o intervalo de confiança para o valor estimado de  $\lambda$ . Esse intervalo tem  $100(1-\alpha)\%$  de confiança de conter o valor estimado de  $\lambda$ . Segundo Bezerra (2006), a estatística  $SS^*$  é dada por:

$$SS^* = SS_E(\lambda) \left( 1 + \frac{t^2_{(\alpha/2; \nu)}}{\nu} \right) \quad \text{eq.(22)}$$

onde “ $\nu$ ” é o número de graus de liberdade dos resíduos.

#### **2.4.5. Variáveis indicadoras no modelo**

Segundo Neter e Wasserman (1974), as variáveis empregadas para a análise de regressão são variáveis quantitativas, ou seja, são aquelas que têm uma escala bem definida de medida, tal como taxa de sobrevivência, peso, dentre outras. Porém, existem ocasiões em que se faz necessário incorporar no modelo, variáveis que não são contínuas. Tais variáveis são denominadas discretas ou mudas, e podem ser facilmente adicionadas visando uma melhor precisão no modelo e melhor resposta experimental, minimizando principalmente o erro da ANOVA, que é a parte não explicada do modelo (MENDES, 1999).

Essas variáveis mudas, também conhecidas como variável indicadora, binária ou discreta, são denotadas por 0 (ausência) ou 1 (presença) no modelo.

#### **2.4.6. Coeficiente de Pearson (R) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>)**

O índice determinístico também é chamado de coeficiente de determinação, e é denotado por R<sup>2</sup>. Este indica o percentual da variância da variável dependente que pode ser explicada pelas variáveis independentes.

Wonnacott e Wonnacott (1980), afirmam que o coeficiente de determinação para regressão linear simples (R), expressa a proporção da variação total de Y (variável dependente) explicada pelo ajuste do modelo, enquanto que o coeficiente de determinação para regressão linear múltipla (R<sup>2</sup>) constitui um índice global da variação da variável dependente Y, que pode ser explicada por todas as variáveis independentes.

O valor de R<sup>2</sup> pode variar de 0 a 1 e R<sup>2</sup> é a razão entre a variação explicada e a variação total. Quando essa variação total é explicada pelo modelo de regressão, o valor do coeficiente de determinação é igual a 1, mais quando o modelo não explica nada em relação a variação o valor de R<sup>2</sup> é igual a zero.

O coeficiente de determinação R<sup>2</sup> é dado pela seguinte equação

$$R^2 = \frac{SQ_{reg}}{SQ_{total}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{ou} \quad R^2 = 1 - \frac{SQ_{reg}}{SQ_{total}}. \quad \text{eq.(23)}$$

De acordo com Cordeiro e Neto (2004),  $R^2$  pode ser calculado também na forma matricial que é dada da seguinte forma:

$$R^2 = \frac{b^T X^T Y - n \bar{Y}^2}{Y^T Y - n \bar{Y}^2}. \quad \text{eq.(24)}$$

O coeficiente de correlação (R) é utilizado para determinar o quão duas variáveis estão relacionadas. Para se calcular R, temos que extrair a raiz quadrada de  $R^2$ , isto é:

$$R = \sqrt{\frac{SQ_{reg}}{SQ_{total}}} = \sqrt{\frac{\beta_1 (\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i) / n)}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 / n}}, \quad \text{eq.(25)}$$

mas como  $b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}$  temos que a equação (25) fica:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n})(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n})}}. \quad \text{eq.(26)}$$

### 2.4.7. Intervalo de confiança para $\beta$

De acordo com Fernandes (2002), para se obter intervalos de confiança para um único parâmetro utiliza-se a estatística ou distribuição “t de Student”, mas para dois ou mais parâmetros do modelo será utilizado a distribuição “F de Snedecor”.

A fronteira de uma região com  $100(1-\alpha)\%$  de confiança para todos os parâmetros do vetor  $\beta$ , pode ser obtida através da seguinte inequação:

$$(\hat{\beta} - \beta)^T (X^T X)(\hat{\beta} - \beta) \leq p\sigma^2 F_{(\alpha; p; n-p)} \quad \text{eq.(27)}$$

onde  $F_{(\alpha; k; n-k-1)}$  é o quantil da distribuição “F de Snedecor” com graus de liberdade “k” e “n-k-1”. Segundo Bezerra (2006), todos os  $\beta$  que satisfazem a inequação acima estão na região de  $100(1-\alpha)\%$  de confiança do vetor verdadeiro de parâmetros.

Montgomery e Peck (1982), afirmou que desde que o estimador de mínimos quadrados  $\hat{\beta}$  seja uma combinação linear das observações, segue que  $\hat{\beta}$  tem uma distribuição normal de média  $\beta$  e covariância  $\sigma^2(X^T X)^{-1}$ . Consequentemente, a distribuição marginal de alguns coeficientes de regressão  $\hat{\beta}_j$ , tem distribuição  $N(\beta, \sigma^2 C_{jj})$ , sendo  $C_{jj}$  o elemento da diagonal da matriz  $(X^T X)^{-1}$ , que ocupa a j-ésima linha e j-ésima coluna da respectiva matriz.

A matriz  $(X^T X)^{-1}$  só existirá uniformemente se cada coluna da matriz X não for uma combinação linear de uma outra coluna, ou seja, se os regressores forem linearmente independentes. Essa matriz é dada por:

$$(X^T X)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} & -\frac{\bar{x}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ -\frac{\bar{x}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} & \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \end{bmatrix}. \quad \text{eq.(28)}$$

Assim, cada estatística  $\frac{(\hat{\beta}_j - \beta_j)}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}}$  com  $j = 0, 1, 2, \dots, k$  tem distribuição “t de

Student” com “n-p” graus de liberdade. Portanto, o intervalo de confiança com  $100(1-\alpha) \%$  para o coeficiente de regressão  $\beta_j$ , com  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  é:

$$\hat{\beta}_j - t_{(\alpha/2; n-p)} \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}} \leq \beta_j \leq \hat{\beta}_j + t_{(\alpha/2; n-p)} \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}, \quad \text{eq.(29)}$$

em que  $\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}$ , é o desvio padrão de  $\hat{b}_j$ .

#### 2.4.8. Análise dos resíduos

Mendes (1999) afirma que o objetivo da análise de resíduo é avaliar a influência das observações no modelo ajustado. Esta análise permite verificar se falta algum componente no modelo ajustado, se a variância ( $S^2$ ) é a mesma para todos os  $y_i$  e se as suposições de normalidade e independência são válidas para os erros. A análise de resíduo normalmente é feita pelo resíduo ordinário padronizado “ $r_i$ ”, ou pelo resíduo estudentizado “ $t$ ”, que são:

$$r_i = \frac{\hat{y}_i - y_i}{\sqrt{QM_{RES}}} = \frac{e_i}{\sqrt{QM_{RES}}}, \quad \text{que é o resíduo ordinário e} \quad \text{eq.(30)}$$

$$r_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{\sqrt{(1-h_{ii})QM_{RES}}}, \text{ ou ainda, } r_i^* = \frac{y_i - \hat{y}_i}{\sqrt{(1-h_{ii})QM_{RES(-i)}}}, \text{ que é o resíduo}$$

estudentizado onde  $0 < h < 1$ , sendo  $QM_{RES(-i)}$  um estimador de  $\sigma^2$  excluindo-se a  $i$ -ésima observação e  $h_{ii}$  é expresso como:

$$h_{ii} = \frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{1}{n} + \frac{1}{n-1} \left( \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right)^2, \text{ sendo } S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

Temos que  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ , é a diferença entre o valor observado  $Y_i$  e o seu correspondente valor ajustado  $\hat{Y}_i$ , onde esses resíduos devem ser independentes, ter média zero, variância constante igual a  $\sigma^2$  e terem distribuição normal.

A análise de resíduo é feita pelo resíduo padronizado, e é um método utilizado para se verificar algum tipo de deficiência no modelo de regressão trabalhado. Segundo Bezerra (2006), o resíduo padronizado tem mais vantagem do que o resíduo ordinário, pois estando o modelo de regressão correto, todos os resíduos têm a mesma variância, mesmo não sendo independentes e, além disso, são apropriados para verificar a normalidade dos erros e a homogeneidade das variâncias.

Então, após ser encontrado os valores do resíduo padronizado, a forma de realizar a análise de resíduos, é plotar o gráfico do resíduo padronizado versus os valores correspondentes ajustados  $\hat{Y}_i$ . Esse gráfico tem como finalidade, verificar a homogeneidade da variância dos erros e a linearidade dos efeitos das variáveis explicativas nas médias das observações, indicando se o modelo é adequado ou não aos dados.

Plota-se o gráfico dos resíduos padronizados versus as observações ordenadas, a fim de detectar as observações aberrantes, ou seja, os “outliers”, que



são pontos discrepantes oriundos de erros de mensurações, erros na transcrição dos dados, erros no registro dos dados ou da introdução de um ou mais dados de indivíduos proveniente de uma população diferente da considerada (SOKAL e ROHLF, 1995).

Em determinados estudos, elimina-se os outliers para tentar diminuir o resíduo do modelo de regressão, mais segundo Drapper e Smith (1981), este não é o procedimento ideal, pois se pode cometer o risco de retirar dados com informações importantes para o modelo se o número de “outliers” for superior a 5% do total do quantidade de dados, tem-se que transformar os dados, mas se o número for inferior a 5%, considera-se dentro de uma normalidade.

#### **2.4.9. Seleção de variáveis na equação**

Ao relacionar uma variável dependente em função de duas ou mais variáveis independentes, faz-se necessário selecionar as variáveis independentes que são significativas para o modelo de regressão, existem alguns métodos utilizados para a seleção dessas variáveis, tais como, a estatística Cp de Mallow, seleção pelo máximo incremento no coeficiente de determinação  $R^2$ , o método de regressão Stepwise, dentre outros (FERNANDES, 2002).

O método de regressão Stepwise, apresenta três subclassificações segundo Montgomery e Peck (1982), que são: **Backward elimination** (eliminação do fim para o início); **Forward selection** (seleção do início para o fim); e **Stepwise regression** (regressão passo a passo).

O método “Backward elimination” é um processo que se inicia com todas as variáveis independentes no modelo. Após inserir todas as variáveis no modelo, calcula-se a estatística F de cada variável preditora. O menor valor calculado para a estatística F é comparado com o valor de  $F_{(\alpha; k; n-k-1)}$  da tabela F de Snedecor. Caso, o valor de F seja menor do que o valor de  $F_{(\alpha; k; n-k-1)}$ , remove-se a variável relativa a F do modelo, caso contrário, ela permanece no modelo. Porém, nesse método se

uma variável for eliminada do modelo ela não poderá mais ser recolocada no mesmo.

O método “Forward selection” é um método de seleção de variáveis preditoras do início para o fim, ou seja, se inicia sem nenhuma variável no modelo a não ser o intercepto ( $\beta_0$ ). Calcula-se a estatística F das variáveis preditoras, e a primeira a entrar no modelo será aquela que tiver o maior valor de F, do teste de significância para regressão. A segunda variável a entrar no modelo será aquela que produzir o maior valor de F dentre as variáveis que restaram, fazendo-se o mesmo processo para as demais variáveis independentes. O processo se encerra quando a adição de variáveis independentes não causa nenhum tipo de aumento significativo no  $R^2$ .

A estatística F é dada por:

$$F = \frac{QM_{reg}}{QM_{res}}. \quad \text{eq.(31)}$$

Já o método “Stepwise Regression” ou regressão passo a passo é um processo que permite que uma variável independente que já esteja incluída no modelo em um estágio, possa ser excluída posteriormente, caso ela não seja mais útil após a entrada de outras variáveis independentes, fazendo com que ela deixe de ser significativa para o modelo. Esse processo finaliza quando não há mais variáveis para serem retiradas ou adicionadas ao modelo trabalhado.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Origem dos dados

Foram utilizados dados de 65 cultivos realizados no período de outubro de 2004 a março de 2007, em quatro tanques-berçário de uma fazenda comercial de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, localizada no estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

A fazenda possui quatro tanques circulares em alvenaria, com capacidade máxima de 50.000L cada e um sistema de aeração aérea alimentada por três sopradores de 1,5 hp. O abastecimento dos tanques foi feito utilizando-se água do canal de abastecimento dos viveiros, com filtragem prévia para evitar predadores.

Após o transporte das pós-larvas (PL) da larvicultura até a fazenda foi realizado uma aclimação, isto é, uma troca gradual e contínua da água de transporte das PL com a água do cultivo para adequar os camarões às condições ambientais de cultivo. As PL foram estocadas as densidades de 12 a 64 PL/L com o tempo médio de permanência nos tanques de cinco a 19 dias.

A alimentação fornecida foi à base de biomassa de artêmia e ração comercial, com 40% de proteína bruta e foi administrada diariamente em intervalos de duas horas.

A água dos tanques berçário foi fertilizada utilizando-se uma proporção de uréia e SFT (superfosfato triplo) de 10:1, ou seja, 100 g de uréia e 10 g de SFT por tanque. Pelo fato da água do canal de abastecimento dos tanques berçário, ser rica em microalgas e possuir transparência média em torno de 25 a 40 cm, não se utilizou de fertilização complementar nos tanques.

Foi realizado o monitoramento da qualidade da água dos tanques berçário, visto que as PL necessitavam de um ambiente com parâmetros de água estáveis para a sua sobrevivência. Os parâmetros analisados foram: temperatura; pH; transparência; salinidade e oxigênio dissolvido. Porém, esses parâmetros não foram

analisados, pois a fazenda de onde obteve-se o banco de dados não disponibilizou nenhuma informação a respeito dos mesmos. Esse monitoramento foi realizado cinco vezes ao dia, às 02:00 h; 06:00 h; 12:00 h; 18:00 h e às 22:00 h, por meio de instrumentos como o oxímetro, o pHmetro, o disco de Secchi e o salinômetro ou o refratômetro.

Devido a existência de alterações relevantes no pH da água, realizou-se calagem com 200 g de calcário dolomítico por tanque para tentar neutralizar a matéria orgânica.

O banco de dados da referida carcinicultura foi constituído com base nas seguintes variáveis: sobrevivência (sob); mês de cultivo (MC); densidade de pós-larvas estocadas (Dens); tempo de cultivo (TC); laboratórios fornecedores das pós-larvas (LFPL) e tanques berçários (TB).

A fazenda foi abastecida por laboratórios fornecedores de pós-larvas que foram denotados por LFPL<sub>1</sub>; LFPL<sub>2</sub>; LFPL<sub>3</sub>; LFPL<sub>4</sub>; LFPL<sub>5</sub>; LFPL<sub>6</sub> e LFPL<sub>7</sub>.

### **3.2. Análise dos dados**

Para relacionar a sobrevivência com as variáveis de cultivo (Tabela 2) foi utilizado o seguinte modelo:

$$Sob^\lambda = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \varepsilon_i \quad \text{eq.(32)}$$

em que:  $\beta_i$  são os parâmetros do modelo ;  $X_i$  são as variáveis de cultivo;  $\lambda$  é o fator de transformação de Box e Cox e  $\varepsilon_i$  é o erro associado a cada observação. Isto é,

$$Sob^\lambda = \beta_0 + \beta_1 MC + \beta_2 Dens + \beta_3 TC + \beta_4 TB_1 + \beta_5 TB_2 + \beta_6 TB_3 + \beta_7 TB_4 + \beta_8 LFPL_1 + \beta_9 LFPL_2 + \beta_{10} LFPL_3 + \beta_{11} LFPL_4 + \beta_{12} LFPL_5 + \beta_{13} LFPL_6 + \beta_{14} LFPL_7 + \varepsilon_i \quad \text{eq.(33)}$$

Tabela 2- Variável resposta e variáveis de manejo relacionadas ao cultivo do camarão marinho *L.vannamei*.

Variável resposta	Variáveis independentes
Sobrevivência (sob)- %	Mês de cultivo (MC)- Mês Densidade de pós-larvas estocadas (Dens)- PL/L Tempo de cultivo (TC)- Dias Laboratórios fornecedor das pós-larvas (LFPL) Tanques Berçários (TB)

Os laboratórios fornecedores das PL foram os seguintes: Aquanorte, Aquatec, Compescal, Equabrás, Seafarm, Artemisa e Potiporã e que doravante serão denotados por LFPL<sub>1</sub>, LFPL<sub>2</sub>, LFPL<sub>3</sub>, LFPL<sub>4</sub>, LFPL<sub>5</sub>, LFPL<sub>6</sub> e LFPL<sub>7</sub>, de forma aleatória, a fim de preservar os nomes das referidas empresas.

As variáveis laboratório fornecedor das PL e tanques berçário, por serem variáveis qualitativas, foram inseridas no modelo, como variáveis binárias, em que sua presença é indicada por 1 e sua ausência por 0 (MENDES, 1999).

A estimação dos parâmetros  $\beta_i$  das variáveis de manejo do modelo foi feita através da técnica dos mínimos quadrados. Utilizou-se o processo de seleção de variáveis Stepwise Forward para selecionar as variáveis independentes que mais influenciaram a variável dependente e para esse processo estabeleceu-se o valor 3 da estatística "F" de Snedecor de entrada ( $F_{\text{entrada}}$ ) e de saída ( $F_{\text{saída}}$ ). Associado a esse processo foi usada a técnica de Montgomery e Peck para estimar o melhor valor de  $\lambda$  que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos.

Foi feita a análise de variância para a regressão (ANOVA), para verificar se o modelo encontrado é adequado aos dados trabalhados, ou seja, se a relação entre a parte explicada e a não explicada (resíduo) pelo modelo são significativas ou não. O teste de significância utilizado na verificação da adequação do modelo foi através do teste "F" de Snedecor e também utilizou o p-valor, onde o p-valor indicou a probabilidade do modelo não ser adequado aos dados. O nível de significância para os testes da ANOVA foi de 95% ( $p < 0,05$ ).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi utilizado para verificar o quanto da variação da variável resposta foi explicada pelas variáveis independentes inseridas no modelo. Além disso, foi construído um intervalo de confiança para o transformador de Box e Cox (1964), afirmando com 95% de confiança, que contém o verdadeiro valor de  $\lambda$  que minimiza a soma dos quadrados dos erros (MONTGOMERY e PECK, 1982).

Após a obtenção dos parâmetros do modelo, avaliou-se se as pressuposições de normalidade do vetor resposta ainda se mantinham e para isso utilizou-se os testes de Shapiro-Wilk (representado por  $W$ , é utilizado em amostras que variam de  $3 \leq n \leq 5000$  elementos), o teste de D' Agostino (representado por  $D$ , é utilizado em amostras que variam de  $49 \leq n \leq 1001$  elementos) e o teste de D' Agostino-Pearson (representado por  $K^2$ , e é utilizado em amostras com o número de elementos maior ou igual a 20 elementos, ou seja,  $n \geq 20$ ).

Segundo as definições de Cordeiro e Neto (2004), utilizaram-se técnicas gráficas de análise de resíduos com a finalidade de verificar a homogeneidade da variância nas médias das observações, indicando se o modelo é adequado ou não aos dados plotando-se os resíduos padronizados versus os valores ajustados; a fim de detectar as observações aberrantes, ou seja, os "outliers", plotou-se os resíduos padronizados versus as observações ordenadas; e, por fim, verificou-se a normalidade das observações plotando-se os resíduos padronizados versus os quantis da distribuição normal reduzida.

As análises estatísticas foram feitas utilizando os softwares SYSEAPRO.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizou-se 65 dados de cultivos coletados do banco de dados. Na tabela 3 abaixo, tem-se as estatísticas desses cultivos.

Tabela 3- Valores mínimos, máximos, média e desvio padrão.

Variáveis	Valor mínimo	Valor Máximo	média ± desvio padrão
Sobrevivência	0,63	1,20	0,93 ± 0,031
Densidade (PL/L)	12	64	26,16 ± 2,377
Tempo de cultivo (Dias)	5	19	11,57 ± 0,862
Mês de cultivo	1	12	6,26 ± 0,865

O resultado médio de sobrevivência apresentado na Tabela 3, estão de acordo com as médias registradas na análise comparativa de 63 cultivos de *L. vannamei*, em berçários, utilizando-se alimentação a base de ração e biomassa de artemia, realizada por Pereira Neto et al. (2005), os quais encontraram valores médios de sobrevivência de  $0,94 \pm 0,052$ .

Ao modelar a taxa de sobrevivência (sob-%) das pós-larvas do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* na fase berçário, com as variáveis de manejo, definido na equação 32, a maximização de  $R^2$  se deu ao utilizar o transformador  $\hat{\lambda} = 0$ , obtendo-se a seguinte equação:

$$sob = e^{(0,1084-0,0101MC-0,1006LFPL_1+(-0,0038+0,0466LFPL_6-0,0169LFPL_5)Dens+(-0,1289LFPL_6+0,0281LFPL_5)TC)}$$

$$R^2 = 60,81\%$$

eq. (34)

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 4), verificou-se que o nível de probabilidade de rejeição do modelo da equação 34 foi muito

pequeno, ou seja, menor que 0,00001, e assim pode-se afirmar com 95% de confiança ( $p < 0,05$ ), que o modelo encontrado se adequa aos dados.

Tabela 4- Análise de Variância para a regressão da taxa de sobrevivência das pós-larvas do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Prob (F)
Regressão	0,6853	7	0,0979	12,635	0,0000...
Resíduo	0,4417	57	0,0077		
Total	1,127	64			

Através da tabela dos testes de normalidade (Tabela 5), isto é, dos testes de Shapiro-Wilk, D' Agostino e D' Agostino-Pearson, conclui-se que os erros têm distribuição normal.

Tabela 5- Testes de normalidade.

Teste	Estatística	Parâmetro	Conclusão
Shapiro-Wilk	0,9759	0,2350	Aceita $H_0$
D' Agostino	-0,2846	-2,68...1,14	Aceita $H_0$
D' Agostino-Pearson	2,18685	0,33507	Aceita $H_0$

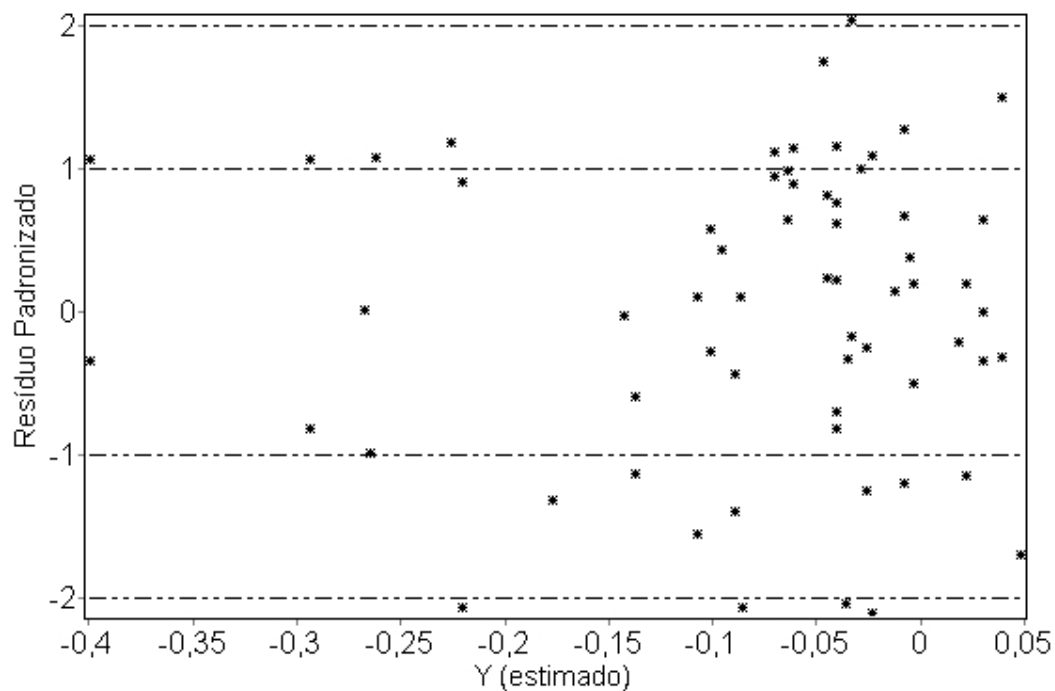
Aceitar  $H_0$  = os erros, provavelmente, tem distribuição normal.

Rejeitar  $H_0$  = os erros, provavelmente, não tem distribuição normal.

Ao fazer a análise de resíduos através de técnicas gráficas, verificou-se que:

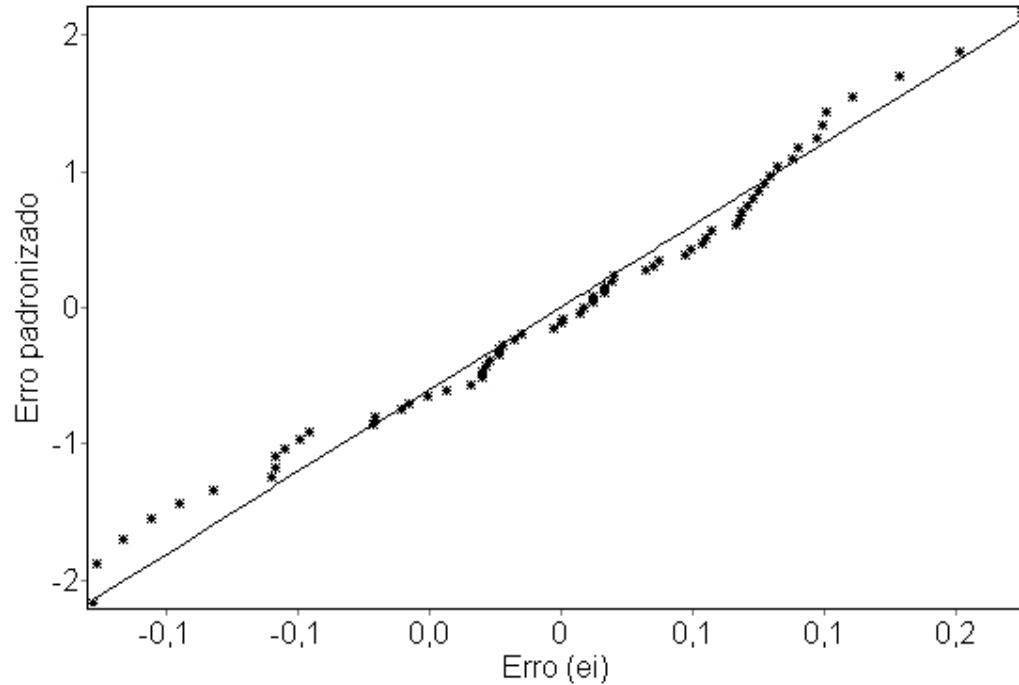
1) Ao plotar o gráfico do resíduo padronizado versus o valor estimado (Figura 5), verifica-se que os dados estão bastante dispersos, o que nos leva a concluir que os erros têm variâncias homogêneas, que as médias das observações das variáveis independentes têm efeito linear, e assim tem-se que o modelo é adequado aos dados.





*Figura 5- Resíduo padronizado em função dos valores estimados*

2) No gráfico do resíduo padronizado versus o quantil da distribuição normal reduzida (Figura 6), observou-se que os dados estão bem próximos da reta, o que nos leva a verificar que os mesmos são originários de uma população normal para a taxa de sobrevivência.



*Figura 6- Resíduo padronizado em função dos quantis da normal reduzida*

Verificou-se para variável resposta sobrevivência cinco “outliers” os quais não foram retirados da matriz dados, pois não causariam nenhum problema na análise.

Após verificar a adequação do modelo através da análise de variância e das análises de resíduos, sua representação gráfica para predição dos resultados é apresentada na Figura 7 a seguir:

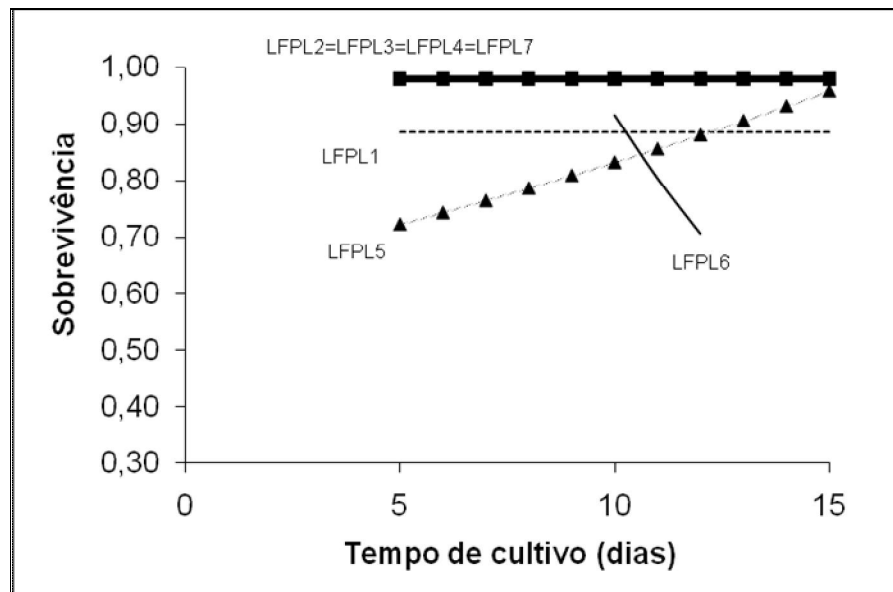


Figura 7- Representação da sobrevivência das pós-larvas do *L. vannamei* em função dos laboratórios fornecedores de pós-larvas e tempo de cultivo.

Analisando a equação de sobrevivência e a Figura 7 verifica-se que à medida que o tempo de cultivo no LFPL<sub>6</sub> aumenta, a sobrevivência diminui e vice-versa. As variáveis LFPL<sub>1</sub> e LFPL<sub>2</sub>=LFPL<sub>3</sub>=LFPL<sub>4</sub>=LFPL<sub>7</sub> permaneceram constantes em relação à variável resposta sobrevivência. Verifica-se que a procedência das pós-larvas influenciou de forma significativa na sobrevivência. Ressalta-se que Ximenes (2005) também verificou que a procedência das pós-larvas influenciou de forma significativa na sobrevivência.

Pode-se observar na análise da variável independente LFPL<sub>5</sub> (Figura 7), que os melhores resultados de sobrevivência foram para cultivos mais longos, ou seja, verifica-se que à medida que o tempo de cultivo aumenta, a sobrevivência aumenta, diferentemente das observações realizadas por outros autores que utilizaram a mesma técnica de estimação da variável resposta sobrevivência em outras análises de predição de modelos das variáveis de manejo de cultivo de *L. vannamei*, onde a variável independente TC (tempo de Cultivo) influenciou negativamente sobre a variável resposta sobrevivência (Bezerra et al., 2007; Pessoa et al., 2008).

Uma das desvantagens do sistema de berçário é a demanda intensa de mão-de-obra, com maior manuseio dos camarões (SAMOCHA et al., 2003).

As pós-larvas do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, oriundas do LFPL<sub>5</sub> e LFPL<sub>1</sub> proporcionaram uma sobrevivência em média de 88%, e as pós-larvas oriundas do LFPL<sub>6</sub> proporcionou uma sobrevivência em média de 70%, em um tempo médio de 12 dias de cultivo e a uma densidade média de 26 PL/L.

Utilizando-se a análise gráfica ao relacionar a sobrevivência com a densidade de estocagem (ind/L) (Figura 8), verifica-se que pós-larvas oriundas do LFPL<sub>2</sub>, LFPL<sub>3</sub>, LFPL<sub>4</sub> e LFPL<sub>7</sub> apresentaram o melhor resultado com relação à variável dependente sobrevivência, seguido do LFPL<sub>1</sub>, enquanto que pós-larvas oriundas do LFPL<sub>5</sub> apresentaram o pior resultado. Isso não significa que os laboratórios LFPL<sub>2</sub>, LFPL<sub>3</sub>, LFPL<sub>4</sub>, LFPL<sub>7</sub> e LFPL<sub>1</sub> forneceram pós-larvas de melhor qualidade do que o laboratório LFPL<sub>5</sub>. O fato de uma ter apresentado uma sobrevivência melhor do que de outra pode ter sido em decorrência de erros na estimativa de pós-larvas no seu fornecimento.

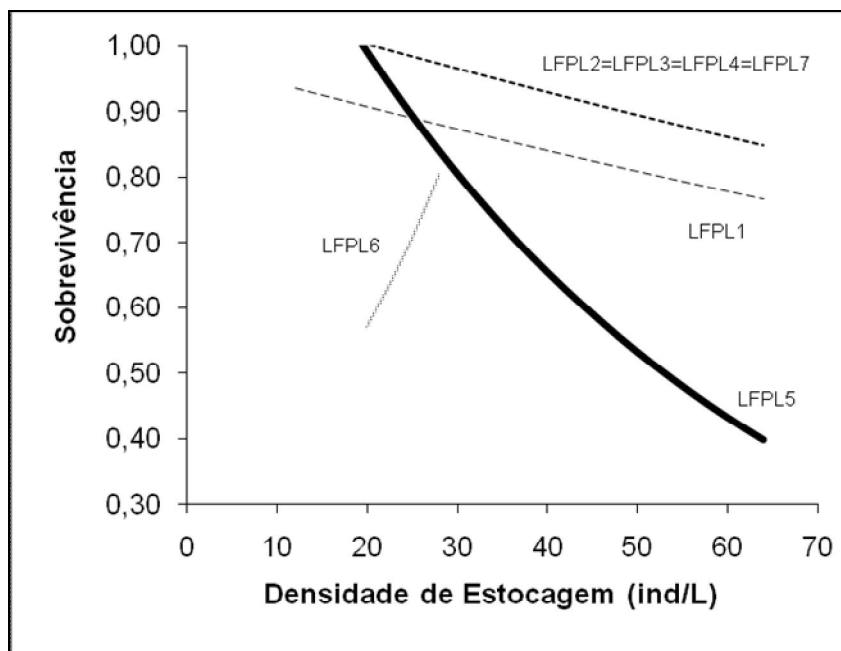


Figura 8- Sobrevivência das pós-larvas do *L. vannamei* em função dos laboratórios fornecedores de pós-larvas e da densidade de estocagem.

Verifica-se na Figura 8, que no LFPL<sub>6</sub> à medida que a densidade de estocagem aumenta a sobrevivência também aumenta comportamento este que não é comum. Esse fato ocorreu, pois houve apenas dois cultivos com densidade de estocagem baixa. Gautier et al. (2001) afirmaram que existe uma importância relativa entre a densidade de estocagem e a sobrevivência do *L. vannamei*. Ximenes (2005) verificou que quanto menor o número de pós-larvas estocadas maior a sobrevivência. Rocha (1998) verificou que cultivos do *L. vannamei* em berçários, a densidade de 20 PL/L, podem ser obtidas sobrevivências com o uso de ração comercial e formulada, mesmo sem fertilizar a água. Seabra (2004), ao trabalhar com densidade de estocagem de 10 PL/L obteve uma sobrevivência média de 92%.

A taxa de sobrevivência média em relação ao período estudado foi de 93%, com uma densidade média de 26 PL/L, com o tempo de cultivo médio de 12 dias. Peregrino e Correia (2002) obtiveram de 85-90% de sobrevivência em um cultivo realizado no Piauí na com densidade de 50-60 PL/L durante 30 dias.

## 5. CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos através da análise de variância para regressão, da análise de resíduo e no valor encontrado para o índice determinístico com relação à equação da variável resposta (sobrevivência), conclui-se que a regressão linear múltipla, com transformação de Box e Cox e a seleção de variáveis através do processo Stepwise Forward, mostraram-se eficientes na estimativa da sobrevivência no cultivo do camarão marinho *L. vannamei*.

Com relação à seleção das variáveis mais significativas para a variável resposta analisada, respeitando-se os valores mínimos e máximos das variáveis apresentadas na Tabela 3, conclui-se que:

- 1) As variáveis, densidade de estocagem das pós-larvas, tempo de cultivo e a origem das pós-larvas se relacionam significativamente com a sobrevivência das pós-larvas;
- 2) Utilizando-se as variáveis, densidade de estocagem das pós-larvas e tempo de cultivo nos seus valores máximos no cultivo, obtém-se uma sobrevivência menor das pós-larvas do *L. vannamei*;
- 3) Através das Figuras 7 e 8 conclui-se que pós-larvas fornecidas pelos laboratórios LFPL<sub>2</sub>, LFPL<sub>3</sub>, LFPL<sub>4</sub> e LFPL<sub>7</sub> apresentam uma sobrevivência maior no final do cultivo. Portanto, recomenda-se ao produtor utilizar pós-larvas procedentes desses laboratórios, pois com certeza ele obterá sucesso no seu agronegócio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO- ABCC. **Informações de caráter sócio-econômico sobre a carcinicultura marinha no Nordeste.**

Recife, 2004. Disponível em: <http://mcraquacultura.com.br/arquivos>. Acesso em 16 agosto 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO- ABCC. **Entraves e soluções para recuperação da competitividade da Carcinicultura Brasileira (junho-2007, Fortaleza-Ce), 2007.** Disponível em: <<http://www.abccam.com.br>>. Acesso em 20 agosto 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO- ABCC. **Evolução do desempenho da carcinicultura Brasileira (1998-2007<sup>†</sup>) (junho-2007, Fortaleza-Ce), 2007.** Disponível em: <http://www.abccam.com.br>. Acesso em 20 agosto 2008.

BARBIERI JR., R.C.; NETO, O.A. **Camarões marinhos: engorda.** Aprenda Fácil, 2002.

BEZERRA, A. M. **Seleção de variáveis significativas em modelos de estimação dos parâmetros de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931).** 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v.26, p. 211-243, 1964.

CORDEIRO, G. M.; L. NETO. **Modelos paramétricos**. Recife: Associação Brasileira de Estatística, 2004. 246 p.

DRAPPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2 ed. New York: John Willy, 1981. 709 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION–FAO. **Aquacult-PC: fishery information, data and statistics (FIDI), time series of production from aquaculture (quantities and values) and capture fisheries (quantities)**. Programa computacional. Rome, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION–FAO.. **Aquacult-PC: fishery information, data and statistics (FIDI), time series of production from aquaculture (quantities and values) and capture fisheries (quantities)**. Programa computacional. Rome, 2008.

FERNANDES, B. G. **Notas de aula para disciplina MAT229: análise de regressão**. Salvador: UFBA, 2002.

GAUTIER, D. et al. **The relative importance of natural food and pellet feed in the gut content *Litopenaeus vannamei* raised in semi-intensive ponds- role of benthic diatoms**. *Aquaculture*, p. 247, 2001.



GUJARATI, N.D. **Econometria básica**. 3 ed. São Paulo: Markron Books, 2000.

GRANDI, E. M. V.; FILHO, N. C. **Cultivo do camarão em Santa Catarina**. Florianópolis : BRDE, 2004.

LIMA, R.J.W. **Análise estatística das variáveis de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)**. 2005, 24f. Monografia para obtenção da graduação no curso de Engenharia de Pesca – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MENDES, P. P. et al. **Aclimação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) à água doce com diferentes estratégias de alimentação e calagem**. Acta. Sci. Anim. Sci. Maringá, v.28, n.1, p. 89-95, jan./march, 2006.

MENDES, P. P. **Estatística aplicada à aqüicultura**. Recife: Bagaço,1999.

MENDES, P. P. et al. **Utilização de artêmia nacional como dieta para pós-larvas do *Litopenaeus vannamei* (Bonne, 1931) na fase de berçário**. Acta Sci. Anim. Sci. Maringá, v.28, n.3, p. 345-351, july/sept, 2006.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 4. ed. New York: John Wiley, John Willy Sons, 1997. p. 704.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. p. 527.

NETER, J.; WASSERMSN, W. Applied linear statistical models. **Regression analysis of variance, and experimental designs**. Homewood: Rechar D. Irwin, 1974. p. 842.

B. NETO, A. **Cultivo do Litopenaeus Vannamei em tanques berçários**. 2002-p.31. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

NUNES, A. J. P. **Guia Purina – Fundamentos da engorda de camarões marinhos**. 2. ed. Recife, 2004. 42.p. Disponível em: <[www.purinabrasil.com.br](http://www.purinabrasil.com.br)>. Acesso em 25 setembro 2008.

NUNES, A. J. P. **Guia Purina – Fundamentos da engorda de camarões marinhos**. 2. ed. Recife, 2004. 42.p. Disponível em: <[www.purinabrasil.com.br](http://www.purinabrasil.com.br)>. Acesso em: 19 mar. 2007.

OLIVEIRA, I. R. **Utilização da análise envoltória de dados (DEA), no diagnóstico da eficiência de cultivo do Camarão Marinho Litopenaeus vannamei (Boone, 1931)**. 2008. 45 f.. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

OLIVEIRA, L. E. C. **Carcinicultura: panorama da atividade e de seu processo licenciatório**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2006, Natal.

PAULA, A. G. **Modelos de regressão com apoio computacional**. São Paulo: USP, 2002.

PESSÔA, M. N. C. **Desempenho zootécnico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) cultivado com ração peletizada e extrusada.** 2008, 54.f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PRIMAVERA, J. H. **A sustentabilidade do cultivo do camarão marinho em áreas tropicais.** De Silva, S. (Ed.), **Tropical mariculture**, London: Academic Press, 1998. p. 257-289.

ROCHA, I. P., RODRIGUES, J., LEITE, L. **A carcinicultura Brasileira em 2003.** Recife, 2004. Disponível em: <<http://mcraquacultura.com.br/arquivos/A%20CARCINICULTURA%20EM%202003>>. Acesso em 10 mar. 2008.

ROCHA, I. P., RODRIGUES, J., LEITE, L. **A carcinicultura Brasileira em 2003.** Recife 2004. Disponível em: <http://mcraquacultura.com.br/arquivos/>. Acesso em 10 mar. 2008.

ROCHA, I. P.; MAIA, E. P. **Desenvolvimento tecnológico e perspectivas de crescimento da carcinicultura marinha brasileira.** Revista da ABCC. Recife, 1998.

ROCHA, I. P. **Carcinicultura brasileira: desenvolvimento tecnológico, sustentabilidade ambiental e compromisso social.** Revista da ABCC, Recife, 2007.

ROCHA, I. P. **Panorama da aqüicultura brasileira: situação da região Nordeste.** MCR Aquacultura. Recife, 2000.

ROCHA, L.H. **Impactos sócio-econômicos e ambientais da carcinicultura Brasileira: mitos e verdades.** Revista da ABCC, Recife, p.29. Dezembro de 2005.

SAMOCHA, T. M.; Lawrence, A. L.; Biedenbach J. M.. **The Effect of vertical netting and water circulation pattern on growth and survival of *Penaeus vannamei* postlarvae in an intensive raceway system.** Journal of Applied Aquaculture, Binghamton, v.2, n.1, p. 55-64, 1993a.

SAMOCHA, T. M.; Lawrence A. L.; Bray W. A.. **Design and operation of an intensive nurse raceway system for penaeid shrimp.** Boca Raton: CRC Handbook of Mariculture, 1993b: v. 1. p. 173-210.

SAMOCHA, T. M., et al. **Production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high-density greenhouse-enclosed raceways using low salinity groundwater.** Journal of Applied Aquaculture. Binghamton, v.1., 2003.

SEABRA, M. E. **Cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistema multifásico.** 2004. p.50 (Dissertação em Pesca) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, A. H. G.; **Avaliação Estatística das variáveis do cultivo *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em Água Doce.** 2006. Dissertação (Mestrado Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SPIEGEL, M. R. **Probabilidade e estatística**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1985. p. 454.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. New York: W. H. Freeman and Company, 1995. 850 p.

STIGLER, S. M. **The history of statistics**. Cambridge: Harvard University Press, 1986. 410 p.

VALDERRAMA, D.; ENGLE, C. R. **The effect of survival rates of White shrimp *Litopenaeus vannamei* on net farm income and optimal management strategies of Honduran shrimp farms**. Aquaculture, Amsterdam, p. 656. 2001.

WONNACOTT. T. H; WONNACOTT, R. R. **Introdução à estatística trd**. Alfredo Alves Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 1980. p. 589.

WONNACOTT. T. H; WONNACOTT, R. R. **Fundamentos de estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 1985. p. 355.

XIMENES, N. P. **Aplicação de modelos lineares na estimativa de parâmetros de produtividade do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em Berçários e Viveiro de Engorda**. 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.