

PAULA TIYEMI SHINOZAKI MENDES

**Modelagem de rendimento do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*
(Boone, 1931) no Nordeste do Brasil**

RECIFE-PE – FEVEREIRO/2014



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

Modelagem de rendimento do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*

(Boone, 1931) no Nordeste do Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Biometria e Estatística Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Humber Agreli de Andrade

RECIFE-PE – FEVEREIRO/2014

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

Modelagem de rendimento do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*
(Boone, 1931) no Nordeste do Brasil

PAULA TIYEMI SHINOZAKI MENDES

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 21/02/2014 pela Banca Examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. Humber Agreli de Andrade
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eudes de Souza Correia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.^a Dra. Maria Cristina Falcão Raposo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo José Duarte Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedicatória

Dedico este trabalho aos donos de um amor incomensurável, presentes em todos os momentos, independente da distância geográfica:

Paulo de Paula Mendes;
Emiko Shinozaki Mendes;
Renata Akemi Shinozaki Mendes;
Renato Hideki Shinozaki Mendes;
Roberto Ferreira Manghi.

Agradecimentos

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, na pessoa da coordenadora Professora Doutora Tatijana Stosic, pela infraestrutura e apoio logístico;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de pós-graduação;

Ao professor Dr. Humber Agreli de Andrade, que me aceitou como orientada, me instruindo sempre que necessário com toda paciência e dedicação;

Ao Laboratório de Carcinicultura – LaCar, no nome de Maurício Nogueira da Cruz Pessôa por ter disponibilizado o banco de dados e tornar este trabalho possível;

Aos professores engenheiros de pesca: Dr. Paulo de Paula Mendes, Dra. Renata Akemi Shinozaki Mendes, M.e Maurício Nogueira da Cruz Pessôa e Dra. Elaine Cristina Batista dos Santos, pelo apoio, orientação e pela disposição de sempre atenderem minhas dúvidas;

Aos professores do curso de mestrado: Dra. Claudia Helena Dezotti, Dr. Claudio Tadeu Cristino, Dr. Humber Agreli de Andrade, Dr. José Antonio Aleixo da Silva, Dr. Paulo José Duarte Neto e Dra. Tatijana Stosic, por transmitirem seus conhecimentos e experiências me ajudando a ampliar meus conhecimentos e avançar em mais uma etapa profissional;

A Marco Antônio Gomes dos Santos, pela atenção e disponibilidade em sempre atender quaisquer dúvidas relacionadas ao programa;

Aos colegas do curso de mestrado em Biometria e Estatística Aplicada, Isys Pryscilla Lima, Hélio Junior, Simara Costa, Rosangela Souza, Bárbara Camboim e David Venâncio, pelo prazer do convívio neste período, pela amizade e ajuda;

À Emiko Shinozaki Mendes, Paulo de Paula Mendes, Renata Akemi Shinozaki Mendes e Renato Hideki Shinozaki Mendes, pelo constante apoio, compreensão e incentivo;

A Roberto Ferreira Manghi, pelo apoio, suporte, ajuda e por sempre acreditar em mim.

“Sejam A_1, A_2, \dots eventos aleatórios em (Ω, \mathcal{A}, P) , ou seja, $A_n \in \mathcal{A}, \forall n$.

(a) Se $\sum_{n=1}^{\infty} P(A_n) < \infty$, então $P(A_n \text{ infinitas vezes}) = 0$.

(b) Se $\sum_{n=1}^{\infty} P(A_n) = \infty$, e os eventos A_n 's são independentes, então $P(A_n \text{ infinitas vezes}) = 1$.”

Borel-Cantelli

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a sobrevivência do camarão *Litopenaeus vannamei* cultivado em viveiros localizados no Nordeste brasileiro. Neste estudo foram utilizados modelos estatísticos de regressão, considerando variáveis zootécnicas e de manejo. O crescimento médio semanal e a quantidade de ração foram as variáveis zootécnicas propostas para explicar a sobrevivência. As variáveis de manejo consideradas foram a produção, a área do viveiro, a densidade inicial e os dias de cultivo. No modelo proposto, estas variáveis apresentaram-se estatisticamente significativas, considerando-se testes de hipóteses do tipo t com nível de significância de 5%. As suposições acerca dos modelos foram validadas através da realização de análise de resíduos e da utilização de técnicas de diagnóstico. Desta forma, conclui-se que tanto variáveis zootécnicas quanto de manejo estão relacionadas com a sobrevivência do *Litopenaeus vannamei*.

Palavras-chave: *L. vannamei*, modelagem, sobrevivência

Abstract

The aim of this work was to study the survival of shrimp *Litopenaeus vannamei* grown in ponds located in the Brazilian northeastern. In this study statistical regression models were used, with livestock and management variables. The average weekly growth and the amount of feed were the variables proposed to explain the survival. The management variables considered were the production, pond the initial density and culture days. In the proposed model, these variables were significant statistically, considering t-type hypothesis tests with 5% of significance. The models assumptions were validated by conducting residuals analysis and diagnostic techniques. Thus, it is concluded that both livestock and management variables are related to the survival of *Litopenaeus vannamei*.

Keywords: *L. vannamei*, modelling, survival.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produção brasileira do <i>Litopenaeus vannamei</i>	19
Figura 2 – Berçário típico em uma fazenda de camarão localizada no nordeste brasileiro.....	20
Figura 3 – Sistemas monofásico, bifásico e trifásico utilizados no cultivo do <i>Litopenaeus vannamei</i> nas fazendas de camarão.	21
Figura 4 – Exemplos de aclimação e transferência com sacos plásticos (A) e reservatórios (B) das pós-larvas para os viveiros de engorda.....	22
Figura 5 – Alimentação dos camarões no viveiro de engorda utilizando bandejas (A) fixadas com estacas localizadas de forma sistemática (B), que possuem indicadores da quantidade de ração a ser administrada (C).	23
Figura 6 - Ilustração de como é realizada a estimativa da quantidade de camarões. Em que (A) – Recipiente com aeração; (B) - potes com a mesma quantidade de água com pós-larvas; (C) – Contagem das pós-larvas.....	24
Figura 7 - Biometria semanal em que os camarões amostrados são pesados (A) e medidos (B).....	24
Figura 8 - Percentuais do tipo de ração nos dois tipos de povoamento adotados nas fazendas de cultivo analisadas.....	41
Figura 9 - Percentuais das despescas por ano.	41
Figura 10 - Histogramas das variáveis relacionadas ao <i>Litopenaeus vannamei</i> cultivado em fazendas de camarão no nordeste do Brasil.	43

Figura 11 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da sobrevivência. (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações. ...47

Figura 12 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo do crescimento médio semanal. (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações. ...49

Figura 13 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo do fator de conversão alimentar. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.52

Figura 14 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo do peso médio final dos camarões. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.54

Figura 15 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da produção de camarões. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações. ...57

Figura 16 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da quantidade de ração administrada durante o cultivo. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.60

Figura 17 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da sobrevivência, levando em conta todas as variáveis do estudo. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção (t) de camarão em cultivos dos principais produtores de 2011	17
Tabela 2 - Produção (t) dos principais produtores de <i>Litopenaeus vannamei</i> em 2011.	18
Tabela 3 – Variáveis consideradas na análise dos cultivos de camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> em fazendas no nordeste brasileiro.	39
Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis consideradas na análise dos cultivos de <i>Litopenaeus vannamei</i> cultivados em fazendas de camarão no nordeste do Brasil.	42
Tabela 5 – Matriz de correlação das variáveis contínuas relacionadas aos <i>Litopenaeus vannamei</i> cultivados em fazendas de camarão no nordeste do Brasil .	44
Tabela 6 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da sobrevivência dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos que cada variável explicativa teve na redução da deviance.	46
Tabela 7 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo do crescimento médio semanal dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos de cada variável explicativa.....	48
Tabela 8 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo do fator de conversão alimentar dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos na redução da deviance de cada variável explicativa incluída no modelo.	51

Tabela 9 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo do peso médio final dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os respectivos pesos de cada variável explicativa na redução da deviance.53

Tabela 10 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da produção dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos de cada variável explicativa.56

Tabela 11 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da quantidade de ração administrada aos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos das contribuições individuais de cada variável explicativa.59

Tabela 12 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da sobrevivência dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro levando em consideração todas as variáveis disponíveis.62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO-----	15
2. REVISÃO DE LITERATURA -----	17
2.1. Carcinicultura mundial -----	17
2.2. Carcinicultura no Brasil-----	19
2.3. Cultivo do <i>Litopenaeus vannamei</i> -----	20
2.4. Modelos lineares-----	25
2.4.1. Modelo linear simples -----	26
2.4.2. Modelo linear múltiplo -----	27
2.4.3. Estimativas do modelo -----	27
2.4.4. Análise de resíduos-----	34
2.4.5. Transformação de dados -----	36
3. MATERIAL E MÉTODOS -----	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	41
4.1. Análise descritiva -----	41
4.2. Modelagem-----	44
4.2.1. Sobrevivência (Modelo I) -----	44
4.2.2. Crescimento médio semanal -----	47
4.2.3. Fator de conversão alimentar -----	50
4.2.4. Peso médio final-----	52
4.2.5. Produção -----	55
4.2.6. Quantidade de ração -----	58
4.2.7. Sobrevivência (Modelo II) -----	61
5. CONCLUSÃO-----	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	65

1. INTRODUÇÃO

O camarão é um crustáceo muito apreciado como alimento em diversas culturas fazendo com que sua procura seja constante, atraindo o interesse não só dos produtores como de investidores para este tipo de negócio. Apesar do crescimento do cultivo do camarão no Brasil, seja de água doce ou salgada, atualmente o país ainda ocupa a 10^o colocação na classificação de produtores mundiais tendo a produção média anual de 65.671 toneladas. Especificamente em relação à produção do camarão marinho, o Brasil ocupa a sétima colocação em uma lista que tem a China como primeira. O desempenho da carcinicultura brasileira deve-se principalmente aos cultivos localizados no nordeste do Brasil, com fazendas com áreas de viveiros de 0,8 até 6,5 hectares e com produtividade média de 6,15 toneladas (FAO, 2013).

Para o cultivo, o principal método adotado é o bifásico, em que as pós-larvas são estocadas em um berçário por cerca de 10 a 12 dias, e posteriormente são repassadas para os viveiros de engorda ou de crescimento. O método bifásico é considerado um tipo de povoamento indireto, uma vez que as pós-larvas não são colocadas diretamente nos viveiros de engorda. A densidade de estocagem no berçário é de 20 a 25 pós-larvas por litro sempre com bastante aeração e alimentação balanceada para melhor adaptação e fortalecimento dos animais (Nunes, 2002). O sistema bifásico vem apresentando resultados positivos na carcinicultura do Brasil, pois propicia que os viveiros de engorda sejam povoados com animais mais resistentes, aumentando assim a sobrevivência dos camarões (Rocha et al., 1998)

A utilização da estatística, através dos modelos lineares, vem sendo realizada na carcinicultura para estimar parâmetros zootécnicos do *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em função das variáveis de manejo (Silva et al., 2006; Bezerra et al., 2006). São consideradas variáveis de cultivos ou zootécnicas aquelas em que o produtor não controla e só ao final do cultivo obtém informações sobre elas, como por exemplo, produção, sobrevivência, peso, crescimento médio semanal e quantidade de ração administrada. Já as variáveis de manejo são aquelas pré-estabelecidas ou já disponíveis antes de iniciar o cultivo, são elas: área do viveiro de

engorda, tipo de ração adotada, tipo de povoamento, dias de cultivo e a densidade de estocagem com “n” indivíduos por metro quadrado, por exemplo.

No setor aquícola as empresas almejam o aumento da produção com baixo custo, tornando necessário o desenvolvimento de pesquisas para descobrir formas de cultivo que tornem a produção menos dispendiosa (Candido et al., 2006). Para melhorar a produção é fundamental o estudo das variáveis relativas ao cultivo e manejo dos camarões, dado as circunstâncias em que o cultivo é realizado (Ruiz-Velazco et al., 2013).

Os objetivos do presente trabalho foram modelar a taxa de sobrevivência do *Litopenaeus vannamei* com variáveis de cultivo e de manejo através do uso de modelos de regressão como também investigar o comportamento das variáveis zootécnicas com as variáveis de manejo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Carcinicultura mundial

O cultivo de camarão marinho iniciou-se no sudoeste da Ásia e manteve-se por séculos de forma artesanal. Em 1934 o Dr. Motosaku Fujinaga (Hudinaga, 1942) conseguiu a primeira desova em laboratório e obteve pós-larvas da espécie *Marsupenaeus japonicus* (Spence Bate, 1888) utilizando uma fêmea capturada do mar no Japão. A partir de então a aquicultura vem se expandindo pelo mundo e dentro das várias atividades que compõe este setor, destaca-se a carcinicultura cuja produção corresponde a 12% do total da aquicultura mundial (Saldanha, 2000; Bezerra et al., 2006). Entre os maiores produtores mundiais de camarão em 2011 estão a China, a Tailândia e o Vietnã (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção (t) de camarão em cultivos dos principais produtores de 2011

Colocação	Países	Produção	Colocação	Países	Produção
1°	China	1555384	9°	Malásia	67505
2°	Tailândia	514136	10°	Brasil	65671
3°	Vietnã	496000	11°	Filipinas	54341
4°	Indonésia	399544	12°	Myanmar	51207
5°	Equador	260000	13°	Arábia Saudita	21000
6°	México	109816	14°	Honduras	16960
7°	Índia	104982	15°	Peru	16379
8°	Bangladesh	84781	16°	Guatemala	15944

Fonte: FAO, 2013

O *L. vannamei* é a espécie que mais vem se destacando no mundo. Esta espécie representa 73,22% da produção total, seguido do *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) com 16,86%. A adaptação em diferentes níveis de salinidades e a sobrevivência em altas densidades de estocagem são alguns dos fatores que

contribuem para esse destaque (Santos et al., 2009; Fonseca et al., 2009; Nunes e Andreatta, 2011; Silva et al., 2013). Contribuíram também a evolução do processo tecnológico de manejo, o monitoramento da qualidade da água dos viveiros, a larvicultura e o melhoramento da qualidade da ração (FAO, 2013).

Entre os países produtores do *L. vannamei*, a China ocupa o primeiro lugar sendo responsável por 46,07% da produção mundial. O Brasil encontra-se na sétima posição, com 65671 toneladas produzidas totalizando o equivalente a 2,28% da produção no mundo (Tabela 2).

Tabela 2 - Produção (t) dos principais produtores de *Litopenaeus vannamei* em 2011.

Colocação	País	Produção	Colocação	País	Produção
1°	China	1325549	6°	México	109816
2°	Tailândia	511443	7°	Brasil	65671
3°	Equador	260000	8°	Malásia	59355
4°	Indonésia	246420	9°	Peru	16379
5°	Vietnã	187000	10°	Guatemala	15944

Fonte: FAO, 2013

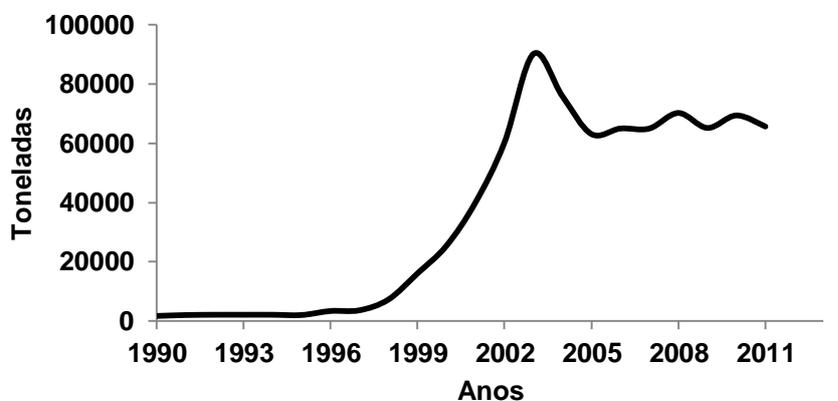
Inicialmente a carcinicultura era realizada em áreas de várzeas próximas aos manguezais, porém surgiu uma preocupação, sustentada por motivos ecológicos, de que o cultivo de camarões resultaria na diminuição das áreas de mangues. No início da década de 80 ocorreram as primeiras instalações em áreas mais elevadas, afastadas dos manguezais. Essa nova estratégia propiciou uma diminuição do impacto ambiental, e resultou inclusive em maiores produções (Rocha et al., 2004).

2.2. Carcinicultura no Brasil

Os primeiros cultivos de camarões marinhos no Brasil ocorreram na década de 1970 com a criação do Projeto Camarão na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) para estudar se a carcinicultura seria mais rentável que a extração de sal. Na década de 1980 ocorreram os primeiros cultivos utilizando a espécie *Penaeus japonicus*, e a partir disso, trabalhos foram desenvolvidos acerca da adaptação dessa espécie em condições locais (Grandi et al., 2004).

A decisão de descontinuar a adaptação das espécies nacionais como opção para viabilizar a carcinicultura brasileira, levou os produtores a testarem o *Litopenaeus vannamei*, já utilizado com sucesso em outros países do hemisfério ocidental. Então em 1983, através da Maricultura da Bahia, foi introduzida a espécie, *Litopenaeus vannamei* originária do Pacífico (Chaves, 1989).

A partir dos anos 90, depois que alguns laboratórios viabilizaram o cultivo das pós-larvas, o cultivo do *Litopenaeus vannamei* mostrou-se superior ao das espécies nativas nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba (Oliveira, 2006). A partir de 1995 atestou-se o potencial comercial dessa espécie de camarão marinho no Brasil, como ilustrado na Figura 1, destacando-se o ano de 2003 com a produção de 90190 toneladas. Até os dias atuais a produção brasileira de camarão cultivado utiliza somente o *Litopenaeus vannamei* (FAO, 2013).



Fonte: FAO, 2013

Figura 1- Produção brasileira do *Litopenaeus vannamei*.

2.3. Cultivo do *Litopenaeus vannamei*

Para iniciar o cultivo do *L. vannamei* a primeira etapa é a compra das pós-larvas. A qualidade das pós-larvas é fundamental para o sucesso do cultivo, por isso é importante adquiri-las de fazendas especializadas em larvicultura que já possuam um histórico de qualidade no fornecimento.

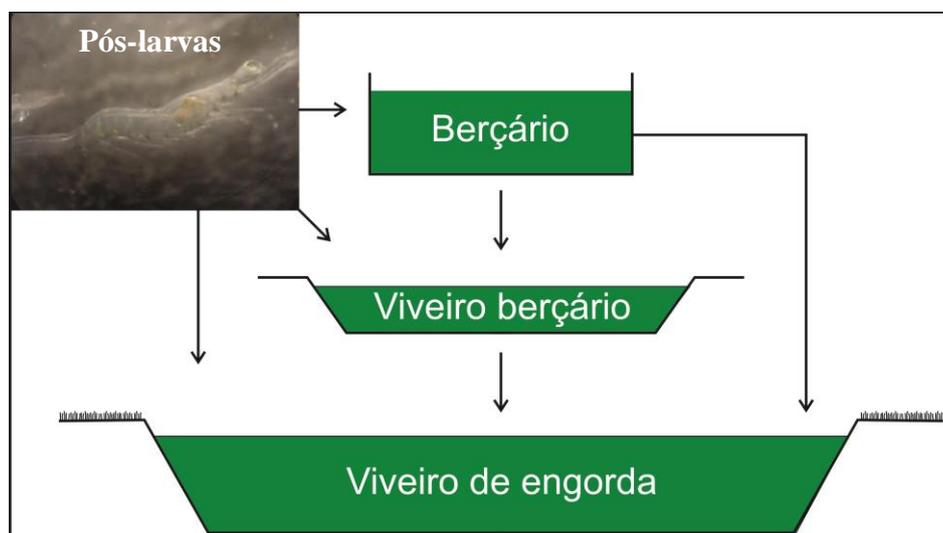
Após a compra das pós-larvas, vendidas numa estimativa de número de animais por litro, estas são geralmente colocadas num tanque, chamado de berçário, local que ficam em torno de 10 a 15 dias, onde se fortalecem e ganham resistência. Enquanto no berçário, a dieta é à base de biomassa de artêmia e ração, administrada a cada 2h, sistema este recomendado por Brito et al. (2001). O berçário normalmente fica localizado perto dos viveiros para facilitar a locomoção das pós-larvas. Um exemplo é mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Berçário típico em uma fazenda de camarão localizada no nordeste brasileiro.

Os sistemas de cultivos são classificados em monofásico, bifásico ou trifásico, como ilustrado na Figura 3. A classificação está relacionada às fases do cultivo. No monofásico as pós-larvas são transferidas diretamente para o viveiro de engorda. O bifásico consiste na utilização do tanque berçário ou do viveiro berçário antes da transferência para o viveiro de engorda e no trifásico depois dos tanques

berçários as pós-larvas passam por um viveiro berçário para só depois irem para o viveiro de engorda. O modo bifásico no qual as pós-larvas passam pelo tanque berçário para posteriormente serem transferidas para o viveiro de engorda, é o mais utilizado no Brasil.



Fonte: Mendes, P. P.

Figura 3 – Sistemas monofásico, bifásico e trifásico utilizados no cultivo do *Litopenaeus vannamei* nas fazendas de camarão.

Associados ao sistema de cultivo têm os tipos de povoamento, que pode ser de forma direta ou indireta. O povoamento direto, equivalente ao sistema monofásico, consiste em povoar o viveiro de engorda com as pós-larvas sem que as mesmas passem pela fase de berçário. Este método, apesar de economizar os cuidados de um berçário, torna difícil acompanhar se as pós-larvas sobreviveram ao povoamento, pois os camarões ainda são muito pequenos e de difícil captura e visualização. Alguns produtores que adotam este método fazem uso de uma caixa de concreto, “caixa de sobrevivência”, localizada dentro do viveiro para facilitar a visualização e o acompanhamento da sobrevivência das pós-larvas povoadas. Ao observar que os camarões dentro da caixa sobreviveram, assume-se que o restante deles também sobreviveu.

No povoamento indireto, equivalente ao sistema de cultivo bifásico ou trifásico, as pós-larvas passam pelo sistema de berçário para só depois serem

povoadas no viveiro berçário ou no viveiro de engorda. Também existe a opção de passarem pelo viveiro berçário para depois serem transferidas para o viveiro de engorda. Para transferir as pós-larvas para o berçário ou para os viveiros é necessário aclimatar as pós-larvas, tanto no povoamento direto como no indireto. Para o processo alguns produtores colocam os animais em sacos plásticos, os quais são espalhados ao redor do viveiro para depois de algumas horas serem abertos e finalizar a transferência (Figura 4A). Outros produtores dispõem de caminhões ou tratores com reservatórios onde as pós-larvas são aclimatadas ao misturar a água onde elas estão à água do viveiro (Figura 4B).

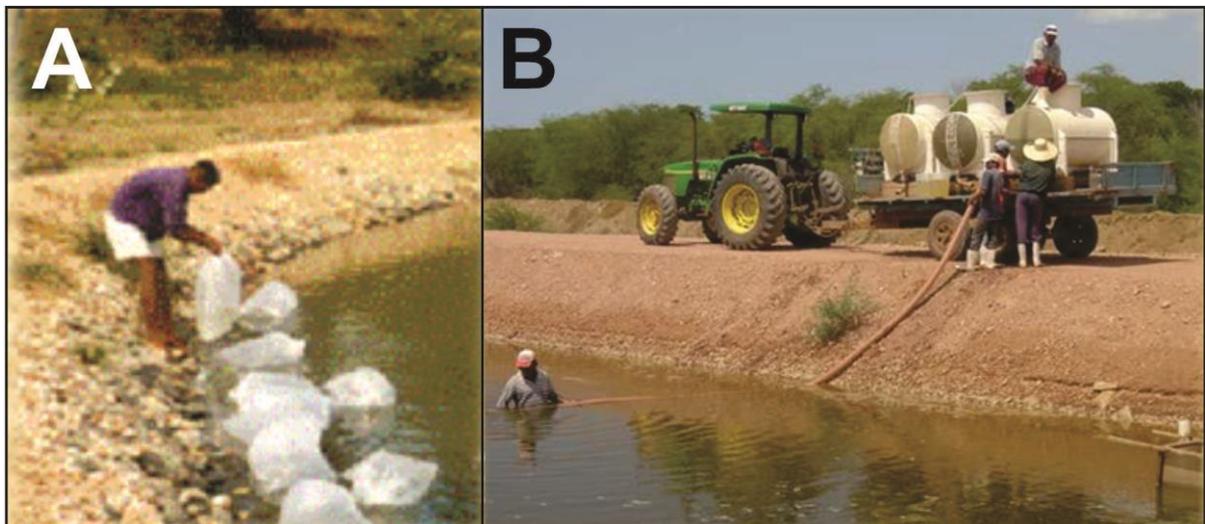


Figura 4 – Exemplos de aclimação e transferência com sacos plásticos (A) e reservatórios (B) das pós-larvas para os viveiros de engorda.

A fase de crescimento e engorda inicia-se a partir da transferência dos animais do berçário ou viveiro berçário para o viveiro de engorda. A alimentação nesta fase é feita com ração e faz-se o uso de bandejas, com estacas localizadas de forma sistemática em todo o viveiro (Figura 5A e 5B). Em cada estaca existe um indicador da quantidade de ração a ser colocada na bandeja, para orientação do raçoador (Figura 5C), para que não haja excesso ou escassez de alimento.



Figura 5 – Alimentação dos camarões no viveiro de engorda utilizando bandejas (A) fixadas com estacas localizadas de forma sistemática (B), que possuem indicadores da quantidade de ração a ser administrada (C).

A alimentação no viveiro de engorda é feita através de ração peletizada ou extrusada. A ração peletizada recebe este nome por conta do seu formato: *pellet*. A peletização consiste na passagem da ração, que é submetida à umidade e ao calor, por uma chapa redonda com furos que lhe dão forma; posteriormente a ração é cortada em *pellets* de 3 a 5mm. A ração extrusada é um alimento que passa pelo processo de extrusão. Este processo consiste em submeter a ração a altas temperaturas em um curto espaço de tempo, tornando os nutrientes da ração mais disponíveis para os animais. Economicamente, a ração extrusada é mais dispendiosa do que a ração peletizada.

A quantidade de ração administrada depende da densidade de estocagem dos camarões (Nunes, 2004) e da qualidade da ração (Santos et al., 2007). Um indicativo da qualidade da ração é o fator de conversão alimentar, que é uma proporção do volume de alimento administrado por ganho de peso do animal. Quanto melhor a ração menor será o fator de conversão alimentar.

O número total de animais é baseado em estimativas na hora da compra das pós-larvas, na transferência para berçário e viveiros, e na despesca. Na fase inicial, como os animais são pequenos, essas estimativas são calculadas por litro. Num recipiente com aeração, de forma a tornar o conteúdo homogêneo (Figura 6A), os camarões são amostrados em potes com uma quantidade fixa de volume (Figura 6B), e em seguida os animais dos potes são contados (Figura 6C) por inspeção macroscópica.



Figura 6 - Ilustração de como é realizada a estimativa da quantidade de camarões. Em que (A) – Recipiente com aeração; (B) - potes com a mesma quantidade de água com pós-larvas; (C) – Contagem das pós-larvas.

Semanalmente é retirada uma amostra dos viveiros de engorda, para obtenção de informações acerca dos animais cultivados, como peso médio (Figura 7A) e comprimento (Figura 7B). A biometria tem como objetivo mensurar o desempenho zootécnico da população cultivada em relação ao crescimento e a sobrevivência dos camarões. É neste momento em que averigua-se a saúde dos camarões, que permite ao produtor o controle do desempenho do cultivo e quando necessário tomar medidas cabíveis em tempo hábil. A biometria passa geralmente a ser realizada quando os camarões apresentam tamanhos suficientes para serem capturados, o que ocorre entre a terceira semana e o 45º dia de engorda. Os camarões amostrados para a biometria foram descartados ou utilizados para consumo interno da fazenda (Nunes et al., 2005).

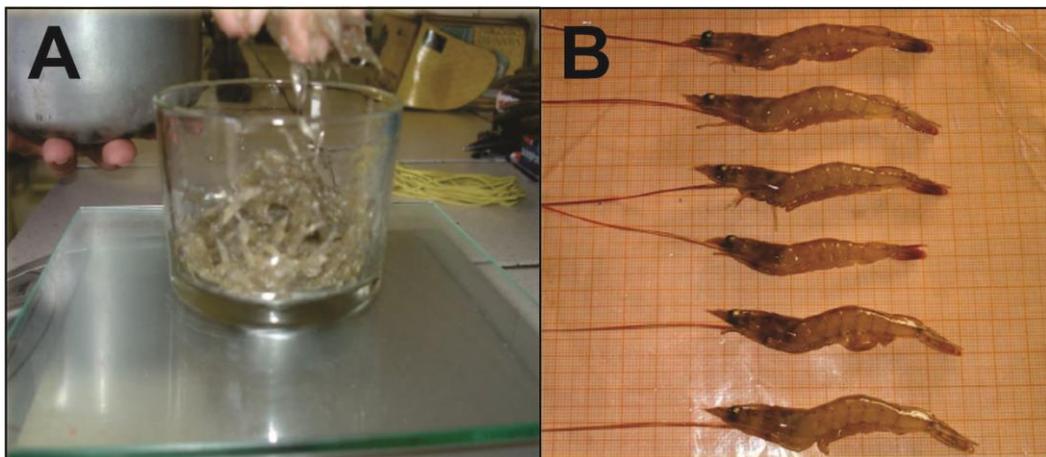


Figura 7 - Biometria semanal em que os camarões amostrados são pesados (A) e medidos (B).

O tempo de cultivo é estabelecido pelo produtor, com o objetivo de que os animais atinjam o peso desejável. Ao final do cultivo é realizada a despesca, na qual mais uma vez é feita uma estimativa do número total de animais em cada viveiro. Uma quantidade aleatória de camarões é selecionada, pesada e é realizada uma estimativa da quantidade referente a essa pesagem. Essa estimativa da quantidade de camarões por quilo é utilizada para estimar a produção do viveiro.

2.4. Modelos lineares

O uso de modelos estatísticos de regressão é comum em diversas áreas do conhecimento. De forma geral, a modelagem estatística refere-se ao desenvolvimento e interpretação de expressões matemáticas que descrevem o comportamento de uma variável resposta de interesse. Na maioria das aplicações, a modelagem é direcionada ao estudo do comportamento médio desta variável. Nesse sentido, outras variáveis que influenciam na média da variável resposta são incorporadas ao modelo, sendo denominadas de variáveis explicativas ou preditoras. Fonseca et al. (2009) analisou através de modelos lineares diferentes densidades de estocagem no cultivo do camarão marinho e Bezerra et al. (2006) fez uso de modelos para selecionar variáveis de cultivo do *Litopenaeus vannamei*.

Assume-se nos modelos de regressão que as variáveis explicativas afetam diretamente o valor médio da variável resposta, justificando assim sua utilização para explicar determinado fenômeno de interesse. Os valores da variável resposta são tratados como realizações de uma variável aleatória, e sendo assim, sujeitas a erro em suas medidas. As variáveis explicativas ou preditoras, por sua vez, são assumidas como sendo fixas, no sentido de que seus valores não estão sujeitos a erro. Além disso, o efeito das variáveis explicativas no valor médio da variável resposta é quantificado através dos parâmetros do modelo. Nos modelos lineares, assume-se que a relação entre a variável resposta e as variáveis explicativas pode ser descrita por uma equação linear em relação aos parâmetros.

De forma geral, existem dois principais objetivos práticos que podem ser alcançados com o uso de modelos de regressão: obtenção de previsões de valores

da variável resposta, relacionadas a determinados valores das variáveis explicativas, e quantificação da relação entre a variável resposta e as variáveis preditoras.

2.4.1. Modelo linear simples

Quando o valor médio da variável resposta está relacionado a apenas uma variável explicativa, o modelo linear associado a esta relação é denominado de modelo linear simples. Denota-se a variável resposta por Y e a variável explicativa por X , logo a equação do modelo é da forma:

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

em que Y_i representa a i -ésima observação da variável Y , X_i é a i -ésima observação da variável X , β_0 é o parâmetro denominado de intercepto do modelo, β_1 é o parâmetro referente ao efeito da variável X no valor médio da variável Y e ε_i é o i -ésimo erro aleatório associado ao valor de Y_i . Aqui, n é o número total de observações das variáveis. Geralmente assumem-se as seguintes suposições a respeito dos erros:

i) Possuem média zero, ou seja, $E(\varepsilon_i) = 0$, para $i = 1, 2, \dots, n$. Neste caso, a função $E(\cdot)$ representa a esperança matemática para variáveis aleatórias.

ii) Apresentam variância constante, ou seja, $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2$, para $i = 1, 2, \dots, n$. Aqui, a função $Var(\cdot)$ denota a variância de variáveis aleatórias.

iii) São não correlacionados entre si, ou seja, $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \forall i \neq j$.

iv) Seguem uma distribuição normal.

Pela propriedade de linearidade da distribuição normal, se os erros seguem distribuição normal com média 0 e variância σ^2 , a variável resposta Y segue uma distribuição normal com média μ_i e variância σ^2 .

2.4.2. Modelo linear múltiplo

No modelo linear múltiplo, assume-se que a média da variável Y sofre a influência de mais de uma variável explicativa. Sendo assim, o modelo pode ser definido pela expressão:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1i} + \varepsilon_i, \text{ para } i = 1, 2, \dots, n.$$

em que Y_i , β_0 e ε_i são definidos da mesma forma que em (1), X_{kj} representa o j -ésimo valor da k -ésima variável explicativa e β_k é o parâmetro associado à variável X_k , para $j = 1, 2, \dots, n$ e $k = 1, 2, \dots, p - 1$. No modelo linear múltiplo, assim como no modelo linear simples, as suposições i) a iv) também são geralmente assumidas (Neter e Wasserman, 1974).

2.4.3. Estimativas do modelo

Na literatura referente a modelos lineares de regressão, dois métodos de estimação são os mais utilizados para obter-se valores dos parâmetros: o método de mínimos quadrados e o método de máxima verossimilhança (Casella e Berger, 2002). Estes métodos fornecem em geral estimadores com boas propriedades estatísticas, desde que as suposições necessárias para suas aplicações sejam atendidas.

O método de mínimos quadrados é o método de estimação mais utilizado nos modelos lineares. Na estimação dos parâmetros sob este método, são assumidas as suposições i) a iii), portanto uma das vantagens do método de mínimos quadrados é a de não ser necessária a suposição de normalidade dos erros. Contudo, este método fornece estimativas dos parâmetros apenas referentes ao intercepto e aos efeitos das variáveis explicativas. Sendo assim, ao utilizar este método, tem-se que obter a estimativa de σ^2 por um método alternativo.

A ideia principal no método de mínimos quadrados é obter as estimativas dos parâmetros que minimizem a soma de quadrados dos erros, ou seja, que minimizem o critério:

$$Q(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}) = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_{p-1} X_{p-1i})^2 \quad (2)$$

Sob o modelo linear simples, o critério reduz-se a:

$$Q(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (3)$$

As somas de quadrados (2) ou (3) geralmente são minimizadas de forma analítica, ou seja, obtendo expressões exatas para os valores dos parâmetros. Para o modelo linear simples, deriva-se (2) em relação a β_0 e também em relação a β_1 e igualar as derivadas a zero, obtendo o sistema de equações denominado de equações normais:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = \beta_0 \sum_{i=1}^n X_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n (X_i)^2 \quad (5)$$

Resolvendo (4) e (5) em função de β_0 e β_1 obtêm-se os estimadores de mínimos quadrados

$$\widehat{\beta}_0 = \bar{Y} - \widehat{\beta}_1 \bar{X} \quad (6)$$

$$\widehat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (7)$$

Para a obtenção dos estimadores de mínimos quadrados no modelo linear múltiplo, convém escrever o modelo na forma matricial. Seja $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$ o vetor de observações da variável resposta Y , $\mathbf{X} = (\mathbf{1}, \mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_{p-1})^T$ a matriz de observações das variáveis explicativas, em que $\mathbf{1}$ é um vetor de uns contendo n observações, $\mathbf{X}_k = (X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kn})^T$ é o vetor de observações da k -ésima variável explicativa, para $k = 1, 2, \dots, p-1$, $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1})^T$ é o vetor contendo o intercepto e os parâmetros referentes às

variáveis explicativas e $\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)^T$ é o vetor de erros. Pode-se, então, escrever o modelo na forma matricial como sendo $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$ (Montgomery et al., 2012).

Sendo assim, a soma de quadrados dos erros pode ser expressa na forma matricial como:

$$Q(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}) = \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})^T (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})$$

Derivando em relação a $\boldsymbol{\beta}$ e igualando a um vetor de zeros, obtemos o sistema de equações normais:

$$\mathbf{X}^T \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} = \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

Portanto o estimador de mínimos quadrados para $\boldsymbol{\beta}$ é dado por

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

Uma característica dos estimadores de mínimos quadrados, tanto para os modelos lineares simples quanto para os modelos lineares múltiplos, é a de serem não viesados em relação aos verdadeiros valores dos parâmetros, ou seja,

$$E(\hat{\beta}_k) = \beta_k, k = 0, 1, 2, \dots, p - 1.$$

Outra importante propriedade dos estimadores de mínimos quadrados é a de que eles apresentam a menor variância dentre todos os estimadores não viesados definidos como combinação linear dos valores da variável Y . Na literatura, estimadores que apresentam esta característica são denominados de BLUE (“*best linear unbiased estimator*”). Este resultado é derivado do teorema de Gauss-Markov (Kutner et al., 2005). A matriz de covariância do estimador de mínimos quadrados é facilmente obtida a partir da forma matricial do modelo, pois, como os erros são não correlacionados, temos a matriz de covariância dos erros dada por:

$$\text{Var}(\boldsymbol{\varepsilon}) = \sigma^2 \mathbf{I}$$

em que I é a matriz identidade de dimensão $n \times n$. Então obtém-se a matriz de covariância do estimador $\widehat{\beta}$ como sendo

$$\text{Var}(\widehat{\beta}) = \text{Var}[(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}] = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \text{Var}(\mathbf{Y}) \mathbf{X} (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$$

Uma vez que o modelo pode ser escrito como $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\beta + \varepsilon$, temos que:

$$\text{Var}(\mathbf{Y}) = \text{Var}(\mathbf{X}\beta + \varepsilon) = \text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2 \mathbf{I}.$$

Portanto, temos que:

$$\begin{aligned} \text{Var}(\widehat{\beta}) &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \sigma^2 \mathbf{I} \mathbf{X} (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} = \\ &= \sigma^2 (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{I} \mathbf{X} (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} = \\ &= \sigma^2 (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}. \end{aligned}$$

Para lidar com o problema de que o método de mínimos quadrados não fornece um estimador para a variância σ^2 , frequentemente adota-se o estimador S^2 , dado por:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1 X_i)^2}{n - 2}$$

A quantidade $\sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1 X_i)^2$ é chamada de soma de quadrados dos resíduos, sendo assim, os estimadores $\widehat{\beta}_0$ e $\widehat{\beta}_1$ como definidos em (6) e (7) minimizam esta quantidade. O estimador S^2 por sua vez apresenta a propriedade de ser não viesado para σ^2 , ou seja, $E(S^2) = \sigma^2$. Para o modelo linear múltiplo S^2 é dado por:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1 X_{1i} - \dots - \widehat{\beta}_{p-1} X_{p-1i})^2}{n - p}$$

O segundo método mais utilizado na obtenção das estimativas dos parâmetros nos modelos lineares é o método de máxima verossimilhança. Para

tanto, é necessária a suposição de que os erros seguem uma determinada distribuição de probabilidade. A distribuição mais utilizada, neste caso, é a distribuição normal. Se uma variável Y segue uma distribuição normal com média μ e variância σ^2 , sua função de densidade é dada por:

$$f(y; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(y - \mu)^2\right\}$$

Através da suposição iv), ou seja, se os erros seguem distribuição normal com média 0 e variância σ^2 , pela propriedade de linearidade da distribuição normal temos que $Y_i \sim \mathcal{N}(\mu_i, \sigma^2)$

No modelo linear simples temos $\mu_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, enquanto que no modelo linear múltiplo temos $\mu_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1i}$. Pela suposição iii), como os erros são não correlacionados então as variáveis Y_i também são não correlacionadas. Sendo assim, a função de verossimilhança associada ao modelo (1) é dada por:

$$\mathcal{L}(\beta_0, \beta_1, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2\right\} \right] \quad (8)$$

Já para o modelo (2), a função de verossimilhança é dada por:

$$\mathcal{L}(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_{p-1} X_{p-1i})^2\right\} \right] \quad (9)$$

Através do método de máxima verossimilhança são obtidas estimativas dos parâmetros que maximizam a função de verossimilhança do modelo. Um procedimento bastante utilizado neste caso é obter as estimativas dos parâmetros que maximizam o logaritmo da função de verossimilhança. Como a função logaritmo é monótona, os estimadores que maximizam o logaritmo da verossimilhança são os mesmos que maximizam a própria função de verossimilhança.

Aplicando o logaritmo em (8) obtém-se

$$l(\beta_0, \beta_1, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \log 2\pi\sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (10)$$

Para o modelo linear múltiplo, o logaritmo da função de verossimilhança é obtido a partir de (9), ou seja,

$$l(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \log 2\pi\sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_{p-1} X_{p-1i})^2$$

Ao derivarmos (10) em relação à β_0 , β_1 e σ^2 respectivamente e igualando cada derivada a zero, obtemos o sistema de equações:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n X_i (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2}{n} &= \sigma^2 \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema para β_0 , β_1 e σ^2 , obtemos os estimadores de máxima verossimilhança:

$$\widehat{\beta}_0 = \bar{Y} - \widehat{\beta}_1 \bar{X} \quad (11)$$

$$\widehat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (12)$$

$$\widehat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{\beta}_0 - \widehat{\beta}_1 X_i)^2}{n}$$

Nota-se que os estimadores em (11) e (12) para o modelo linear simples apresentam as mesmas expressões que aqueles obtidos através do método de

mínimos quadrados. O mesmo acontece para o modelo linear múltiplo com relação aos parâmetros no vetor β , ou seja, pode ser mostrado que seu estimador obtido pelo método de máxima verossimilhança é:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Sendo assim, o estimador de máxima verossimilhança no modelo linear múltiplo também é BLUE. Ainda para este modelo, tem-se que o estimador da variância é dado por:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{1i} - \dots - \hat{\beta}_{p-1} X_{p-1i})^2}{n}$$

Tanto para o modelo linear simples quanto para o modelo linear múltiplo, o estimador de máxima verossimilhança para a variância apresenta uma diferença em relação aos estimadores para a variância propostos anteriormente. O denominador do estimador de máxima verossimilhança é n , enquanto que no estimador S^2 o denominador é $n - 2$ para o modelo linear simples e $n - p$ para o modelo linear múltiplo. Isto faz com que o estimador de máxima verossimilhança seja viesado para σ^2 . Contudo, este último apresenta menor variância que o estimador S^2 .

Para a seleção das variáveis explicativas que irão compor o modelo, geralmente utiliza-se algum critério de seleção. O Critério de Informação Bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978) é dado por:

$$BIC = -2 \log f(x_n | \theta) + p \log n$$

em que $f(x_n | \theta)$ é o modelo selecionado, p é o número de parâmetros a serem estimados e n é o número de observações da amostra.

2.4.4. Análise de resíduos

Uma importante etapa na análise do ajuste de um modelo de regressão é a verificação das suposições assumidas. Além disso, é necessário investigar a existência de observações atípicas, pois estas podem influenciar de forma desproporcional na inferência realizada acerca do modelo. Estes procedimentos são conhecidos como análise de resíduos e de diagnóstico (Paula, 2013).

Para a realização da análise de resíduos, convém inicialmente considerar os resíduos ordinários provenientes do ajuste do modelo linear:

$$\mathbf{r} = \mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{Y} - \mathbf{X}(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{Y} = [\mathbf{I} - \mathbf{H}]\mathbf{Y}$$

em que $\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T$. A matriz \mathbf{H} é denominada como matriz “hat”, e desempenha um papel importante na análise de diagnóstico. Mais especificamente, os valores da diagonal da matriz \mathbf{H} podem ser utilizados para investigar a influência desproporcional de determinadas observações nos valores ajustados $\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}}$. Observações com esta característica são denominados de pontos de alavanca (Paula, 2013). Seja h_{ii} o i -ésimo elemento da diagonal de \mathbf{H} , para $i = 1, 2, \dots, n$, também chamado de medida h . Pode ser mostrado que $\sum_{i=1}^n h_{ii} = p$. Supondo que todos os pontos exerçam a mesma influência nos valores ajustados, esperara-se que $h_{ii} = p/n$. Os pontos com valores de h_{ii} maiores que $3p/n$ podem ser considerados como pontos de alavanca, sendo assim suspeitos de exercer peso desproporcional nos valores ajustados das observações da variável resposta Y , além de potencialmente aumentarem a variância desses valores ajustados. Através de um gráfico dos valores de h_{ii} contra seus respectivos índices, pode-se detectar pontos de alavanca existentes no banco de dados.

Considerando novamente os resíduos ordinários $\mathbf{r} = [\mathbf{I} - \mathbf{H}]\mathbf{Y}$, temos que:

$$\begin{aligned} E(\mathbf{r}) &= E([\mathbf{I} - \mathbf{H}]\mathbf{Y}) = [\mathbf{I} - \mathbf{H}]E(\mathbf{Y}) = [\mathbf{I} - \mathbf{H}]\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} = \\ &= \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} - \mathbf{X}(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{X}\boldsymbol{\beta} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} = \mathbf{0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(\mathbf{r}) &= \text{Var}([\mathbf{I} - \mathbf{H}]\mathbf{Y}) = [\mathbf{I} - \mathbf{H}]\text{Var}(\mathbf{Y})[\mathbf{I} - \mathbf{H}]^T = \\ &= [\mathbf{I} - \mathbf{H}]\sigma^2\mathbf{I}[\mathbf{I} - \mathbf{H}]^T = \sigma^2[\mathbf{I} - \mathbf{H}][\mathbf{I} - \mathbf{H}]^T \end{aligned}$$

Pode ser mostrado que a matriz $\mathbf{I} - \mathbf{H}$ é simétrica e idempotente. Logo temos que:

$$\text{Var}(\mathbf{r}) = \sigma^2[\mathbf{I} - \mathbf{H}]$$

Sendo assim, se o vetor de resíduos \mathbf{r} é tal que $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, temos que

$$E(r_i) = 0 \qquad \text{Var}(r_i) = \sigma^2(1 - h_{ii})$$

Portanto como os resíduos podem apresentar variâncias diferentes, para compará-los devemos expressá-los de forma padronizada. A primeira ideia é padronizar os resíduos dividindo-os pelos seus respectivos erros padrões, obtendo assim os resíduos padronizados $t_i = \frac{r_i}{\sqrt{S^2(1-h_{ii})}}$.

Contudo o resíduo t_i não segue uma distribuição t de Student, pois r_i não é independente de S^2 e, sendo assim, não se pode utilizar o resultado usual de construção de uma variável t a partir do quociente entre uma normal padrão e uma qui-quadrado independentes. Uma forma de contornar este problema é substituindo S^2 por $S_{(i)}^2$, o estimador da variância obtido ao excluir-se a i -ésima observação do banco de dados (Paula, 2013). Assim, tem-se o resíduo studentizado $ts_i = \frac{r_i}{\sqrt{S_{(i)}^2(1-h_{ii})}}$.

O gráfico dos valores de ts_i contra seus respectivos índices pode ajudar na detecção de pontos aberrantes, ou seja, pontos onde a variável resposta apresenta valores que podem ser considerados distantes em relação aos seus respectivos valores ajustados. Sendo assim, valores grandes de ts_i podem dar indícios de pontos aberrantes.

Considerando ainda os resíduos ts_i , o gráfico de seus valores contra os valores ajustados \hat{Y}_i pode dar indícios de que a suposição de variância constante foi

atendida. Sob homocedasticidade (variância constante), é esperado que os pontos deste gráfico estejam dispostos aleatoriamente em torno do zero. A presença de alguma tendência visível de variação da magnitude da dispersão em torno do zero, pode indicar que a suposição de homocedasticidade não foi atendida. Neste caso, é dito que o modelo é heterocedástico e, sendo assim, o ajuste pode não ser adequado.

Outra forma de investigar a influência de determinados pontos no ajuste é aplicar uma determinada perturbação no modelo e avaliar o impacto desta perturbação na estimação dos parâmetros. Neste sentido, uma medida de influência bastante utilizada na análise de diagnóstico é a distância de Cook (Cook e Weisberg, 1982). Quando a perturbação resume-se a excluir o i -ésimo ponto do modelo, a distância de Cook é definida por $D_i = \frac{t_i^2 * h_{ii}}{(1-h_{ii})p}$.

O valor D_i será grande quanto t_i for grande e/ou quando h_{ii} estiver próximo de um. Logo valores grandes de D_i dão indício que o i -ésimo ponto é influente, ou seja, pode influenciar nas decisões inferenciais acerca da significância dos parâmetros. Portanto, o gráfico dos valores de D_i contra seus respectivos índices pode ajudar na identificação dos pontos influentes.

2.4.5. Transformação de dados

Uma técnica muito utilizada na área de modelagem estatística é a aplicação de transformações nos dados, principalmente na variável resposta. Geralmente estas transformações visam, entre outros objetivos, obter dados com distribuições o mais próximo possível da distribuição normal, tornar a variância constante ou mesmo garantir a relação linear entre a resposta e as variáveis explicativas. Na literatura diversas técnicas estão disponíveis como a raiz quadrada e logarítmica (para variáveis positivas) ou ainda a transformação recíproca, por exemplo, Kutner, (2005), porém a transformação mais utilizada é a transformação de Box-Cox (Box e Cox, 1964), que transforma uma variável positiva Y com:

$$Z = \begin{cases} \frac{(Y^{\lambda}-1)}{\lambda}, se \lambda \neq 0 \\ \log(Y), se \lambda = 0 \end{cases}$$

em que λ é um valor a ser selecionado. A transformação de Box-Cox geralmente produz normalidade ou mesmo a homocedasticidade da variável, contudo o valor de λ selecionado nem sempre é único pois há situações em que a verossimilhança pode ser maximizada por mais de um valor (Paula, 2013).

A deviância é uma medida de discrepância (Nelder e Wedderburn, 1972), dada por:

$$D = 2(\hat{l}_s - \hat{l}_i)$$

em que \hat{l}_s e \hat{l}_i são os logaritmos das funções de verossimilhança avaliados nos estimadores de máxima verossimilhança para um modelo super saturado e o modelo de interesse, respectivamente. O impacto da inclusão de cada variável no modelo pode ser avaliado pela relação entre a diferença das funções desvio dos modelos ajustados com e sem a variável de interesse e a função desvio do modelo contendo todas as variáveis. O peso é definido por:

$$w_k = \frac{D_{k-1} - D_k}{D_{\hat{\beta}_0} - D_{p-1}}, \quad k = 1, \dots, p - 1$$

em que w_k é o peso da k -ésima variável, D_k é a deviance do modelo contendo as k primeiras variáveis do modelo selecionado, $D_{\hat{\beta}_0}$ é a deviance do modelo só com o $\hat{\beta}_0$ e D_p é a deviance do modelo com todas as p variáveis explicativas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A amostra analisada são resultados de coletas de dados de 2003 até 2007 em fazendas de camarão localizadas no nordeste brasileiro. Há um total de 382 observações, correspondentes ao número de despescas do *Litopenaeus vannamei*. Antes de iniciar o cultivo, são coletadas informações sobre as variáveis de manejo como a área do viveiro de engorda, o tipo da ração a ser administrado, o tipo de povoamento das pós-larvas, o tempo do cultivo e a densidade de estocagem utilizada. Durante o cultivo são registradas informações semanais sobre o crescimento e no final do cultivo tem-se a quantidade de ração administrada, o peso médio final, a produção, o fator de conversão alimentar geral, a sobrevivência e o crescimento médio semanal do camarão, que descreve a taxa de crescimento do camarão em relação à semana anterior.

As variáveis zootécnicas, consideradas como variáveis respostas são aquelas que o produtor não tem controle sobre elas, como por exemplo, o peso médio final e a produção. A sobrevivência dos animais é estimada no final do cultivo, baseada na estimativa do total de camarões povoados e da quantidade despescada. A quantidade total de ração utilizada também é calculada no final do cultivo, a partir do somatório das quantidades diárias administradas.

Na Tabela 3 pode ser observada as descrições das variáveis utilizadas no estudo com suas respectivas unidades de medida. As variáveis dicotômicas Rpel e Pind, indicam o tipo de ração utilizada (extrusada ou peletizada) e o tipo de povoamento das pós-larvas adotado (direto ou indireto) respectivamente. As variáveis de manejo são de conhecimento prévio do produtor, uma vez que seus valores são pré-estabelecidos no início do cultivo, como por exemplo área do viveiro, dias de cultivo e densidade de estocagem.

Tabela 3 – Variáveis consideradas na análise dos cultivos de camarão *Litopenaeus vannamei* em fazendas no nordeste brasileiro.

Variáveis zootécnicas (respostas)	Variáveis de manejo (explicativas)
CMS – Crescimento médio semanal (g/semana)	Aviv – Área do viveiro (ha)
FCA – Fator de conversão alimentar	Rpel = $\begin{cases} 0 - \text{Ração extrusada} \\ 1 - \text{Ração peletizada} \end{cases}$
PMF – Peso médio final (g)	Anos – Ano da despesca
PRD – Produção (t)	Pind = $\begin{cases} 0 - \text{Povoamento direto} \\ 1 - \text{Povoamento indireto} \end{cases}$
SOB – Sobrevivência (%)	Dcult – Dias de cultivo
QRAC – Quantidade de ração (t)	Dinc – Densidade de estocagem (camarões/m ²)

Na análise descritiva das variáveis foram calculadas inicialmente algumas medidas de posição, de dispersão e construídos alguns gráficos das variáveis explicativas e outros com algumas interações entre elas. Para a modelagem das variáveis zootécnicas em relação às variáveis de manejo, após algumas avaliações preliminares, optou-se pela utilização de modelos lineares com distribuição normal. A modelagem da sobrevivência realizou-se em duas partes. Na primeira apenas variáveis de manejo foram levadas em consideração e na segunda parte o modelo proposto para a sobrevivência contempla variáveis explicativas de manejo e zootécnicas.

Nas variáveis dicotômicas, geralmente define-se o menor valor como o nível base (casela de referência). Sendo assim o parâmetro referente a este tipo de variável pode ser interpretado como a mudança na média da variável resposta quando se passa do nível base para o nível associado ao maior valor. Portanto a casela de referência da variável tipo de ração é a utilização da ração extrusada, na variável tipo de povoamento é o povoamento direto e na variável ano de despesca é o ano de 2003.

As variáveis explicativas foram selecionadas segundo o critério de informação bayesiano (BIC) (Schwarz, 1978), uma vez que este critério geralmente seleciona modelos com menos variáveis do que o critério de Akaike (AIC). Nos modelos em que a suposição de normalidade não foi atendida, fez-se o uso de transformações de Box-Cox (Box e Cox, 1964) nas variáveis respostas. Após selecionado o modelo linear que minimiza a soma de quadrados dos resíduos, pode-se avaliar o impacto de inclusão de cada variável no modelo através da sua função desvio.

A análise de diagnósticos do modelo proposto foi realizada através da construção de gráficos de resíduos e de medidas de influência e alavancagem. Para a verificação da suposição de homocedasticidade foi analisado o gráfico dos resíduos em função dos valores preditos; para a investigação sobre possíveis pontos de alavanca utilizou-se o gráfico da medida de alavancagem; no intuito de observar possíveis pontos influentes nas estimativas dos parâmetros e na inferência acerca do modelo, foi construído o gráfico da distância de Cook. Observações com o valor da distância de Cook acima do quantil $(1 - \alpha)$ de uma distribuição F, com p graus de liberdade no numerador e $n - p$ graus de liberdade no denominador podem ser considerados potencialmente influentes. Para a verificação da suposição de normalidade, foi construído o gráfico de quantis dos resíduos com uma banda de confiança simulada (envelope) (Paula, 2013).

Para a análise dos dados foi utilizado o programa R na versão 2.15.1 (R Core Team, 2012), para a edição desta dissertação e a construção de alguns gráficos utilizou-se o programa Microsoft Word e Microsoft Excel na versão 14.0.7106.5003 (Microsoft Corporation, 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva

Em 69,37% dos viveiros analisados fez-se uso da ração extrusada e 67,54% dos casos a transferência das pós-larvas para os viveiros de engorda se deu de forma indireta (Figura 8).

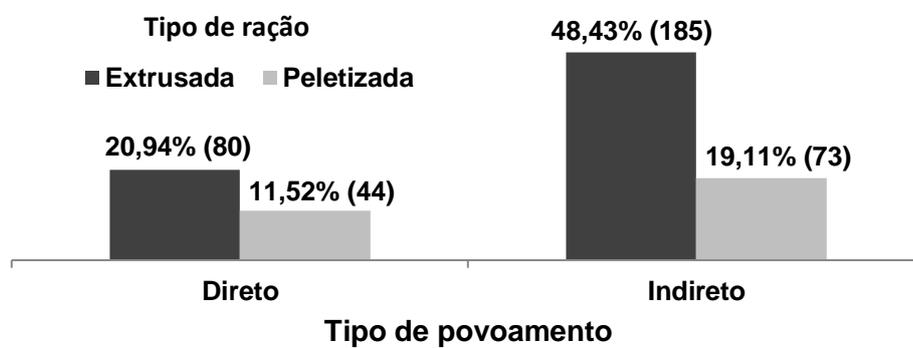


Figura 8 – Distribuição do tipo de ração por tipo de povoamento adotado nos viveiros.

Observa-se que 49,74% das despesas e coletas foram realizadas no ano de 2006 e que o percentual mínimo ocorreu no ano de 2004 (Figura 9).

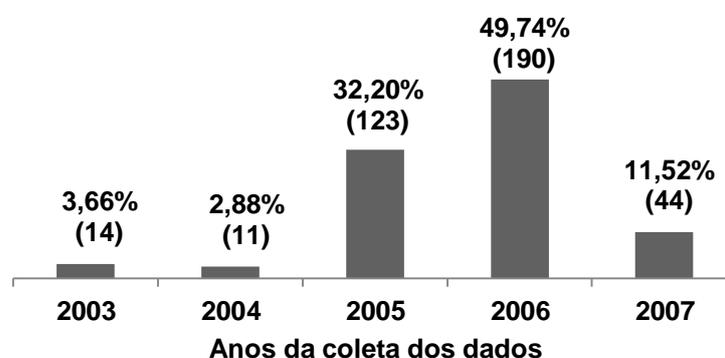


Figura 9 – Percentuais e valores absolutos das despesas por ano.

Em relação às variáveis contínuas analisadas no estudo, foi realizada uma estatística descritiva com algumas medidas de dispersão, de posição e seus respectivos intervalos de confiança (Tabela 4). Como exemplo de algumas medidas temos que a média do fator de conversão alimentar foi de 1,572; a produção mediana foi de 5,503 toneladas com coeficiente de variação de 66,368; a densidade de estocagem média foi 30,781 camarões/m²; a sobrevivência apresentou valor mínimo de 25,098% e máximo de 97,69%.

Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis consideradas na análise dos cultivos de *Litopenaeus vannamei* cultivados em fazendas de camarão no nordeste do Brasil.

Variáveis	Medidas descritivas				
	Mínimo	Média ± IC	Mediana	Máximo	C. V.
CMS	0,437	0,716 ± 0,014	0,709	1,400	19,223
FCA	0,402	1,572 ± 0,046	1,575	2,892	28,960
PMF	6,010	11,257 ± 0,310	10,985	19,710	27,413
PRD	0,971	6,150 ± 0,322	5,503	16,982	52,095
QRAC	1,050	10,136 ± 0,677	8,276	31,822	66,368
Aviv	0,800	3,015 ± 0,097	3,100	6,500	31,983
Dinc	14,999	30,781 ± 1,087	30,781	62,911	35,091
Dcult	62,000	111,647 ± 2,946	106,000	178,000	26,142
SOB	25,098	62,206 ± 1,546	62,419	97,690	24,705

Em que: $IC = S * t_{(0,05)} / \sqrt{n}$; C.V. – Coeficiente de variação (%); CMS - Crescimento médio semanal (g/semana); FCA – Fator de conversão alimentar; PMF – Peso médio final (g); PRD – Produção (t); QRAC – Quantidade de ração(t); Aviv- Área do viveiro (ha); Dinc – Densidade de estocagem (nº/m²); Dcult – Dias de cultivo e SOB – sobrevivência (%).

Histogramas das variáveis consideradas na Tabela 4 são exibidos na Figura 10. A sobrevivência, o fator de conversão alimentar e a área de viveiro tem uma distribuição aproximadamente simétrica. As demais variáveis, em geral, apresentam certa assimetria.

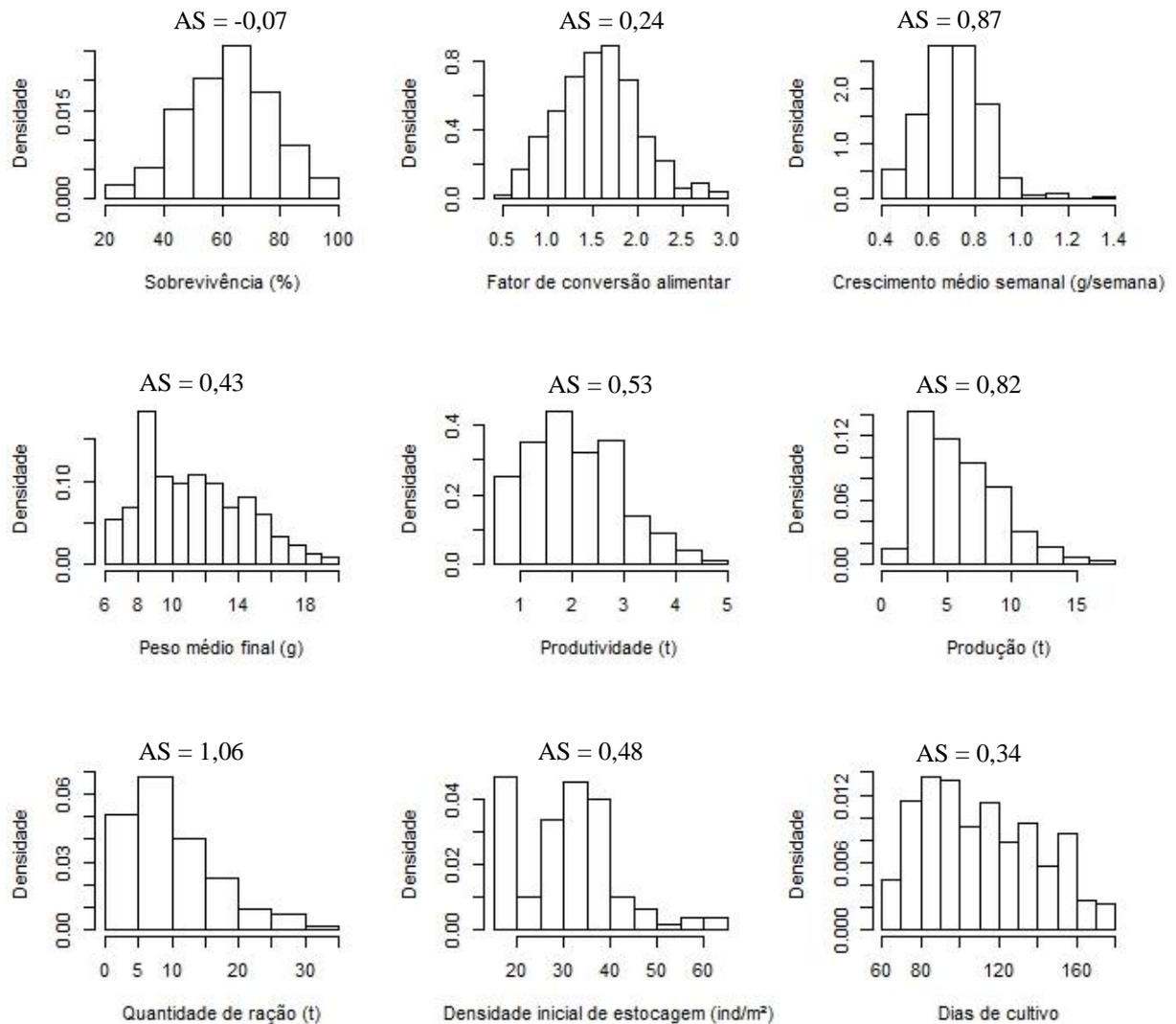


Figura 10 - Histogramas das variáveis relacionadas ao *Litopenaeus vannamei* cultivado em fazendas de camarão no nordeste do Brasil, em que AS indica a medida de assimetria da variável.

Para analisar a correlação entre as variáveis contínuas foi calculada a matriz de correlação (Tabela 5) e realizado o teste de hipóteses para verificar se as correlações são diferentes de zero com o nível de significância de 0,05. São destacadas as maiores correlações entre as variáveis respostas e as variáveis explicativas contínuas (área de viveiro, densidade de estocagem e dias de cultivo). As correlações negativas dão indícios que os comportamentos dessas variáveis são inversamente proporcionais, como é o caso para o crescimento médio semanal e

densidade de estocagem, e para a sobrevivência e dias de cultivo. Já a correlação positiva indica que a relação é diretamente proporcional como nos casos do fator de conversão alimentar com dias de cultivo, peso médio final com dias de cultivo, produção com densidade de estocagem e quantidade de ração com a densidade de estocagem.

Tabela 5 – Matriz de correlação das variáveis contínuas relacionadas aos *Litopenaeus vannamei* cultivados em fazendas de camarão no nordeste do Brasil

	CMS	FCA	PMF	PRD	QRAC	SOB	Aviv	Dcult	Dinc
CMS	1,000								
FCA	-0,320	1,000							
PMF	0,400	0,390	1,000						
PRD	-0,270	0,320	0,140	1,000					
QRAC	-0,300	0,620	0,270	0,920	1,000				
SOB	-0,360*	-0,290*	-0,350*	0,290*	0,110*	1,000			
Aviv	-0,070	-0,001	-0,170*	0,520*	0,420*	0,020	1,000		
Dcult	-0,290*	0,630*	0,750*	0,360*	0,530*	-0,110*	-0,110	1,000	
Dinc	-0,390*	0,390*	-0,150*	0,540*	0,550*	-0,080	-0,030	0,120	1,000

Em que: * - Correlação diferente de zero quando utilizado o teste de Pearson com $\alpha=0,05$; Aviv – Área de viveiro (ha); CMS - Crescimento médio semanal; Dcult – Dias de cultivo; Dinc- Densidade de estocagem (n°/m^2); FCA – Fator de conversão alimentar; PMF – Peso médio final (g); PRD – Produção (t); QRAC – Quantidade de ração(t); SOB – sobrevivência (%).

4.2. Modelagem

4.2.1. Sobrevivência (Modelo I)

O modelo ajustado e selecionado para a sobrevivência em relação às variáveis de manejo foi:

$$\widehat{SOB} = 103,48 + 6,95R_{pel} + 0,65P_{ind} - 0,21D_{inc} - 0,18D_{cult} - 9,95AN05 - 16,50AN06 - 27,39AN07 - 12,51R_{pel} * P_{ind}$$

Na Tabela 6 encontram-se os valores das estimativas com seus respectivos erros padrões, estatísticas t e os valores p associados assim como o peso da contribuição de cada variável explicativa para a redução da deviance. A ração

peletizada ($R_{pel} = 1$) e o povoamento indireto ($P_{ind} = 1$) individualmente aumentam a sobrevivência uma vez que as contribuições individuais desses níveis são de 6,952 e 0,647, respectivamente, mas há de se considerar que a interação entre os componentes é fortemente negativa (-12,509). Portanto se utilizadas em conjunto o saldo final é um decréscimo na sobrevivência. Porém para as demais combinações, ração extrusada e povoamento indireto; ração peletizada e povoamento direto, a contribuição da interação será nula prevalecendo portanto as contribuições individuais positivas que levam em média um aumento da sobrevivência.

Os dias de cultivo e densidade de estocagem diminuem a taxa de sobrevivência a cada unidade de medida acrescida. Quando a despesca ocorreu em 2007, em média 27,393% da sobrevivência diminuiu em relação a 2003. Nota-se que a variável ANO7, referente a 2007, foi a que mais causou impacto no modelo, pois foi responsável por 57,30% do total da redução da deviance. Porém essa redução total da deviance foi baixa como é indicado pelos reduzidos valores do R^2 (0,1467) e do $R^2_{ajustado}$ (0,1284), indicando que somente 12,84% da variabilidade da sobrevivência foi explicada pelas variáveis explicativas. Este índice baixo pode ser justificado pela ausência de algumas variáveis que não foram coletadas como salinidade, temperatura, pluviosidade ou mesmo os laboratórios fornecedores das pós-larvas.

Resultados similares foram encontrados por Ximenes (2005) ao modelar a sobrevivência do *Litopenaeus vannamei* em função apenas da densidade de estocagem no viveiro de engorda, obtendo um índice de determinação de 0,14, evidenciando a falta de variáveis explicativas na modelagem da sobrevivência. Lima (2005) ao estimar os parâmetros da sobrevivência, também não utilizou variáveis físico-químicas em seu trabalho e obteve um $R^2 = 0,04$. O autor afirma que possivelmente esse baixo índice de determinação se deve à falta de variáveis relacionadas ao ciclo produtivo que influenciam a sobrevivência. Já Bezerra et al. (2006) levou em consideração somente a densidade de estocagem e os laboratórios fornecedores das pós-larvas, obtendo ainda assim, um índice associado ao modelo de 0,6291. Este índice é um indício que o laboratório de onde procedem as pós-larvas é de suma importância para a sobrevivência.

Tabela 6 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da sobrevivência dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos que cada variável explicativa teve na redução da deviance.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Intercepto	103,482	5,990	17,276	<0,0010	
Rpel	6,952	2,939	2,365	0,0185	0,20%
Pind	0,647	2,048	0,316	0,7523	2,07%
Dinc	-0,209	0,079	-2,657	0,0082	5,59%
Dcult	-0,183	0,032	-5,680	<0,0010	16,34%
ANO5	-9,946	3,252	-3,058	0,0024	0,12%
ANO6	-16,496	3,283	-5,025	<0,0010	0,09%
ANO7	-27,393	4,142	-6,614	<0,0010	57,30%
Rpel*Pind	-12,509	3,654	-3,423	0,0007	18,28%

Em que: Rpel – Tipo de ração (0 = Extrusada; 1 = Peletizada); Pind – Tipo de povoamento (0 = Direto; 1 = Indireto); Dinc - Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult – Dias de cultivo; ANO5 – Ano da despesa (1 = 2005; 0 = caso contrário); ANO6 – Ano da despesa (1 = 2006; 0 = caso contrário); ANO7 - Ano da despesa (1 = 2007; 0 = caso contrário).

Para verificar as suposições acerca do modelo e investigar a presença de pontos atípicos, foi realizada a análise de resíduos e de diagnósticos através dos gráficos exibidos na Figura 11. Não foram detectados pontos com alta alavancagem (Figura 11A). A observação 125 (Figura 11B) apesar de ser detectada como possivelmente influente não alterou a inferência realizada a partir do ajuste do modelo, sendo assim não é considerada como ponto influente. A observação 18 (Figura 11C) teve seu valor estimado (63,52%) distante do valor real (26,57%), sendo assim este ponto é considerado um ponto aberrante. Nota-se que os resíduos estão aleatoriamente dispostos em torno do zero (Figura 11D), dando indícios que a suposição de homocedasticidade foi atendida. No gráfico quantil-quantil (Figura 12E) a maioria dos pontos encontra-se dentro da banda de confiança simulada, portanto há fortes indícios de que a suposição de normalidade foi atendida.

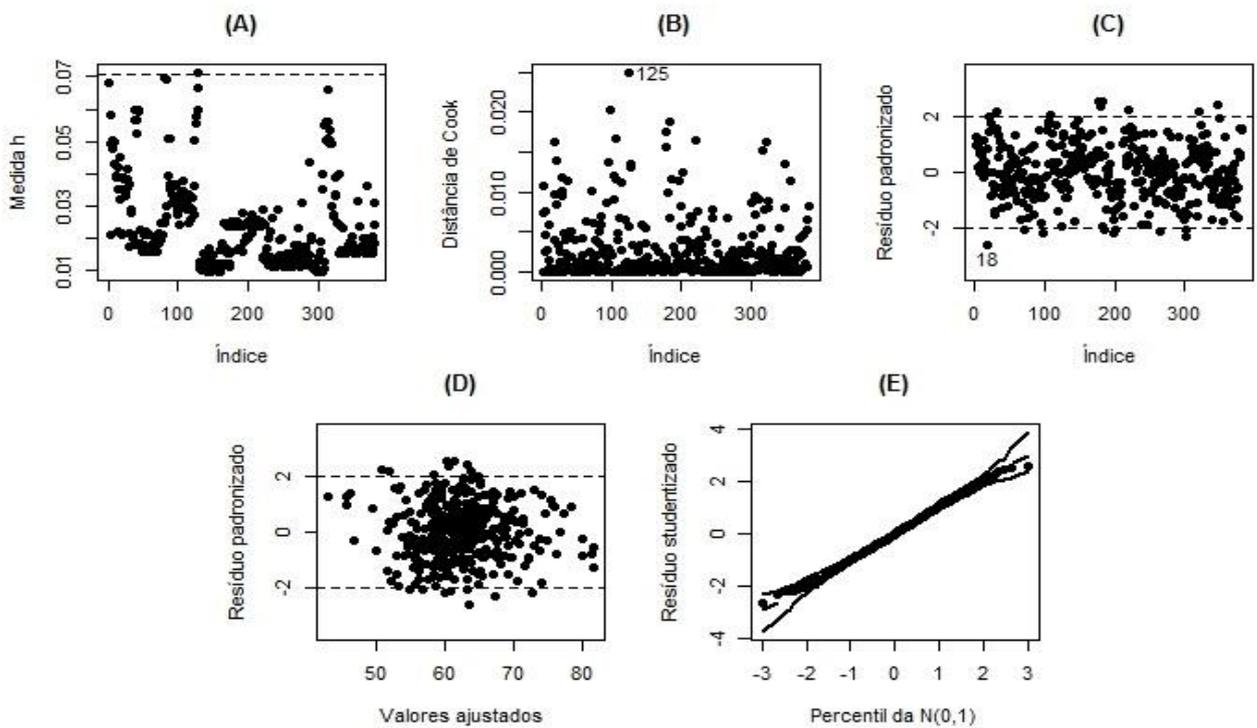


Figura 11 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da sobrevivência. (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

4.2.2. Crescimento médio semanal

Para atender a suposição de normalidade do modelo fez-se necessário o uso da transformação de Box-Cox, como $\lambda = 0$ a variável CMS passou a ser $\log CMS$. O modelo ajustado para o crescimento médio semanal transformado em relação às variáveis de manejo foi:

$$\log(\widehat{CMS}) = -0,005Dinc - 0,002Dcult + 0,113ANO5 + 0,144ANO7$$

Na tabela 7 encontram-se os valores das estimativas com seus respectivos erros padrões, estatísticas t e os valores p associados assim como o peso da contribuição de cada variável explicativa para a redução da deviance. O aumento em uma unidade na densidade de estocagem e nos dias de cultivo diminui em média 0,5% e 0,2%, respectivamente, o crescimento médio semanal. O crescimento médio semanal no ano de 2005 foi em média 11,96% maior e 15,49% maior no ano de

2007 em relação aos anos de despesca 2003, 2004 e 2006. A variável que mais reduziu a deviance ao ser incorporada foi dias de cultivo. Sua inclusão no modelo contribuiu em 63,89% da redução total da deviance alcançada com o modelo completo.

Tabela 7 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo do crescimento médio semanal dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos de cada variável explicativa.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Dinc	-0,005	0,0006	-8,360	< 0,0010	63,89%
Dcult	-0,002	0,0002	-10,649	< 0,0010	5,42%
ANO5	0,113	0,0190	5,929	< 0,0010	29,11%
ANO7	0,144	0,0252	5,708	< 0,0010	1,58%

Em que: Dinc - Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult - Dias de cultivo; ANO5 - Ano da despesca (1 = 2005; 0 = caso contrário); ANO7 - Ano da despesca (1 = 2007; 0 = caso contrário).

O valor do R^2 foi 0,847, indicando que 84,70% da variabilidade do crescimento médio semanal foi explicada. Segundo Marinho Junior e Fonteles-Filho (2010) e Froés et al. (2013) a densidade de estocagem é um dos fatores que influencia no crescimento médio semanal dos *Litopenaeus vannamei* de forma inversamente proporcional, resultado que corrobora com o presente trabalho. Spanghero et al. (2008) obteve um índice de determinação de 0,7886 quando comparou o crescimento médio de *Litopenaeus vannamei* apenas com o tipo da água do cultivo, doce ou salgada, evidenciando a importância dessa variável para o crescimento médio semanal e levando a supor que com esta informação a variabilidade do crescimento médio semanal poderia ser melhor explicada. Foi realizada a análise de resíduos e de diagnósticos a partir do modelo ajustado através dos gráficos exibidos na Figura 12.

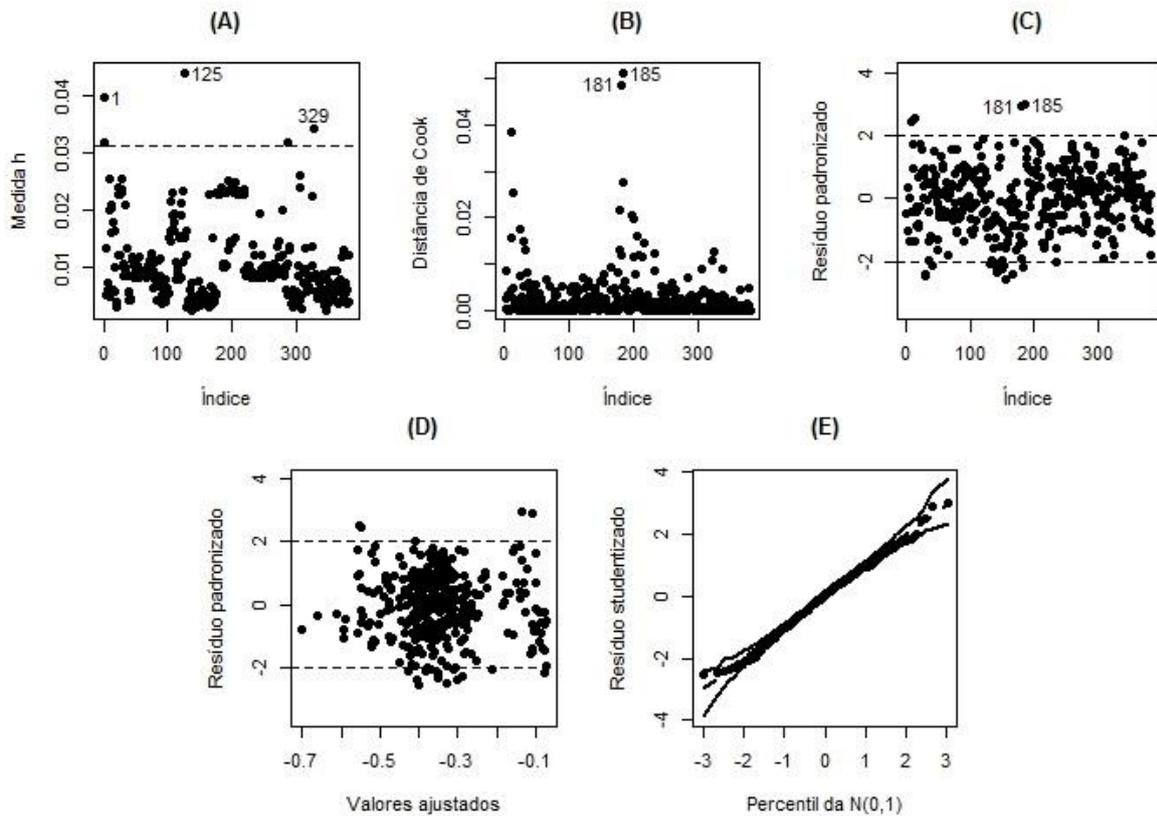


Figura 12 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo do crescimento médio semanal. (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

As observações 1, 125 e 329 apresentaram as maiores densidades de estocagem no ano de 2007, por isso se destacam entre as demais (Figura 12A). As observações 181 e 185 (Figura 12B) foram detectadas como possivelmente influentes, porém em nada alteraram na inferência realizada a partir do ajuste do modelo, sendo assim não são consideradas como pontos influentes. As observações 181 e 185 (Figura 12C) foram detectadas como pontos aberrantes uma vez que seus valores reais transformados, 0,3365 e 0,322, respectivamente estão distantes de suas estimativas, -0,1111 e -0,1353, respectivamente. Através do gráfico de heterocedasticidade (Figura 12D) os resíduos estão aleatoriamente dispostos em torno do zero, dando indícios que a suposição de variância constante foi atendida. Pelo gráfico quantil-quantil (Figura 12E) há fortes indícios de que a suposição de normalidade foi atendida uma vez que a maioria dos pontos encontra-se dentro da banda de confiança simulada.

4.2.3. Fator de conversão alimentar

Para atender a suposição de normalidade da variável resposta, fez-se necessário o uso da transformação de Box-Cox, então a variável FCA passou a ser $FCA2 = \frac{FCA^{0,62}-1}{0,62}$. O modelo ajustado para o fator de conversão alimentar em relação às variáveis de manejo foi:

$$\widehat{FCA2} = -1,05 + 0,16Rpel1 + 0,01Dinc + 0,01Dcult + 0,19ANO5 + 0,27ANO6 + 0,18ANO7$$

O valor do R^2 foi de 0,583 e o valor do $R^2_{ajustado}$ foi 0,5768, indicando que 57,68% da variabilidade do fator de conversão alimentar foi explicada. Na Tabela 8 encontram-se os valores das estimativas dos parâmetros e seus respectivos erros padrões, estatísticas t e os valores p associados assim como o peso da contribuição de cada variável para a redução da deviance. Como o coeficiente da variável Rpel é positivo (0,164) então em relação à ração extrusada a ração peletizada aumenta o fator de conversão alimentar. Portanto a ração extrusada apresenta melhores resultados uma vez que há um maior ganho de peso com uma menor quantidade de ração administrada. Aumentam o fator de conversão alimentar cada unidade de medida adicionada na densidade de estocagem e nos dias de cultivos. A ocorrência das despesas em 2005, 2006 e 2007 também levaram a aumentos no fator de conversão alimentar. A variável que resultou em maior redução da deviance foi dias de cultivo que, cuja inclusão no modelo foi responsável por 49,09% da redução total da deviance.

Pessôa (2008) obteve coeficientes de determinação semelhante ao nosso quando modelou o fator de conversão alimentar em relação às variáveis de manejo, porém considerando também o mês do povoamento. O referido autor obteve $R^2 = 0,6592$, valor um pouco mais elevado que o aqui apresentado, o que pode ser explicado pela maior quantidade de variáveis explicativas ou pela consideração dos meses de povoamento que não estavam disponíveis na análise realizada. Já Santos e Mendes (2007) consideraram apenas dias de cultivo para explicar o fator de conversão alimentar com um índice de determinação de 0,528.

Tabela 8 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo do fator de conversão alimentar dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos na redução da deviance de cada variável explicativa incluída no modelo.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Intercepto	-1,055	0,099	-10,693	< 0,0010	
Rpel	0,164	0,031	5,344	< 0,0010	11,40%
Dinc	0,011	0,001	8,074	< 0,0010	24,46%
Dcult	0,009	0,001	15,987	< 0,0010	49,09%
ANO5	0,189	0,056	3,342	0,0009	2,88%
ANO6	0,269	0,056	4,840	< 0,0010	0,11%
ANO7	0,182	0,071	2,552	0,0111	12,05%

Em que: Rpel – Tipo de ração (0 = Extrusada; 1 = Peletizada); Dinc- Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult – Dias de cultivo; ANO5 – Ano da despesca (1 = 2005; 0 = caso contrário); ANO6 – Ano da despesca (1 = 2006; 0 = caso contrário); ANO7 - Ano da despesca (1 = 2007; 0 = caso contrário).

Na Figura 13, encontram-se os gráficos referentes à análise de resíduos e de diagnósticos realizados a partir do modelo ajustado. A observação 1 (Figura 13A) refere-se a uma despesca realizada em 2007 e apresentou a densidade de estocagem de 54,65 camarões/ m^2 sendo este o valor máximo no ano de 2007 e a observação 127 (Figura 13A), referente a uma despesca em 2006, teve 173 dias de cultivo, valor máximo para esta variável em 2006. A observação 125 (Figura 13B) foi detectada como possível ponto influente, mas não alterou a inferência dos parâmetros do modelo. As observações 302 e 370 (Figura 13C) apresentaram o fator de conversão alimentar de 2,79 e 2,83, respectivamente, em que o valor máximo desta variável foi 2,89. Há indícios de que a suposição de variância constante foi atendida, pois os resíduos estão aleatoriamente dispostos em torno do zero no gráfico de heterocedasticidade (Figura 13D). A suposição de normalidade foi constatada através do gráfico quantil-quantil (Figura 13E) uma vez que a maioria dos pontos encontra-se dentro da banda de confiança simulada.

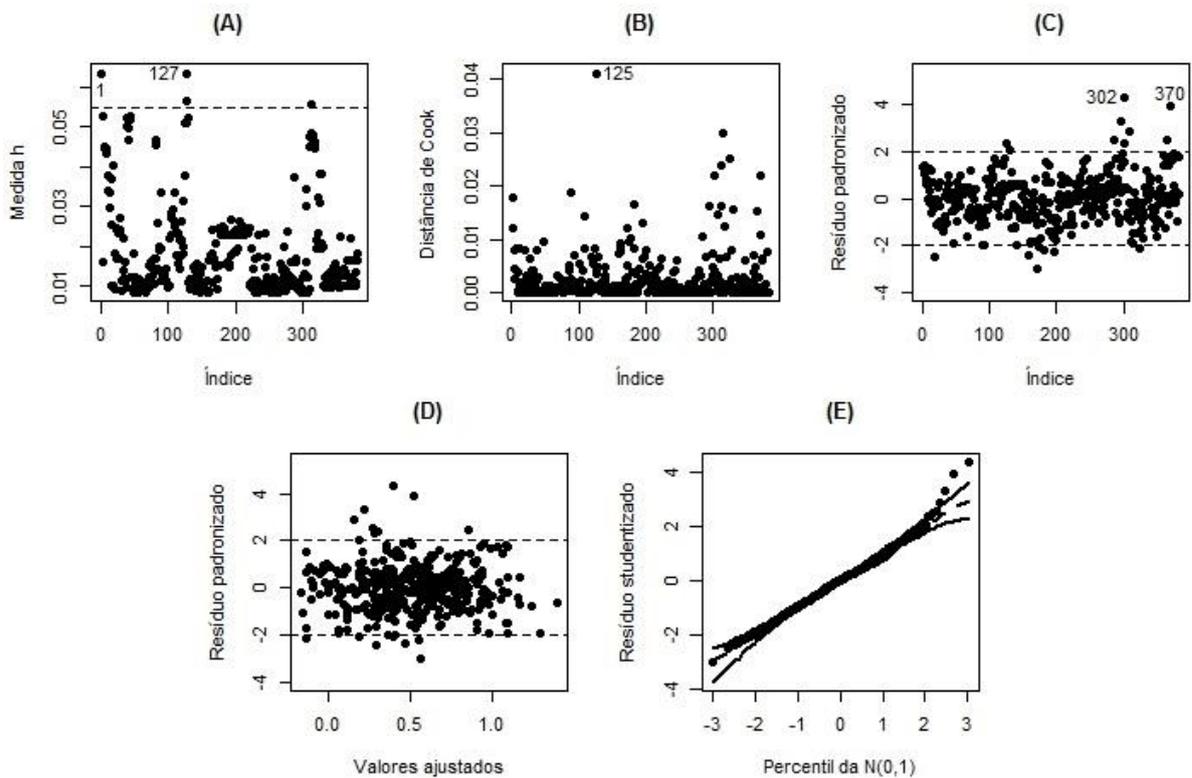


Figura 13 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo do fator de conversão alimentar. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

4.2.4. Peso médio final

O modelo ajustado para o peso médio final em relação às variáveis de manejo foi:

$$\widehat{PMF} = 3,93 - 0,06Dinc + 0,08Dcult + 1,383AN05 + 1,53AN07$$

De acordo com o modelo quanto maior for a densidade de estocagem menor será o peso final e quanto mais longo for o cultivo maior será o peso médio final. Em relação aos anos de despesca os anos de 2005 e 2007 tiveram influencia positiva no peso final dos camarões em comparação com 2003. Na tabela 9 encontram-se os valores das estimativas com seus respectivos erros padrões, estatísticas t e os valores p associados assim como o peso da contribuição de cada variável do modelo para a redução da deviance. Dias de cultivo foi a variável que mais

influenciou no peso médio final no sentido de que a sua inclusão foi responsável por 58,21% da redução total da deviance.

Tabela 9 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo do peso médio final dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os respectivos pesos de cada variável explicativa na redução da deviance.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Intercepto	3,933	0,521	7,548	< 0,0010	
Dinc	-0,060	0,009	-6,351	< 0,0010	4,96%
Dcult	0,077	0,004	20,787	< 0,001	58,21%
ANO5	1,377	0,226	6,096	< 0,0010	36,63%
ANO7	1,535	0,334	4,591	< 0,0010	0,21%

Em que: Rpel – Tipo de ração (0 = Extrusada; 1 = Peletizada); Pind – Tipo de povoamento (0 = Direto; 1 = Indireto); Dinc - Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult – Dias de cultivo; ANO5 – Ano da despesa (1 = 2005; 0 = caso contrário); ANO7 - Ano da despesa (1 = 2007; 0 = caso contrário).

O valor do R^2 foi 0,6632 e o $R^2_{ajustado}$ foi 0,6596, indicando que 65,96% da variabilidade do peso médio final foi explicada pelas variáveis explicativas. Fonseca et al. (2009) não encontrou diferenças significativas no peso médio ao testar diferentes densidades de estocagem em cultivos de 52 dias de *Litopenaeus vannamei*. Resultado divergente do encontrado neste trabalho, quando os dias de cultivo se mostraram muito importantes. Bezerra et al (2006) ao modelar o peso médio final consideraram variáveis de manejo e físico-químicas como variáveis explicativas, encontraram um R^2 de 0,77 e constataram que os dias de cultivo é de fato um dos fatores que explicam o peso final dos camarões. Já Sanchez-Zazueta et al. (2013) afirmaram que o aumento de peso é caracterizado basicamente por meio da ração e a temperatura da água, porém esta última variável não consta no banco de dados analisado. Em um estudo com análise multivariada Ruiz-Velazco et al. (2013) concluíram que os maiores pesos finais do camarão foram obtidos quando a temperatura da água e os dias de cultivo aumentaram. Então a presença de variáveis físico-químicas poderia melhorar a explicação dos pesos médios finais dos camarões cultivados.

A partir do modelo ajustado foi realizada a análise de resíduos e de diagnósticos (Figura 14). A observação 1 (Figura 14A), referente à despesa apresentou a densidade de estocagem de 54,65 camarões/m², que é o valor máximo observado em 2007. A observação 185 (Figura 14B) não alterou a inferência dos parâmetros do modelo logo não foi considerada como um ponto influente. As observações 181 e 185 (Figura 14C) tiveram seus valores ajustados (10,85 e 11,48) distantes dos seus respectivos valores observados (18,0 e 11,48), por isso foram identificadas como pontos aberrantes. Há evidências de que a suposição de homocedasticidade foi atendida, uma vez que os resíduos estão aleatoriamente dispostos em torno do zero (Figura 14D). A partir do gráfico quantil-quantil (Figura 14E), pode-se considerar que a suposição de que normalidade foi atendida, pois a maioria dos pontos encontra-se dentro da banda de confiança simulada.

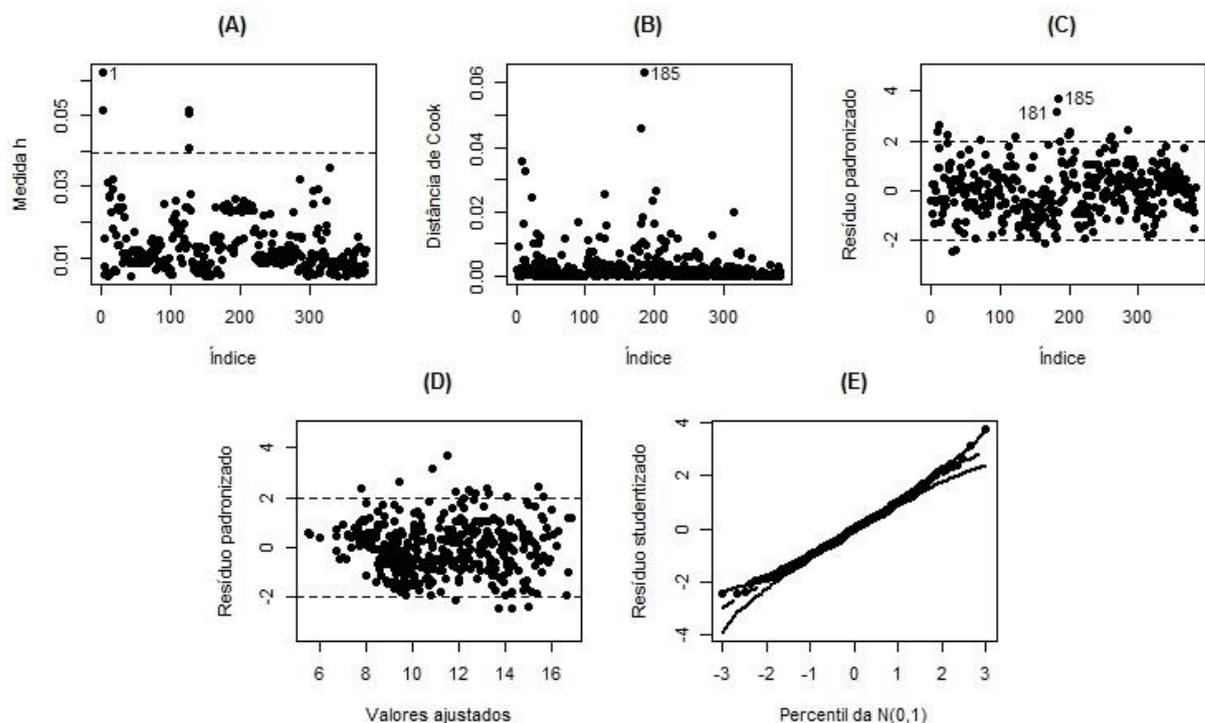


Figura 14 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo do peso médio final dos camarões. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

4.2.5. Produtividade

Para atender a suposição de normalidade, fez-se necessário o uso da transformação de Box-Cox, com isso a variável PRDT tornou-se $PRDT2 = \log PRDT$. O ajuste do modelo para a produção transformada com as variáveis de manejo foi:

$$\widehat{PRDT2} = -0,259 + 0,176R_{pel} + 0,001P_{ind} + 0,023D_{inc} + 0,003D_{cult} - 0,303ANO6 - 0,492ANO7 - 0,192R_{pel} * P_{ind}$$

De acordo com o modelo, aumenta a produtividade a cada medida acrescida na densidade de estocagem e nos dias de cultivo. A produtividade estimada diminuiu quando a despesa ocorreu nos anos de 2006 e 2007 em comparação ao ano de 2003.

O povoamento indireto ($P_{ind} = 0$) diminui a produtividade. A ração peletizada ($R_{pel} = 1$) tem um efeito individual positivo (0,176), mas resulta em diminuição da produtividade se administrada em povoamento indireto ($P_{ind} = 1$) por conta da interação negativa acentuada entre as variáveis (-0,192). Na combinação ração extrusada ($R_{pel} = 0$) e povoamento indireto ($P_{ind} = 1$) a contribuição da interação é nula, dessa forma esta combinação diminui a produtividade, pois o coeficiente do tipo de povoamento é -0,001.

Na tabela 10 encontram-se os valores das estimativas com seus respectivos erros padrões, estatísticas t e os valores p associados assim como o peso da contribuição de cada variável quando incluída no modelo. A variável que mais contribuiu na redução da deviance foi a densidade de estocagem responsável por 56,26% da redução total obtida com o modelo completo seguida por dias de cultivo com 22,74%.

Tabela 10 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da produtividade dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos de cada variável explicativa.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Intercepto	-0,259	0,086	-2,991	0,0029	
Rpel	0,176	0,046	3,827	0,0001	1,29%
Pind	0,001	0,032	0,030	0,9764	8,30%
Dinc	0,023	0,001	18,464	< 0,0010	56,26%
Dcult	0,003	0,001	6,731	< 0,0010	22,74%
ANO6	-0,303	0,030	-9,922	< 0,0010	2,47%
ANO7	-0,492	0,049	-10,028	< 0,0010	7,96%
Rpel*Pind	-0,192	0,057	-3,394	< 0,0010	0,98%

Em que: Rpel – Tipo de ração (0 = Extrusada; 1 = Peletizada); Pind – Tipo de povoamento (0 = Direto; 1 = Indireto); Dinc - Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult – Dias de cultivo; ANO6 – Ano da despesa (1 = 2006; 0 = caso contrário); ANO7 - Ano da despesa (1 = 2007; 0 = caso contrário); Rpel*Pind – Interação entre as variáveis tipo de ração e tipo de povoamento.

O valor do $R^2 = 0,7581$ e o $R^2_{ajustado}$ foi 0,7536, indicando que 75,36% da variabilidade da produtividade foi explicada. Considerando também o mês do povoamento, Pessôa (2008) encontrou resultados similares ($R^2 = 0,7449$). Uma das possíveis justificativas para o índice de determinação maior pode ser o uso de um modelo super saturado com quatorze variáveis explicativas. Santos (2009) além de também considerar o mês do povoamento, incluiu os laboratórios fornecedores das pós-larvas nas suas variáveis explicativas e obteve um índice de determinação de 0,8819. Considerando as variáveis de manejo, físico-químicas e laboratórios fornecedores de pós-larvas, Bezerra (2006) obteve um índice de determinação de 0,8044, indicando que o acréscimo de outras variáveis melhora a variabilidade explicada, porém super parametriza o modelo estimado.

Em um estudo sobre o desempenho do camarão branco criado em sistema de bioflocos, Baloi et al. (2013) concluiu que a produção foi maior no tratamento em que os camarões foram expostos à luz, mas o desempenho foi aceitável também na ausência de luz. Bezerra et al. (2006) selecionou variáveis em modelos matemáticos de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e ao relacionar a produção

com variáveis de manejo e físico-químicas, como temperatura da água, área de viveiro, densidade de estocagem, número de ciclos e salinidade como variáveis explicativas, obteve um $R^2 = 0,88$. O elevado índice de determinação obtido evidencia que a inclusão de variáveis físico-químicas contribui na explicação da variabilidade da produção de camarões marinhos cultivados.

A análise de resíduos e de diagnósticos do modelo selecionado para explicar a produtividade dos camarões foi realizada a partir dos gráficos da Figura 15.

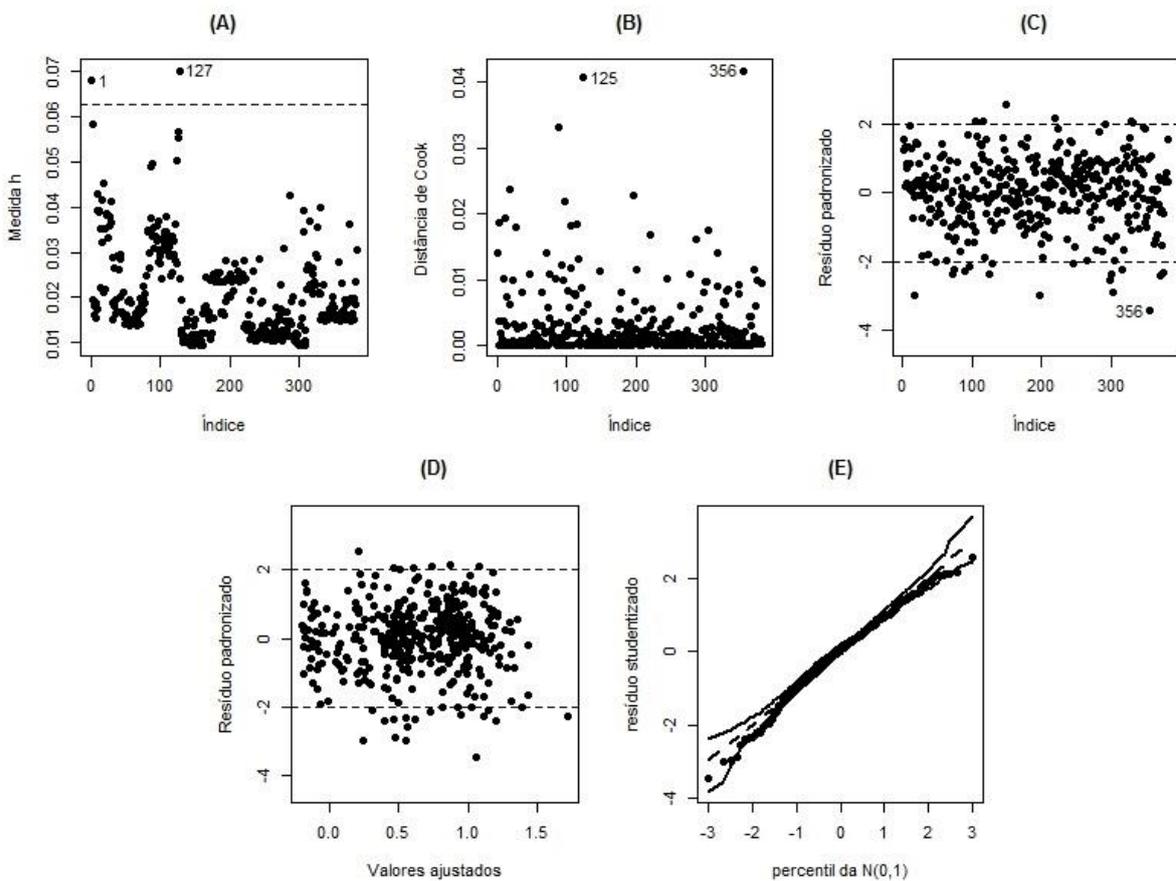


Figura 15 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da produtividade de camarões. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

As observações 1 e 127 (Figura 15A) não apresentaram nenhum valor das variáveis respostas, matriz x , que se destacassem dentre as demais e por isso não são consideradas como pontos de alavanca. As observações 125 e 356 (Figura

15B), apesar de terem sido detectadas como possíveis pontos influentes, não alteraram a inferência acerca dos parâmetros de forma individual ou conjunta. A observação 356 também detectada como possível ponto aberrante (Figura 15C) apresentou uma produtividade transformada de 0,300 toneladas e o seu valor ajustado de 1,06 toneladas. Como o valor ajustado está relativamente distante do valor observado, este ponto foi considerado aberrante. No gráfico de heterocedasticidade (Figura 15D) os resíduos encontram-se distribuídos de forma aleatória em torno do zero, dando indícios de que a suposição de a variância é constante. Uma vez que, no gráfico quantil-quantil (Figura 15E), a maioria dos pontos encontra-se dentro da banda de confiança simulada, têm-se evidências de que a distribuição normal é adequada.

4.2.6. Quantidade de ração

Para atender as suposições de normalidade acerca do modelo, utilizou-se a transformação de Box-Cox e com isso a variável QRAC passou a ser $QRAC2 = \frac{QRAC^{0,14} - 1}{0,14}$. O ajuste para a quantidade de ração administrada com as variáveis de manejo foi:

$$\widehat{QRAC2} = -1,934 + 0,441Rpel - 0,039Pind + 0,483Aviv + 0,043Dinc + 0,013Dcult - 0,313AN05 - 0,249AN07 - 0,275Rpel * Pind$$

Aumenta a quantidade de ração estimada cada unidade acrescida na área do viveiro, altas densidades de estocagem e cultivos mais longos. Já as despescas realizadas em 2005 e 2007, estiveram associadas ao uso de menores quantidades de ração. Apenas na combinação ração peletizada e povoamento direto é que a quantidade de ração aumenta, nas demais combinações essa quantidade diminui em comparação com o nível de referência. Na tabela 11 encontram-se os valores das estimativas com seus respectivos erros padrões, estatísticas *t* e os valores *p* associados assim como o peso da contribuição de cada variável do modelo para a redução da deviance. As variáveis que mais influenciaram na quantidade de ração foram área do viveiro e a densidade de estocagem. Resultado este esperado uma vez que quanto maior o viveiro maior será a quantidade de pós-larvas povoadas e

quanto maior a densidade de estocagem maior será a quantidade de animais no viveiro com isso mais ração será necessária para a alimentação dos camarões.

O valor do $R^2 = 0,8503$ e do $R^2_{ajustado}$ foi 0,8471 indicando que 84,71% da variabilidade da quantidade de ração administrada foi explicada. Corroborando com este trabalho, Pessôa (2008) obteve $R^2 = 0,8449$ quando modelou quantidade de ração, selecionando as mesmas variáveis explicativas aqui utilizadas mais o mês do povoamento. Santos e Mendes (2007), estimaram a quantidade de ração através das variáveis área de viveiro, dias de cultivo, densidade de estocagem e laboratórios fornecedores de pós-larvas obtendo um índice de determinação de 0,8785.

Tabela 11 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da quantidade de ração administrada aos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro com os pesos das contribuições individuais de cada variável explicativa.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Intercepto	-1,934	0,148	-13,108	0,0006	
Rpel	0,441	0,074	5,930	0,0001	6,45%
Pind	-0,039	0,053	-0,731	0,4652	11,93%
Aviv	0,483	0,021	23,254	< 0,0010	25,25%
Dinc	0,043	0,002	21,082	< 0,0010	19,53%
Dcult	0,013	0,001	16,623	< 0,0010	9,88%
ANO5	0,313	0,051	6,129	< 0,0010	13,73%
ANO7	-0,249	0,071	-3,503	0,0005	12,81%
Rpel*Pind	-0,275	0,091	-3,002	0,0029	0,43%

Em que: Rpel – Tipo de ração (0 = Extrusada; 1 = Peletizada); Pind – Tipo de povoamento (0 = Direto; 1 = Indireto); Aviv – Área do viveiro; Dinc - Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult – Dias de cultivo; ANO5 – Ano da despesca (1 = 2005; 0 = caso contrário); ANO7 - Ano da despesca (1 = 2007; 0 = caso contrário); Rpel*Pind – Interação entre as variáveis tipo de ração e tipo de povoamento.

Foi realizada a análise de resíduos e de diagnósticos através dos gráficos exibidos na Figura 16 para verificar as suposições acerca do modelo e investigar a presença de pontos atípicos.

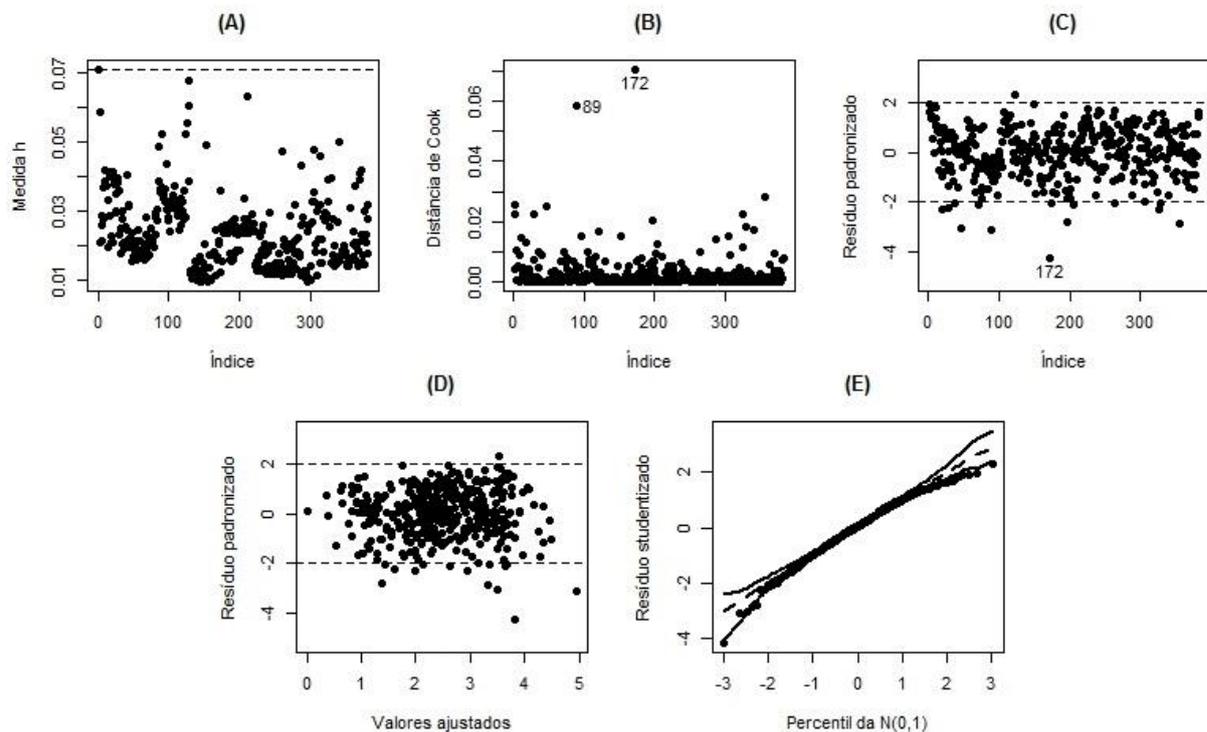


Figura 16 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da quantidade de ração administrada durante o cultivo. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

Não foram detectados possíveis pontos de alavanca (Figura 16A). As observações 89 e 172 (Figura16B) foram detectadas como possíveis pontos influentes, porém nem individualmente nem conjuntamente alteraram a inferência acerca dos parâmetros. A observação 172 (Figura16C) também foi detectada como possível ponto aberrante, seu valor transformado foi de 2,317 enquanto que seu valor estimado foi 3,822 bem distante do seu valor real. A variância pode ser considerada constante (Figura16D), pois os resíduos encontram-se distribuídos de forma aleatória em torno do zero. No gráfico quantil-quantil com envelope (Figura16E) uma vez que a maioria dos pontos encontra-se dentro da banda de confiança simulada, evidencia-se que a distribuição normal é adequada.

4.2.7. Sobrevivência (Modelo II)

Variáveis respostas que foram consideradas como respostas anteriormente, como crescimento médio semanal, produção e quantidade de ração, neste modelo foram consideradas como explicativa para estudar a relação entre elas e a sobrevivência. Para tornar atender a suposição de normalidade do modelo, fez-se uso da transformação de Box-Cox, então a variável SOB tornou-se $SOB2 = \frac{SOB^{0,424} - 1}{0,424}$. O ajuste da sobrevivência em relação a todas as variáveis disponíveis foi:

$$\widehat{SOB2} = 19,64 - 0,33FCA - 4,74CMS - 0,18PMF + 2,27PRDT - 0,15Dinc - 0,02Dcult$$

A variável produtividade tem o comportamento diretamente proporcional a sobrevivência, ou seja, a medida que uma cresce a outra também cresce. No entanto as variáveis: fator de conversão alimentar, crescimento médio semanal, peso médio final, densidade de estocagem e dias de cultivo atuam de forma inversamente proporcional à sobrevivência. Este resultado é esperado uma vez que, se a produtividade foi alta significa que muitos camarões sobreviveram. O crescimento médio semanal deve ser maior quando a densidade de estocagem é menor, pois a alta densidade implica em competição entre os animais. Arnold et al., (2005) relataram que a falta de espaço gera estresse aos camarões levando-os ao canibalismo. Densidades menores estão relacionadas com maiores índices de sobrevivência. Assim são naturalmente esperadas as estimativas negativas para o crescimento médio semanal e para a densidade de estocagem.

Como a produtividade é uma relação entre a produção por área de viveiro, a relação da sobrevivência com a área do viveiro ocorre de forma inversamente proporcional uma vez que em relação a produtividade essa relação ocorreu de forma contrária, este fato sugere que a manutenção de viveiros menores parece ser mais fácil e eficiente resultado em maiores sobrevivências. Ressalta-se ainda que, mesmo considerando variáveis zootécnicas, a densidade de estocagem e dias de cultivos continuaram sendo significativas para estimar a sobrevivência dos *Litopenaeus vannamei* cultivados.

O valor do $R^2 = 0,8858$ e o do $R^2_{ajustado}$ foi 0,884 indicando que 88,40% da variabilidade da sobrevivência dos camarões foi explicada pelas variáveis zootécnicas e de manejo. Santos e Mendes, (2007) selecionaram apenas dias de cultivo para estimar a sobrevivência do *Litopenaeus vannamei* e obtiveram $R^2 = 0,9477$. Na tabela 12 encontram-se os valores das estimativas com seus respectivos erros padrões, estatísticas t e os valores p associados assim como o peso da contribuição de cada variável do modelo para a redução da deviance. As variáveis que resultaram em maiores reduções da deviance no modelo da sobrevivência foram a densidade de estocagem (44,03%), o crescimento médio semanal (26,20%) e produtividade (20,60%). Essas variáveis em conjunto foram responsáveis por 90,83% da redução total da deviance.

Tabela 12 - Estimativas, erros padrões, estatísticas t e valores p correspondentes aos parâmetros associados ao modelo da sobrevivência dos camarões cultivados em fazendas do nordeste brasileiro levando em consideração todas as variáveis disponíveis.

	Estimativa	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Peso
Intercepto	19,645	0,587	33,449	< 0,0010	
FCA	-0,334	0,083	-4,013	< 0,0010	8,41%
CMS	-4,745	0,782	-6,069	< 0,0010	26,20%
PMF	-0,184	0,050	-3,685	< 0,0010	0,06%
PRDT	2,266	0,052	43,176	< 0,0010	20,60%
Dinc	-0,152	0,004	-36,064	< 0,0010	44,03%
Dcult	-0,023	0,005	-4,510	< 0,0010	0,70%

Em que: FCA – Fator de conversão alimentar; CMS – Crescimento médio semanal (g/semana); PMF – Peso médio final (g); PRDT – Produtividade(t); Dinc - Densidade de estocagem (n°/m^2); Dcult – Dias de cultivo.

Através dos gráficos mostrados na Figura 17, foram realizadas as análises de resíduos e de diagnósticos a fim de verificar as suposições acerca do modelo e investigar a presença de pontos atípicos. A observação 181 apresentou (Figura 17A) um fator de conversão alimentar de 0,94, uma taxa de 1,40 de crescimento semanal, sendo este o valor máximo desta variável, um peso médio final de 16,40 gramas,

produtividade de 0,77 toneladas, 15 dias de cultivo, sendo este o valor mínimo desta variável e 82 dias de cultivo. A observação 329 (Figura 17B) detectada como possível ponto influente e quando investigada não alterou a inferência dos parâmetros do modelo portanto não é considerada um ponto influente. A variância constante foi detectada no gráfico de heterocedasticidade (Figura 17D) e a adequacidade do modelo normal foi constatada pelo gráfico de quantil-quantil (Figura 17E).

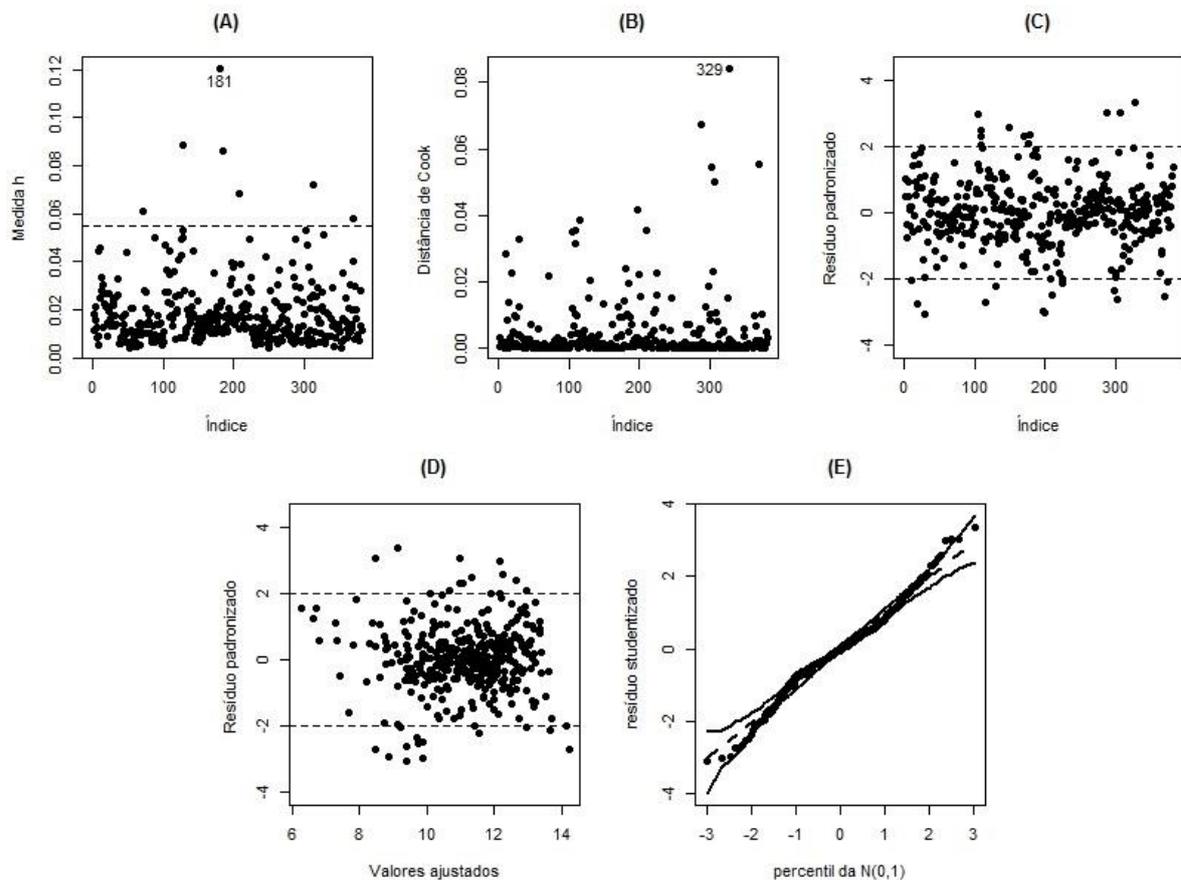


Figura 17 - Diagnósticos e resíduos referentes ao ajuste do modelo da sobrevivência, levando em conta todas as variáveis do estudo. Em que (A) – Alavancagem; (B) – Influência; (C) - Aberrantes; (D) – Heterocedasticidade; (E) – Quantil-quantil com envelope. Os pontos que mais se destacam como discrepantes são identificados com o número das observações.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho conclui-se que, apesar das suposições acerca do modelo serem atendidas, considerando apenas variáveis de manejo, existe uma fraca relação entre a sobrevivência do *Litopenaeus vannamei* e as variáveis de manejo disponíveis no estudo. A despesa de 2007, os dias de cultivo e a interação entre o tipo de ração com o tipo de povoamento são as variáveis mais importantes para este modelo. Considerando variáveis de manejo e zootécnicas, pode-se concluir que existe uma forte relação entre elas e a sobrevivência do *Litopenaeus vannamei*, com destaque para o crescimento médio semanal, a produtividade e a densidade de estocagem.

Em geral as demais variáveis zootécnicas podem ser explicadas por algumas variáveis de manejo. As variáveis mais importantes para essas modelagens foram os dias de cultivo e a densidade de estocagem dos camarões, presentes em todos os modelos selecionados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, S. J.; COMAN, F. E.; JACKSON, C. J.; GROVES, S. A. High-intensity, zero water-exchange production of juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*: An evaluation of artificial substrates and stocking density. **Aquaculture**. v. 293, p. 42–48, 2009.

BALOI, M.; ARANTES, R.; SCHVEITZER, R.; MAGNOTTI, C.; VINATEA, L. Performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. **Aquacultural Engineering**. v. 52, p. 39– 44, 2013.

BEZERRA, A. M; SILVA, J. A. A.; MENDES, P. P. Seleção de variáveis significativas em modelos de estimação dos parâmetros de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.3, p.385-391, 2006.

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

BRITO, R.; ROSAS, C.; CHIMAL, M. E.; GAXIULA, G. Effect of different diets on growth and digestive enzyme activity in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) early post-larvae. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 257-266, 2001.

CANDIDO, A. S.; MELO JÚNIOR, A. P.; SANTOS, C. H. A.; COSTA, H. J. M. S.; IGARASHI, M. A. Policultivo do camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**. v. 9, p.9-14, 2006

CASELLA, G.; BERGER, R. L. **Statistical Inference**. Pacific Groove: Duxbury/Thomson Learning, 2002.

CHAVES, L. El efecto de la salinidad sobre la osmolaridad hemolinfática de los Peneidos. **Simpósio brasileiro sobre o cultivo de camarão**. João Pessoa, p.541-547, 1989.

COOK, R. D.; WEISBERG, S. **Residuals and influence in regression**. London: Chapman and Hall, 1982.

FAO. Fishery Information, Data and Statistics Unit: **FishStat plus**: universal software for fishery statistical time series. Version 2.3, Rome: FAO, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 12 janeiro 2014.

FONSECA, S. B; MENDES, P. P.; ALBERTIM, C. J. L.; BITTENCOURT, C. F.; SILVA, J. H. V. Cultivo do camarão marinho em água doce em diferentes densidades de estocagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.1352-1358, 2009.

FRÓES C.; FÓES, G.; KRUMMENAUER, D.; Poersch, L. H.; WASIELESKY, W. J. Densidade de estocagem na engorda de camarão branco cultivado em sistema de bioflocos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.48, p.878-884, 2013.

GRANDI, E. M. V.; FILHO, N. C. **Cultivo do camarão em Santa Catarina: Panorama geral, reprodução e larvicultura**. Florianópolis: BRDE, p.101, 2004.

HUDINAGA, M. Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* bate. **Jap. J. Zoo.**, v. 10, p.87, 1942.

KUTNER, M.H.; NACHTSHEIM, C. J.; NETER, J.; LI, W. **Applied linear statistical models**. Boston : McGraw-Hill Irwin, 2005.

LIMA, R. J. W. **Análise estatística das variáveis de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)**. Monografia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G.G. **Introduction to linear regression analysis**. Hoboken: Wiley, 2012.

MARINHO-JUNIOR, M.; FONTELES-FILHO, A. A. Crescimento do camarão-cinza, *Litopenaeus vannamei*, sob um sistema de cultivo intensivo. **Arquivo de Ciências do Mar**. Fortaleza. v. 43, p. 12 – 17, 2010.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**. v. 135, p. 370-384, 1972.

NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs**. Homewwod: Rechard D. Irwin, p.842, 1974.

NUNES, A.J.P. Camarões marinhos: engenharia e logística operacional de berçários intensivos. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 25-37, 2002.

NUNES, A.J.P. **Fundamentos da engorda de camarão marinho**. Purina do Brasil, 2004.

NUNES, A. J. P., GESTEIRA, T. C. V., OLIVEIRA, G. G., LIMA, R. C., MIRANDA, P. T. C., MADRID, R. M.; **Princípios para Boas Práticas de Manejo na Engorda de Camarão Marinho no Estado do Ceará**. Instituto de Ciências do Mar (Labomar/UFC). Programa de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Estado do Ceará, Fortaleza, 2005.

NUNES, H. R.; ANDREATTA E. R. Efeito da salinidade e temperatura sobre a taxa de metamorfose de náuplios para protozoa e sobre a qualidade das larvas de *Litopenaeus vannamei*. **Atlântica**. Rio Grande, v. 33, p. 87-96, 2011.

OLIVEIRA, L. E. C.; **Carcinicultura: Panorama da Atividade e de Seu Processo Licenciatório**. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Natal, 2006.

PAULA, G.A. **Modelos de Regressão com Apoio Computacional**. São Paulo: IME/USP. Disponível em <http://www.ime.usp.br/~giapaula/texto_2013.pdf>. Acesso em: 04 março 2013.

PESSÔA, M. N. C. **Desempenho zootécnico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* cultivado com ração peletizada e extrusada**. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

ROCHA, M. M. R. M.; NUNES, M. L.; FIQUEREDO, M. I. Cultivo de Pós-Larvas de *L. vannamei*, em Berçários Intensivos. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura; Congresso Sul Americano de Aquicultura; Simpósio Brasileiro Sobre Cultivo de Camarão. Recife. **Anais**, Associação Brasileira de Aquicultura - ABRAq, p. 289 – 299, 1998.

ROCHA, I. P.; RODRIGUES, J.; AMORIM, L. Aquicultura Brasileira em 2003. **Revista da ABCC**. Recife, Ano 6, nº1, p.30-36, 2004.

RUIZ-VELAZCO, J. M. J.; ESTRADA-PÉREZ, M.; HERNÁNDEZ-LLAMAS, A.; NIETO-NAVARRO, J. T.; PEÑA-MESSINA, E. Stock model and multivariate analysis for prediction of semi-intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* as a function of water quality and management variables: A stochastic approach. **Aquacultural Engineering**. v.53, p.34-41, 2013

SALDANHA, A. C. A. **Adaptação da tilápia vermelha (híbrido de *Oreochrom spp.*), em água salgada natural e artificial**. Monografia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2000.

SANCHEZ-ZAZUETA, E.; HERNÁNDEZ, J. M.; MARTINEZ-CORDERO, F. J. Stocking density and date decisions in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) farming: a bioeconomic approach. **Aquaculture Research**. v. 44, p. 574–587, 2013.

SANTOS, B. L. S.; MENDES, P. P. Análise estatística das variáveis de cultivo do camarão-cinza *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**. v. 2, p. 128-142, 2007.

SANTOS, C. H. A.; LOURENÇO, J. A.; BAPTISTA, R. B.; IGARASHI, M. A. Crescimento e sobrevivência do camarão-branco do pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em diferentes salinidades. **Ciência Animal Brasileira**. v. 10, p. 783-789, 2009.

SANTOS, C. H. A.; LOURENÇO, J. A.; COSTA, H. J. M. dos S.; IGARASHI, M. A. Avaliação do ganho de peso de pós-larvas do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), alimentados com peixes da fauna acompanhante do camarão marinho. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, p. 7-15, 2007.

SCHWARZ, G. E. Estimating the dimension of a model. **Annals of Statistics**. v.6, p. 461–464, 1978.

SILVA, A. F.; LARA, G. R.; BALLESTER, E. C.; KRUMENNAUER, D.; ABREU, P. C.; WASIELESKY, W. J. Efeito das altas densidades de estocagem no crescimento e sobrevivência de *Litopenaeus vannamei* na fase final de engorda, cultivados em sistemas de bioflocos (BFT). **Ciência animal brasileira**. Goiânia, v.14, p. 279-287, 2013.

SPANGHERO, D. B. N.; SILVA, U. L.; PESSÔA, M. N. C.; Emília Carolina Alencar de MEDEIROS, E. C. A.; OLIVEIRA, I. R.; MENDES, P. P. Utilização de modelos estatísticos para avaliar dados de produção do camarão *Litopenaeus vannamei* cultivados em águas oligohalina e salgada. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. Maringá, v. 30, p. 451-458, 2008.

XIMENES, N.P. **Aplicação de modelos lineares na estimação dos parâmetros do cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)**. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.