



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E
MORFOMÉTRICAS DO CAMARÃO *PENAEUS VANNAMEI*
POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS**

ROSYLAINE DE JESUS BARBOSA



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

ROSYLAINE DE JESUS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E MORFOMÉTRICAS
DO CAMARÃO *PENAEUS VANNAMEI* POR MEIO DE ANÁLISE DE
COMPONENTES PRINCIPAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Leandro Teixeira Barbosa
Co-orientador
Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

B238a Barbosa, Rosylaine de Jesus.
Avaliação de características de desempenho e morfológicas do camarão *penaeus vannamei* por meio de análise de componentes principais / Rosylaine de Jesus Barbosa; orientador Leandro Teixeira Barbosa. – São Cristóvão, SE, 2025.
f.; il.

Tese (doutorado em Agricultura e Biodiversidade) –
Universidade Federal de Sergipe, 2025.

1. Agrobiodiversidade. 2. Camarões - Criação. 3. Camarões –
Registro de desempenho. 4. Análise de componentes principais. 5.
Análise multivariada. I. Barbosa, Leandro Teixeira, orient. II. Título.

CDU 639.512

ROSYLAINE DE JESUS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E MORFOMÉTRICAS
DO CAMARÃO *PENAEUS VANNAMEI* POR MEIO DE ANÁLISE DE
COMPONENTES PRINCIPAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

APROVADA em 27 de Agosto de 2025.

Dr. Claudson Oliveira Brito	(UFS)
Dr. Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira	(UFS)
Dr. Jefferson Wayne da Silva Cartaxo	(SENAR)
Dr(a). Maise dos Santos Macario	(UNINASSAU)

Prof. Dr. Leandro Teixeira Barbosa

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

Dedico este trabalho à minha família, alicerce da minha vida, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidei.

Ao meu namorado e aos amigos que caminharam ao meu lado, celebrando as conquistas e oferecendo conforto nos momentos difíceis.

E, especialmente, a todos que me inspiraram a persistir, mesmo diante dos maiores desafios.
Dedico

AGRADECIMENTOS

A jornada do doutorado é repleta de desafios, descobertas e crescimento. Chegar até aqui só foi possível graças ao apoio, incentivo e colaboração de muitas pessoas e instituições, às quais sou profundamente grata.

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedidas ao longo dessa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leandro Teixeira Barbosa, pela confiança, orientação segura, paciência e incentivo constante. Sua dedicação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação acadêmica e profissional.

Aos membros do grupo de pesquisa e colegas de laboratório, pelo companheirismo, pelas discussões científicas enriquecedoras e pela ajuda prática em todas as etapas da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade da Universidade Federal de Sergipe, pela estrutura e oportunidade de crescimento acadêmico.

À agência de fomento Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec), pelo apoio financeiro, sem o qual esta pesquisa não teria sido possível.

Ao Senhor Roberto Santos e à Dona Paulina das unidades de cultivo e coleta de dados, pelo suporte técnico e operacional imprescindível ao trabalho de campo.

À minha família, especialmente meus pais Geraldo Felix Barbosa e Vilma Maria de Jesus Barbosa. Às minhas irmãs Nilsylaine de Jesus Barbosa e Yslaine de Jesus Barbosa, e meu namorado Rafael Matos da Conceição por todo amor, compreensão e incentivo incondicional em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Aos amigos que fizeram parte desta trajetória, pelas palavras de encorajamento, pelas conversas leves e pelas risadas que aliviaram a pressão do caminho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade, meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

Rosylaine de Jesus Barbosa, filha de Geraldo Felix Barbosa e Vilma Maria, é natural de Aracaju, Sergipe. Graduiu-se em Zootecnia (Bacharelado) pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) em 2010. Concluiu o Mestrado em Zootecnia, na área de Produção Animal, pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Sergipe, no ano de 2012.

Durante o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, da Universidade Federal de Sergipe, desenvolveu pesquisas voltadas à aplicação da análise de componentes principais ao desempenho zootécnico de *Penaeus vannamei* em sistema intensivo, com ênfase em estatística multivariada aplicada à aquicultura.

Possui experiência nas áreas de produção de monogástrico (aves e suínos), cultivo de organismos aquáticos, ensino.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Carcinicultura no contexto da aquicultura	3
2.2. Características biológicas de <i>Penaeus vannamei</i>	3
2.3. Desempenho em Viveiros Escavados	5
2.4. Fatores que Influenciam o Desempenho de <i>Penaeus vannamei</i>	7
2.5. Impacto do Melhoramento Genético no Desempenho	7
2.6. Desenvolvimento Ontogenético e Desempenho em Diferentes Idade	8
2.7. Características biométricas e sua importância na avaliação do desempenho zootécnico	9
2.8. Análise de Componentes Principais (ACP) como ferramenta na aquicultura	9
2.9. Aplicações da ACP na Avaliação de Desempenho Animal	10
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
4. ARTIGO 1: AVALIAÇÃO DE CARACTERISTICAS DE DESEMPENHO E MORFOMÉTRICAS DO CAMARÃO <i>PENAEUS VANNAMEI</i> EM DIFERENTES IDADES POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	15
Resumo	15
4.1. Introdução	15
4.2. Material e Métodos	17
4.2.1 Área de Estudo e Delineamento Experimental	17
4.2.2 Manejo dos Animais e despesca	17
4.2.3 Coleta de Dados e Parâmetros Avaliados	18
4.2.4 Análise Estatística	18
4.3. Resultados	18
4.4. Discussão	19
4.5. Conclusões	22
4.6. Referências Bibliográficas	22
5. ARTIGO 2: AVALIAÇÃO DE CARACTERISTICAS DE DESEMPENHO E MORFOMÉTRICAS DO CAMARÃO <i>PENAEUS VANNAMEI</i> EM DIFERENTES LINHAGENS POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	28
Resumo	28
5.1. Introdução	28
5.2. Material e Métodos	29
5.2.1 Local de Estudo e Desenho Experimental	30
5.2.2 Preparo dos Viveiros e Povoamento	30
5.2.3 Manejo da Qualidade da Água	30
5.2.4 Alimentação e Biometria	31
5.2.5 Análise Estatística	31
5.3. Resultados	32
5.4. Discussão	33
5.5. Conclusões	34
5.6. Referências Bibliográficas	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40

LISTA DE FIGURAS

2. REVISÃO DE LITERATURA

Figura		Página
1	Morfologia externa do camarão-cinza	4
2	Ciclo de vida e fases larvais do camarão-cinza	5
3	Etapas da produção do camarão-cinza e fases presentes nos sistemas de cultivo mono (azul), bi (laranja) e trifásico (verde)	6

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Variação da análise de componente principal em função dos dois primeiros componentes com as variáveis analisadas	26
2	Boxplot do desempenho (PC1) por Lote	26
3	Boxplot do desempenho (PC1) por Idade de Abate	27
4	Contribuição das variáveis no primeiro componente principal	27

ARTIGO 2

Figura		Página
1	Componente principal em função contribuição de cada ACPs.....	37
2	PC1 x PC2 comparando linhagens e idades de abate para variáveis morfométrica e desempenho global.....	37
3	Comparação de desempenho entre as Linhagens	38
4	Comparação de desempenho entre as Linhagens	38
5	Contribuição de cada variável ao PC1 e PC2.	39

LISTA DE TABELAS**ARTIGO 1**

Tabela		Página
1	Autovalores dos componentes principais e a variância explicativa.....	25

ARTIGO 2

Tabela		Página
1	Autovalores dos componentes principais e a variância explicativa (duas linhagens).....	36
2	Contribuição das características nos componentes.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCC	Associação Brasileira de Criadores de Camarão
ACP	Análise de Componente Principal
AHPND	Vírus da Necrose Hepatopancreática Aguda
CAb	Comprimento do Abdômen (cm)
CCe	Comprimento do Cefalotórax (cm)
CP	Componente Principal
CT	Comprimento Total (cm)
FAO	Food and Agriculture Organization
FCA	Fator de Conversão Alimentar
PAb	Peso do Abdômen (g)
PCe	Peso do Cefalotórax (g)
PCR	Regressão em Componentes Principais
PF	Peso do Filé (g)
PLS	Regressão por Mínimos Quadrados Parciais
PR	Peso Resfriado
PV	Peso Vivo (g)
WSSV	Síndrome da Mancha Branca

RESUMO

BARBOSA, Rosylaine de Jesus. **Avaliação de características de desempenho de *Penaeus vannamei* em diferentes idades e diferentes linhagens criadas em viveiros escavados por meio de análise de componentes principais.** São Cristóvão: UFS, 2025. 56p. (Tese – Doutorado em Agricultura e Biodiversidade). *

O cultivo do camarão marinho *Penaeus vannamei* representa um setor de grande relevância econômica e social, exigindo constante otimização dos sistemas de produção. A avaliação do desempenho zootécnico é um processo complexo, que envolve a medição de múltiplas características biométricas correlacionadas, dificultando a identificação de indicadores práticos e a tomada de decisão eficiente. Esta tese de doutorado teve como objetivo principal avaliar as variáveis de desempenho e morfométricas do *Penaeus vannamei* em diferentes idades e linhagens, cultivados em viveiros escavados, utilizando a Análise de Componentes Principais (ACP) como ferramenta estatística para sintetizar a informação e identificar os principais fatores de variação. A pesquisa foi estruturada em dois artigos, nos quais a ACP demonstrou ser uma metodologia robusta e eficaz. Em ambos os estudos, a técnica foi capaz de reduzir a dimensionalidade dos dados, concentrando a maior parte da variância total em um único índice de desempenho global, o Primeiro Componente Principal (PC1), que explicou consistentemente mais de 82% da variação observada. Este resultado estabelece que o desempenho do camarão é um fenômeno predominantemente unidimensional, simplificando a abordagem para o manejo e o melhoramento genético. O Artigo 1 focou na avaliação do desempenho em diferentes idades de cultivo. Os resultados indicaram que o Comprimento Total (CT) é o indicador biométrico de maior contribuição para o PC1, sendo, portanto, o mais eficiente para o monitoramento de rotina nas fazendas. Além disso, o Peso do Filé (PF) foi identificado como a característica de desempenho mais relevante, refletindo sua importância como um atributo de qualidade do produto final e um indicador abrangente de crescimento. A análise também revelou que os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) foram responsáveis por 95,91% da variância total. O Artigo 2 abordou a avaliação do desempenho em diferentes linhagens e idades de colheita. A ACP sintetizou as nove variáveis biométricas, com o Peso Vivo (PV) sendo a variável mais representativa do índice de desempenho global (PC1, explicando 84,15% da variância). O achado de maior impacto prático foi a constatação de que o desempenho zootécnico aos 45 dias de cultivo é comparável ao desempenho aos 60 dias. Esta descoberta sugere a possibilidade de antecipação da colheita, configurando-se como uma estratégia de manejo mais econômica e eficiente, capaz de reduzir custos operacionais, diminuir o tempo de exposição a riscos sanitários e aumentar a produtividade anual da carcinicultura. Em conclusão, esta tese valida a ACP como uma ferramenta poderosa para a discriminação de desempenho e a tomada de decisões na aquicultura. Mais significativamente, a tese oferece uma base científica para a antecipação da colheita para 45 dias, promovendo maior sustentabilidade e rentabilidade para o setor. As informações geradas são fundamentais para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético mais eficientes e para a consolidação de um manejo mais ágil e cientificamente embasado.

Palavras-chave: Aquatec resistência, análise multivariada, camarão cinza, Nordeste, peso vivo.

* Comitê Orientador: Leandro Teixeira Barbosa – UFS (Orientador), Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira –UFS (Co-orientador).

ABSTRACT

BARBOSA, Rosylaine de Jesus. **Evaluation of performance characteristics of *Penaeus vannamei* at different ages and different strains raised in excavated ponds using principal component analysis.** São Cristóvão: UFS, 2025. 56p. (Thesis - Master/Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity).*

The cultivation of the marine shrimp *Penaeus vannamei* represents a sector of great economic and social relevance, requiring constant optimization of production systems. The evaluation of zootechnical performance is a complex process that involves the measurement of multiple correlated biometric characteristics, hindering the identification of practical indicators and efficient decision-making. This doctoral thesis aimed to evaluate the performance and morphometric variables of *Penaeus vannamei* at different ages and strains, cultivated in excavated ponds, using Principal Component Analysis (PCA) as a statistical tool to synthesize information and identify the main factors of variation. The research was structured in two articles, in which PCA proved to be a robust and effective methodology. In both studies, the technique was able to reduce the dimensionality of the data, concentrating most of the total variance in a single overall performance index, the First Principal Component (PC1), which consistently explained more than 82% of the observed variation. This result shows that shrimp performance is a predominantly one-dimensional phenomenon, simplifying the approach to management and genetic improvement. Article 1 focused on evaluating performance at different cultivation ages. The results indicated that Total Length (TL) is the biometric indicator with the greatest contribution to PC1, and is, therefore, the most efficient for routine monitoring on farms. Furthermore, Fillet Weight (FW) was identified as the most relevant performance characteristic, reflecting its importance as a quality attribute of the final product and a comprehensive indicator of growth. The analysis also revealed that the first two principal components (PC1 and PC2) accounted for 95.91% of the total variance. Article 2 addressed the evaluation of performance in different strains and harvest ages. PCA synthesized the nine biometric variables, with Live Weight (LW) being the most representative variable of the overall performance index (PC1, explaining 84.15% of the variance). The most impactful finding in practical terms was the observation that zootechnical performance at 45 days of cultivation is comparable to performance at 60 days. This discovery suggests the possibility of anticipating the harvest, which constitutes a more economical and efficient management strategy, capable of reducing operational costs, decreasing the time of exposure to sanitary risks, and increasing the annual productivity of shrimp farming. In conclusion, this thesis validates PCA as a powerful tool for performance discrimination and decision-making in aquaculture. More significantly, the thesis offers a scientific basis for the anticipation of harvest to 45 days, promoting greater sustainability and profitability for the sector. The information generated is fundamental for the development of more efficient genetic improvement programs and for the consolidation of more agile and scientifically based management.

Key-words: Aquatec resistance, gray shrimp, main component, Northeast, live weight.

* Guidance Committee: Nome do orientador (Advisor), Nome do co-orientador (Adjunct advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui mais de 1.545 empreendimentos de criação de camarão que variam de acordo com a exigência de mercado e o poder aquisitivo, predominando micro e pequenas empresas, correspondendo a quase 80% da produção nacional. Porém, as grandes empresas conseguem ter maior poder de mercado local e internacional, com produção de aproximadamente 59% (ABCC, 2017).

O Nordeste concentra 99,63% da produção nacional de camarão, destacando-se os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará como os principais produtores, responsáveis por 83,53% da produção brasileira em 2014. Na sequência, aparecem os estados da Bahia, Pernambuco, Piauí, Sergipe e Paraíba, que, em conjunto, representam 16,10% da produção nacional (ABCC, 2017; Torres, 2015).

Esse protagonismo da Região Nordeste relaciona-se às suas extensas áreas costeiras, que oferecem condições ambientais favoráveis ao cultivo de camarão, bem como à maior facilidade no manejo sanitário. Ademais, a região apresenta domínio consolidado de tecnologias voltadas à reprodução, à produção de larvas e ao manejo de engorda da espécie *Penaeus vannamei* (Rocha, 2013).

O *Penaeus* (*P.*) *vannamei*, conhecido como camarão-branco-do-Pacífico, camarão-marinho ou camarão-cinza, é um crustáceo pertencente à família *Penaeidae*, a qual reúne cerca de 26 gêneros e aproximadamente 216 espécies. Trata-se de uma espécie nativa da região do Pacífico, distribuída ao longo do litoral sul-americano, do Peru ao México. O *P. vannamei* apresenta ampla aceitação no mercado, em razão de sua elevada adaptabilidade a diferentes condições ambientais, além de boa taxa de crescimento e elevada uniformidade produtiva (Nunes; Madrid; Andrade, 2011).

Essa espécie é capaz de completar seu ciclo de vida em ambientes diversificados, devido à sua elevada tolerância a variações de salinidade. Essa característica possibilita seu desenvolvimento tanto em áreas estuarinas e manguezais quanto em ambientes de água doce ou salgada, em faixas que variam de 0 a 50 ppt, evidenciando sua ampla plasticidade ambiental (Samocha *et al.*, 2002).

Para entender o desenvolvimento desses animais, faz-se necessário avaliar as características biométricas, tais como: peso vivo (g), peso resfriado (g), peso do cefalotórax (g), peso do abdômen (g), peso da cauda (g), peso da porção descartada (g), peso do abdômen sem casca (g), e também o comprimento do cefalotórax (cm), comprimento total que consiste na distância horizontal entre o rostro e o télson (cm), comprimento do abdômen (cm), comprimento da cauda (cm) e relação cefalotórax abdômen (cm). As análises biométricas periódicas permitem avaliar o crescimento dos animais e, caso necessário, ajustar o manejo no sistema de criação (Barbieri Junior; Ostrensky Neto, 2002).

Nesse contexto, a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica de redução de dimensionalidade que transforma um conjunto de variáveis originais, possivelmente correlacionadas, em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas, chamadas componentes principais (CPs). O objetivo principal da ACP é capturar a maior parte da variância total dos dados nos primeiros componentes, propiciando uma representação mais concisa e interpretável do conjunto de dados original (Li; Boyd; Odom, 2014).

Matematicamente, a ACP envolve o cálculo dos autovalores e autovetores da matriz de covariância ou correlação dos dados. Os autovetores representam as direções dos componentes principais, enquanto os autovalores indicam a quantidade de variância explicada por cada componente (Guo; Li; Xie, 2021).

A ACP caracteriza-se como uma técnica estatística multivariada que transforma um conjunto de variáveis mensuradas em um novo conjunto de variáveis, denominadas componentes principais. Esses componentes apresentam propriedades relevantes, pois resultam de combinações lineares das variáveis originais, são mutuamente independentes entre si e são estimados de modo a reter, de forma maximizada, a informação associada à variância total dos

dados (Varella, 2008). Nesse sentido, a ACP oportuniza a redução da massa de dados com o mínimo de perda de informação, redistribuindo a variabilidade originalmente presente nos eixos iniciais até a obtenção de um conjunto reduzido de eixos ortogonais e não correlacionados, facilitando a interpretação do conjunto de dados (Hongyu; Sandanielo; Oliveira Junior, 2016).

Com as devidas adaptações, a ACP tem sido aplicada a diferentes tipos de dados, incluindo dados binários, ordinais, composicionais, discretos, simbólicos e àqueles que apresentam estruturas especiais, como séries temporais ou conjuntos de dados com matrizes de covariância comuns. Nesse âmbito, a ACP desempenha um papel relevante quando comparada a outros métodos estatísticos, como a regressão linear e as técnicas de agrupamento simultâneo de indivíduos e variáveis (Jolliffe; Cadima, 2016).

Segundo Regazzi e Cruz (2020), a análise multivariada foi desenvolvida para resolver problemas específicos, mas podem ser utilizadas para vários tipos de avaliações e problemas relacionados à redução da dimensionalidade de dados, que agrupa os indivíduos (observações) pelas similaridades e normalmente é aplicada em áreas diversas como: Engenharia Agrônoma, Zootecnia, Medicina Veterinária, Ecologia, Biologia, Engenharia Florestal, Psicologia, Matemática etc.

A análise exploratória por meio da ACP possibilita identificar a presença ou ausência de amostras anômalas, bem como avaliar as relações entre as variáveis mensuradas e os possíveis agrupamentos entre as amostras. Trata-se de uma das técnicas mais eficientes para fins de classificação e exploração de dados multivariados, servindo, inclusive, como base para outros métodos estatísticos derivados, tais como a modelagem independente por analogia de classes, a regressão em componentes principais (PCR) e a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) (Lyra *et al.*, 2010).

A principal característica deste novo conjunto é a ortogonalidade, contudo é facilmente reconstruído a partir da combinação linear das variáveis originais (espectros). Como vantagem, o novo conjunto de variáveis (CPs), geralmente concentra a maior parte da informação (variância) em poucas variáveis, diminuindo a dimensionalidade dos dados, sem perda significativa da informação (Sabin; Ferrão; Furtado, 2004).

A ACP tem como objetivo principal a redução da dimensionalidade de dados, são funções lineares que tendem a explicar a variância total, com pressuposições não requeridas apresenta valores únicos (Dornelles *et al.*, 2015). Consoante Regazzi e Cruz (2020), a ACP é primordial para elucidar a relação de medidas corporais e o descarte de características em forma de variáveis, após realização da correlação com outras variáveis que são analisadas. Cada variável original associa-se a um componente principal por meio de vetores (cargas fatoriais), cujo valor absoluto indica o grau de contribuição da variável para a formação do componente. A partir dessa relação, torna-se possível identificar as variáveis originais com menor relevância explicativa, uma vez que aquelas associadas a baixos percentuais da variância total tendem a apresentar maiores coeficientes nos últimos componentes, podendo, portanto, ser descartadas sem prejuízo significativo à interpretação dos dados (Morrison, 2005).

Diante dessas considerações, a aplicação da ACP mostra-se uma ferramenta estratégica para auxiliar os produtores na compreensão dos parâmetros associados ao desempenho zootécnico dos animais, sobretudo aqueles relacionados às características biométricas diretamente vinculadas ao seu desenvolvimento. Ademais, considerando a grande quantidade de variáveis passíveis de avaliação, é necessário reduzir a dimensionalidade dos dados por meio da comparação entre essas características e da identificação dos componentes principais mais representativos. Essa abordagem propicia maior precisão na interpretação dos resultados, contribuindo para a otimização do manejo e para a redução do tempo de produção. Outrossim, o presente estudo reveste-se de relevância para o meio acadêmico, posto que a produção de camarão ainda constitui uma área pouco explorada sob essa perspectiva analítica, demandando investigações que subsidiem tanto o avanço científico quanto a prática produtiva.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Carcinicultura no contexto da aquicultura

A aquicultura representa um setor de crescente importância na produção global de alimentos, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar e no desenvolvimento econômico de diversas nações. Entre as diversas atividades aquícolas, a carcinicultura, ou o cultivo de camarões, destaca-se como uma das mais dinâmicas e economicamente relevantes.

A carcinicultura representou 9,53% da produção aquícola nacional em 2016, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). O *P. vannamei* (anteriormente conhecido como *Litopenaeus vannamei*), também denominado camarão-branco-do-Pacífico, destaca-se como a espécie dominante na carcinicultura mundial.

Sua popularidade é decorrente de uma combinação de fatores, tais como: alta taxa de crescimento, eficiência na conversão alimentar, alta adaptabilidade, a rapidez no crescimento, a ampla faixa de tolerância de salinidades e densidades de estocagem e relativa resistência a doenças em comparação com outras espécies de camarões (Briggs *et al.*, 2004; Costa, 2004; Mendes Filho *et al.*, 2024).

Em 2016, a produção mundial foi de 4,1 milhões de toneladas, equivalendo a 53% da produção dos crustáceos, o que representa grande relevância para o Brasil e para o mundo (FAO, 2018). Outro fator deve-se à boa adaptação a diferentes ambientes de cultivo, desde sistemas intensivos em tanques até viveiros escavados em áreas costeiras e interiores, contribuindo significativamente para sua disseminação e sucesso global.

No Brasil, a carcinicultura é uma atividade consolidada, com o Nordeste sendo a principal região produtora. Estados como Ceará, Rio Grande do Norte e Sergipe possuem uma infraestrutura desenvolvida para o cultivo de *P. vannamei*, gerando empregos e divisas para a economia local (ABCCAM, 2024).

O Nordeste apresenta extensa zona costeira, além de condições climáticas, hidrológicas e topográficas favoráveis ao cultivo de camarão (Castro; Pagani, 2004). Nesse prisma, a região foi precursora nos estudos e testes voltados à produção e à viabilidade do cultivo do gênero *Penaeus* no início da década de 1970, o que teve papel fundamental na implantação e no desenvolvimento da carcinicultura no Brasil (Natori *et al.*, 2011). Esses estudos evidenciaram que o *P. vannamei* era a espécie mais adequada para o cultivo, em razão de sua rusticidade, elevada adaptabilidade, rapidez no crescimento e ampla faixa de tolerância à salinidade, entre outros fatores (Costa, 2004).

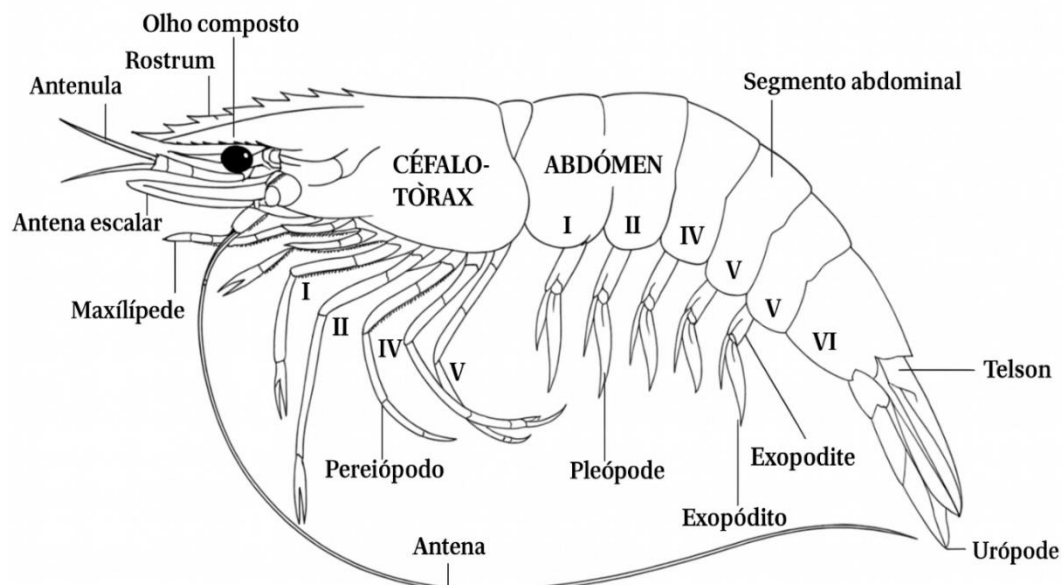
2.2 Características biológicas de *Penaeus vannamei*

O *P. vannamei* é um crustáceo decápode pertencente à família *Penaeidae*, nativo das águas costeiras do Pacífico Oriental, distribuído desde o México até o Peru, em regiões onde a temperatura da água geralmente se mantém acima de 20 °C ao longo do ano (FAO, 2019). Além de sua ampla distribuição geográfica, o conhecimento de suas características biológicas é essencial para compreender seu desempenho em sistemas de cultivo.

Nesse sentido, é importante considerar as particularidades biológicas do camarão, que apresenta comportamento gregário, pertence ao filo dos artrópodes e possui simetria bilateral. Seu corpo é segmentado e dividido em cefalotórax, abdômen e cauda, sendo o abdômen alongado e dotado de dez apêndices locomotores. Ademais, a espécie apresenta hábito bentônico, com preferência por permanecer no fundo do viveiro, característica relevante para o manejo e a alimentação em sistemas de criação (Tahim; Damaceno; Araújo, 2019).

Morfológicamente, o camarão-marinho apresenta o corpo formado por cefalotórax (junção da cabeça e tórax) e pelo abdômen formado por segmentos. Na região do cefalo estão os olhos, o rostrum e os pares de antênulas e antenas. No tórax, é possível ver três pares de maxilípedes (utilizado para alimentação) e cinco pares de pereiópodos (para locomoção) (Dugassa; Gaetan, 2018) (Figura 1).

Figura 1 – Morfologia externa do camarão-cinza



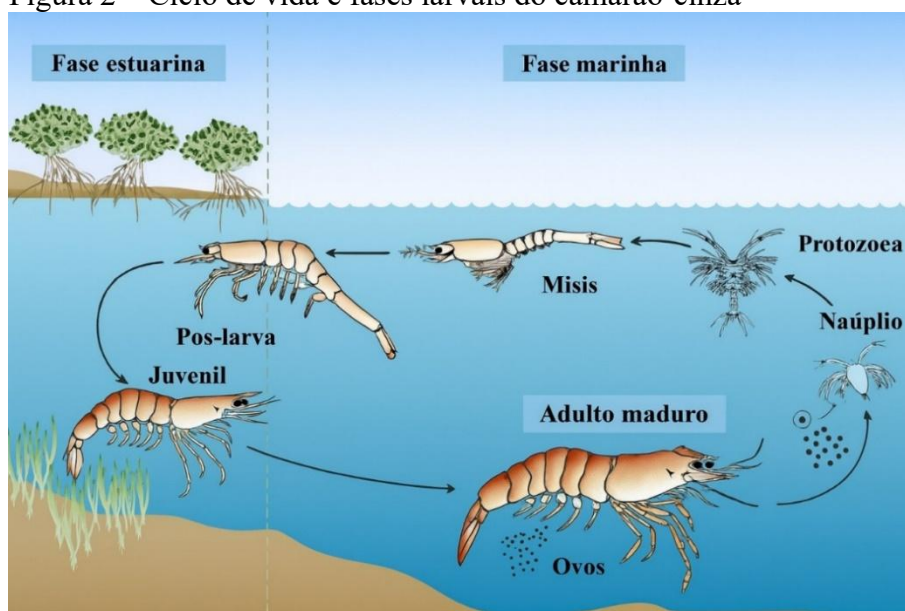
Fonte: adaptado de Sucharitha e Jyothi, (2013).

Uma das características biológicas mais notáveis do *P. vannamei* é sua eurihalinidade, ou seja, a capacidade de tolerar e desenvolver-se em uma ampla faixa de salinidades, desde águas marinhas (30-35‰) até águas oligohalinas (0,5-5‰) e, em alguns casos, até mesmo água doce (Mendes Filho *et al.*, 2024).

Essa tolerância osmótica é um diferencial competitivo que permite o cultivo da espécie em diversas regiões geográficas, incluindo áreas distantes do litoral, onde a disponibilidade de água salgada é limitada. A temperatura da água também é um fator ambiental crítico, com a faixa ótima para o crescimento do *P. vannamei*, geralmente situando-se entre 28°C e 32°C (Nogueira *et al.*, 2021).

O camarão-cinza habita principalmente mares rasos em região tropical e subtropical e, quando adultos, desovam e vivem em alto mar. Seu ciclo de vida é dividido em estágios larvais (náuplio, zoea, mysis), pós-larvas e juvenis, até atingir a fase adulta. O náuplio é o primeiro estágio larval, no qual os animais se nutrem de seu próprio alimento (vitelo). O segundo estágio larval é protozoea/zoea. Nessa etapa, a larva alonga o corpo, formando o cefalotórax e, sua principal alimentação são pequenas partículas, com tamanho menores que 10 micrômetros. O último estágio larval é a mysis/mysis. Essa é a fase em que o animal assume a forma semelhante ao camarão juvenil e os pleópodes começam a se desenvolver. Posteriormente, os animais tornam-se pós-larva, apresentam formato corporal e comportamento de um camarão adulto. Ao atingir a forma de pós-larva, ocorre a transição da fase marinha para estuária, com a finalidade de passar para o estágio de juvenis e subadultos em estuários costeiros, lagoas ou áreas de mangue (FAO, 2019; Ribeiro, 2017; Senar, 2016) (Figura 2).

Figura 2 – Ciclo de vida e fases larvais do camarão-cinza



Fonte: adaptado de Ward (2011).

As pós-larvas, quando cultivadas para fins comerciais, são comercializadas e alojadas em berçário. Geralmente, os produtores utilizam um cultivo intermediário nessa fase, no qual as pós-larvas são colocadas em viveiros por cerca de 30 dias e, na sequência, transferidas para os viveiros de engorda. Ao chegarem às fazendas, os camarões juvenis são liberados em viveiros, onde permanecem até alcançar o tamanho e o peso ideais para a comercialização. Por fim, ocorre a despesca, que consiste na retirada da água dos tanques, seguida da coleta e do abate dos camarões (Senar, 2016).

O cultivo pode ser classificado em mono, bi ou trifásico, dependendo de quantas etapas é dividido o processo produtivo. No cultivo monofásico, as pós-larvas provenientes da larvicultura são estocadas diretamente nos viveiros de engorda e são mantidas lá até a despesca final dos camarões. O cultivo bifásico é dividido em duas fases: o berçário e a engorda, e as pós-larvas também são oriundas da larvicultura realizada por empresas especializadas. No cultivo trifásico, as etapas são: larvicultura, berçário e engorda, adotados normalmente por grandes empresas (Ribeiro *et al.*, 2014).

O manejo adequado em cada estágio é crucial para o sucesso da produção. As pós-larvas são estocadas nos viveiros de engorda, permanecendo por um período que varia de 60 a 120 dias, dependendo do peso de abate desejado. Durante esse tempo, os camarões alimentam-se de rações comerciais balanceadas, complementadas por organismos naturais presentes no viveiro, como algas e detritos (Maia *et al.*, 2012).

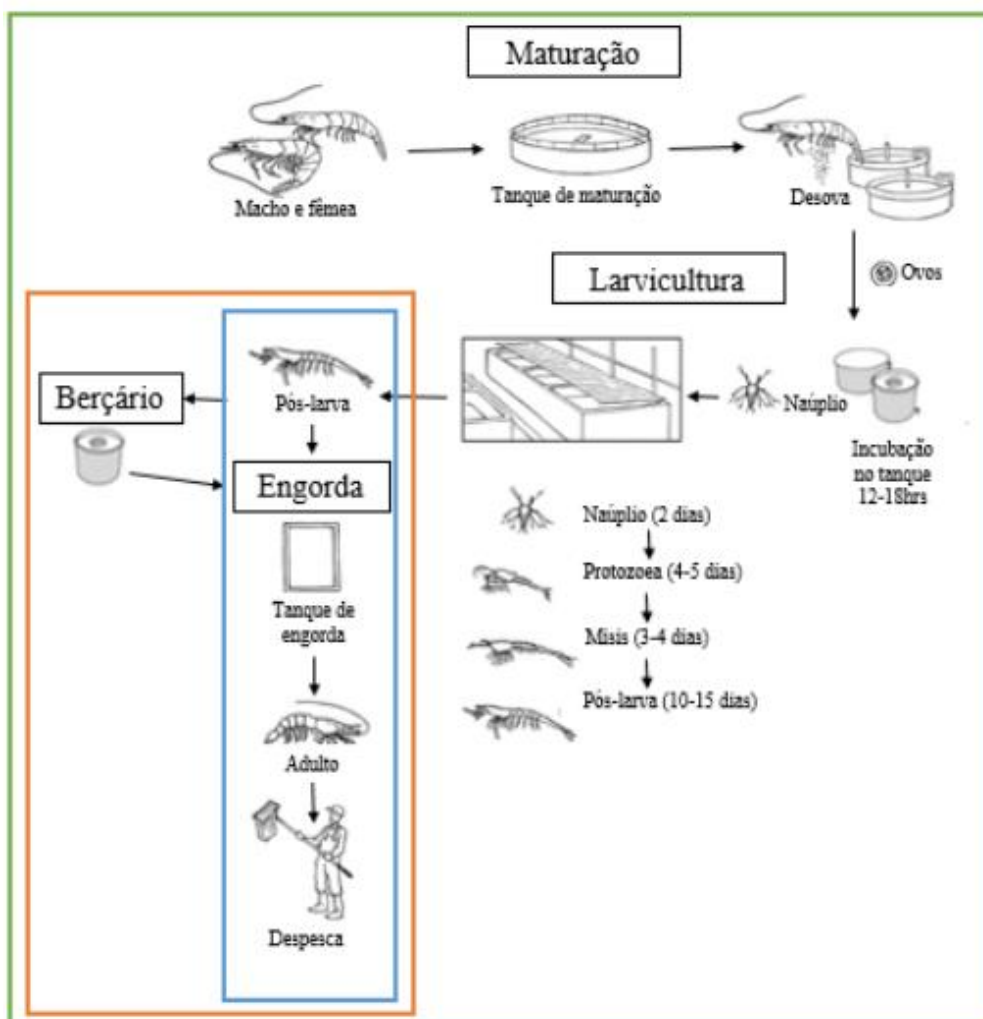
O desempenho de *P. vannamei* em sistemas de cultivo depende de vários fatores, como manejo nutricional, qualidade da água, genética e práticas de manejo. A otimização de condições ambientais e o uso de tecnologias de cultivo inovadoras têm sido foco de intenso estudo nos últimos anos, visando melhorar a produtividade e a sustentabilidade da carcinicultura.

2.3 Desempenho em Viveiros Escavados

Existem diferentes sistemas de cultivo do camarão-cinza empregados mundialmente, incluindo viveiros escavados diretamente no solo, tanques de concreto, gaiolas flutuantes e cercados. Os cultivos são separados por etapas, que são: larvicultura, berçário, engorda e despesca, e cada um tem preferência por um tipo de sistemas de criação. A larvicultura é responsável pela produção de pós-larvas (Ribeiro *et al.*, 2014), iniciando-se com a maturação, acasalamento e desova. Em tanques apropriados, os machos e as fêmeas são mantidos juntos até o acasalamento. Em seguida, as fêmeas ovadas são separadas e colocadas em tanques de

desova. Após a eclosão, os náuplios são transferidos para tanques de larvicultura e permanecem lá até atingirem o estágio de pós-larva (Figura 3) (Dugassa; Gaetan, 2018; Senar, 2016).

Figura 3 – Etapas da produção do camarão-cinza e fases presentes nos sistemas de cultivo mono (azul), bi (laranja) e trifásico (verde)



Fonte: adaptado de FAO (2019).

Os viveiros escavados representam o sistema de cultivo mais comum para *P. vannamei* no Brasil e em diversas outras regiões do mundo, sendo caracterizados por grandes extensões de terra e baixa profundidade de água. Esses viveiros dependem da produtividade natural do ambiente, complementada pela aeração e pela adição de ração. O desempenho dos camarões nesse sistema é influenciado por uma complexa interação de fatores ambientais, de manejo e genéticos (Rocha, 2020).

Nessa linha, considerando tais aspectos, a técnica de cultivo mais usada no Brasil é a semi-intensiva. O clima favorável, a ampla disponibilidade de recursos hídricos e os avanços tecnológicos contribuem para a adoção desse modelo de produção (Ribeiro *et al.*, 2014).

O desempenho produtivo em viveiros escavados é avaliado por meio de diversas métricas, incluindo taxa de sobrevivência, taxa de crescimento diário, peso médio final, produtividade por área e fator de conversão alimentar. A otimização desses parâmetros é o objetivo principal dos produtores.

O manejo da qualidade da água é outra questão fundamental para o desempenho em viveiros escavados. Parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, dureza, amônia, nitrito e nitrato devem ser monitorados e mantidos dentro de faixas ideais para o *P. vannamei*. Oscilação desses parâmetros podem causar estresse nos camarões, comprometendo seu

crescimento, sobrevivência e susceptibilidade a doenças (Loaiza-Guillen; Ordoñez-Jumbo; Galarza-Mora, 2023). A aeração mecânica é frequentemente utilizada para manter os níveis de oxigênio dissolvido adequados, especialmente em sistemas de maior densidade.

2.4 Fatores que Influenciam o Desempenho de *Penaeus vannamei*

O desempenho zootécnico de *P. vannamei* constitui um fenômeno multifatorial, resultante da complexa interação entre as características genéticas dos animais e as condições ambientais e de manejo às quais são submetidos. A compreensão desses fatores é essencial para a otimização dos sistemas de produção e para o desenvolvimento de estratégias que visem maximizar a produtividade e a rentabilidade da carcinicultura.

Entre esses fatores, as condições ambientais desempenham papel preponderante no desempenho de *P. vannamei*. A temperatura da água destaca-se como uma das variáveis mais relevantes, pois influencia diretamente as taxas metabólicas, o consumo alimentar, o crescimento e a reprodução dos camarões. Temperaturas fora da faixa considerada ótima podem ocasionar estresse fisiológico, redução do crescimento e aumento da suscetibilidade a doenças (Nogueira *et al.*, 2021).

A salinidade é outro fator crítico e, embora o *P. vannamei* seja eurialino (adaptados a diferentes salinidades), extremos de salinidade podem demandar maior gasto energético para osmorregulação, impactando o crescimento. Outros parâmetros de qualidade da água são: pH, oxigênio dissolvido, amônia, nitrito e nitrato, fundamentais para a saúde e o bem-estar dos animais. Níveis inadequados desses parâmetros podem causar estresse fisiológico, reduzir o apetite e o crescimento, e aumentar a mortalidade (Coêlho; Lemos Filho; Câmara Júnior, 2024; Loaiza-Guillen; Ordoñez-Jumbo; Galarza-Mora, 2023).

As práticas de manejo adotadas nos viveiros exercem impacto direto sobre o desempenho dos camarões. A densidade de estocagem acentua-se como um dos principais fatores, visto que densidades mais elevadas podem intensificar a competição por alimento e espaço, resultando em menor crescimento individual, embora possam favorecer maior produtividade por área (Lima *et al.*, 2016).

A alimentação constitui outro fator crucial. A qualidade da ração, a frequência e o método de fornecimento influenciam diretamente a taxa de crescimento e o fator de conversão alimentar. Além disso, o manejo do solo do viveiro e a gestão da biomassa microbiana, como os bioflocos, desempenham papel relevante na manutenção da qualidade da água e no fornecimento de nutrientes adicionais aos camarões (Maia *et al.*, 2012; Rocha, 2020).

Os fatores genéticos relacionados à linhagem e ao melhoramento genético são cada vez mais reconhecidos como determinantes do desempenho. A seleção de linhagens com características genéticas superiores, relacionadas ao crescimento, à resistência a doenças e à adaptabilidade ambiental, é basilar para o avanço da carcinicultura. A interação entre genótipo e ambiente (GxE) significa que o desempenho de uma linhagem pode variar, dependendo das condições específicas de cultivo, ressaltando a importância de avaliar as linhagens em diferentes ambientes (Castillo-Juárez *et al.*, 2015; Ren *et al.*, 2018).

2.5 Impacto do Melhoramento Genético no Desempenho

O melhoramento genético tem se consolidado como uma das ferramentas mais eficazes para impulsionar a produtividade e a sustentabilidade na carcinicultura de *P. vannamei*. Através de programas de seleção sistemática, é possível aprimorar características de interesse econômico, resultando em linhagens com desempenho superior em termos de crescimento, conversão alimentar, resistência a doenças e adaptabilidade a diferentes condições de cultivo (Castillo-Juárez *et al.*, 2015).

Para melhorar ainda mais a produtividade desses animais, torna-se necessária a implementação de programas de melhoramento genético do camarão-cinza, que contribuem para o aperfeiçoamento de características de interesse econômico, como maiores taxas de

crescimento, sobrevivência e resistência a doenças (Castillo-Juárez *et al.*, 2015; Gitterle *et al.*, 2005).

Com a implementação de programas de melhoramento genético, têm-se alcançado ganhos genéticos em características produtivas, ao mesmo tempo em que se mantém a variabilidade genética da população, buscando reduzir as taxas de cruzamentos endogâmicos (Moss; Moss, 2009). No caso de *P. vannamei*, esses programas geralmente envolvem a seleção de famílias ou indivíduos com base em características fenotípicas desejáveis, como peso corporal em determinada idade, taxa de crescimento diário e rendimento de carne. A utilização de modelos lineares mistos, associada a dados de pedigree, permite a estimativa dos valores genéticos dos animais e a seleção dos reprodutores mais promissores para a próxima geração. (Castillo-Juárez *et al.*, 2015).

O ganho genético acumulado ao longo das gerações tem sido substancial, com linhagens modernas apresentando um desempenho significativamente superior às linhagens selvagens ou não melhoradas. Além das características de crescimento, o melhoramento genético tem focado na resistência a doenças, um dos maiores desafios da carcinicultura. Linhagens geneticamente resistentes a patógenos específicos, como o vírus da Síndrome da Mancha Branca ou o vírus da Necrose Hepatopancreática Aguda, são desenvolvidas para reduzir as perdas por mortalidade e garantir a biossegurança dos sistemas de cultivo.

A seleção para tolerância a estresses ambientais, como baixos níveis de oxigênio ou variações de salinidade, também é uma área importante do melhoramento genético, visando aumentar a resiliência dos camarões em ambientes de cultivo desafiadores (Ren *et al.*, 2018). A comparação entre diferentes linhagens, como a linhagem Nordeste e a Aquatec Resistência, é um exemplo prático do impacto do melhoramento genético.

Essa avaliação comparativa é imprescindível para que os produtores possam tomar decisões informadas sobre qual linhagem utilizar, maximizando o potencial produtivo de suas fazendas (Silva, 2020; Vieira, 2022).

2.6 Desenvolvimento Ontogenético e Desempenho em Diferentes Idades

O desenvolvimento ontogenético de *P. vannamei* é um processo contínuo que abrange desde os estágios larvais até a fase adulta, com mudanças significativas nas características morfológicas, fisiológicas e de desempenho ao longo do tempo. A avaliação do desempenho em diferentes idades de abate é vital para otimizar o ciclo de produção, determinar o momento ideal de colheita e maximizar o retorno econômico para os produtores.

Em fases iniciais de cultivo, como aos 30 dias, os camarões ainda são juvenis e apresentam um crescimento acelerado. Nesse estágio, características como peso vivo (PV) e comprimento total (CT) são os principais indicadores do potencial de crescimento e da saúde geral dos animais. A análise dessas variáveis oportuniza identificar rapidamente se os camarões estão se desenvolvendo conforme o esperado e se há necessidade de ajustes no manejo (Lima *et al.*, 2016). À medida que os camarões progridem para idades mais avançadas, como 45 e 60 dias, o foco da avaliação de desempenho expande-se para incluir características relacionadas à composição corporal e ao rendimento de carne.

O peso resfriado (PR), o peso e comprimento do cefalotórax (PCe/CCe), o peso e comprimento do abdômen (PAb/CAb), o peso do filé (PF) e o peso da cauda (PC) tornam-se cada vez mais relevantes. Essas características são de grande interesse comercial, pois impactam diretamente o valor agregado do produto final (Santos, 2009).

A análise do desenvolvimento ontogenético e do desempenho em diferentes idades permite aos produtores ajustar as estratégias de alimentação, densidade de estocagem e manejo da água para cada fase do ciclo de cultivo. Ademais, a compreensão da dinâmica de crescimento e da evolução das características de desempenho ao longo do tempo é fundamental para a tomada de decisões sobre o momento ideal de abate, visando alcançar o peso e o rendimento desejados para o mercado consumidor.

2.7 Características Biométricas e sua Importância na Avaliação do Desempenho Zootécnico

As variáveis biométricas são medidas quantitativas de características físicas de organismos vivos e desempenham um papel central na avaliação do desempenho zootécnico em aquicultura. No contexto da carcinicultura de *P. vannamei*, a coleta e análise dessas variáveis fornecem informações elementares sobre o crescimento, o desenvolvimento corporal, a composição de carcaça e o rendimento de carne, que são indicadores diretos da eficiência produtiva e da rentabilidade da atividade.

As principais variáveis biométricas usadas na avaliação do desempenho de *P. vannamei* incluem:

Peso Vivo (PV): é a medida mais fundamental do crescimento e da biomassa total do camarão. Um PV elevado em uma determinada idade indica um bom desempenho de crescimento e é diretamente correlacionado com a produtividade do viveiro (Lima *et al.*, 2016).

Peso Resfriado (PR): representa o peso do camarão após o processo de resfriamento, sendo um parâmetro importante para a logística pós-colheita e para a estimativa do peso comercializável.

Comprimento Total (CT): medida linear do camarão, do ápice do rostro à extremidade do telson, complementa o PV na avaliação do crescimento e pode ser um indicador de desenvolvimento corporal proporcional.

Peso e Comprimento do Cefalotórax (PCe/CCe): embora o cefalotórax não seja a porção comestível principal, suas medidas podem indicar o desenvolvimento geral do animal e a proporção entre as diferentes partes do corpo.

Peso e Comprimento do Abdômen (PAb/CAB): o abdômen é a parte mais valorizada do camarão para consumo. As medidas de peso e comprimento do abdômen são essenciais para estimar o rendimento de carne e a qualidade do produto final.

Peso do Filé (PF) e Peso da Cauda (Pca): são medidas diretas da porção comestível do camarão, representando o rendimento de carne limpa. Essas variáveis são de grande interesse econômico, pois o valor de mercado do camarão é frequentemente determinado pelo rendimento de filé ou cauda (Santos, 2009).

A importância dessas variáveis reside em sua capacidade de fornecer uma avaliação abrangente do desempenho zootécnico. A análise individual de cada variável, bem como de suas inter-relações, por meio de técnicas multivariadas, como a Análise de Componentes Principais (ACP), possibilita uma compreensão mais aprofundada dos fatores que influenciam o crescimento e a composição corporal dos camarões.

Por exemplo, uma elevada correlação entre PV e PF indica que camarões com maior peso vivo tendem a apresentar maior rendimento de filé. Trata-se de uma informação relevante tanto para programas de melhoramento genético quanto para a seleção de animais destinados ao abate.

2.8 Análise de Componentes Principais (ACP) como Ferramenta na Aquicultura

A ACP é uma técnica estatística multivariada poderosa e amplamente utilizada para a redução da dimensionalidade de conjuntos de dados complexos. Seu principal objetivo é transformar um conjunto de variáveis originais, que podem ser correlacionadas, em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas, denominadas componentes principais (CPs). Esses componentes são combinações lineares das variáveis originais e ordenados de forma que o primeiro componente explique a maior parte da variância total dos dados, o segundo a segunda maior parte, e assim sucessivamente (Li; Boyd; Odom, 2014).

Em aquicultura, a ACP tem se mostrado uma ferramenta indispensável para lidar com a grande quantidade de dados gerados em estudos de desempenho, qualidade da água, genética e manejo. A capacidade da ACP de sintetizar informações e identificar padrões subjacentes em dados multivariados a torna particularmente útil para:

Simplificação de Dados: reduzir o número de variáveis a serem analisadas, mantendo a maior parte da informação original. Isso facilita a interpretação e a visualização de dados complexos.

Identificação de Relações: revelar correlações e relações entre as variáveis originais, assim como entre as observações. Por exemplo, pode-se identificar quais características de desempenho estão mais fortemente associadas entre si.

Deteção de Padrões: agrupar indivíduos ou populações com base em suas características, permitindo a identificação de linhagens com desempenho superior ou a diferenciação entre grupos sob diferentes condições de cultivo (Vargas *et al.*, 2018).

Visualização de Dados: a representação gráfica dos resultados da ACP, como os biplots, propicia uma visualização intuitiva das relações entre variáveis e observações, facilitando a comunicação dos achados de pesquisa.

A metodologia da ACP envolve o cálculo da matriz de covariância ou correlação dos dados, seguido da extração dos autovalores e autovetores. Os autovalores indicam a importância de cada componente principal, enquanto os autovetores definem a direção e a contribuição de cada variável original para cada componente. A seleção do número de componentes a serem retidos é geralmente baseada na proporção da variância total explicada e na interpretabilidade dos componentes (Guo; Li; Xie, 2021).

2.9 Aplicações da ACP na Avaliação de Desempenho Animal

A ACP viabiliza identificar quais características biométricas são mais relevantes para explicar a variabilidade no desempenho geral dos camarões, além de possibilitar a comparação do desempenho de diferentes linhagens de *P. vannamei* sob as mesmas condições de cultivo. Ao projetar as observações, representadas por camarões de diferentes linhagens, nos componentes principais, torna-se possível visualizar agrupamentos e identificar qual linhagem apresenta desempenho superior em relação a um conjunto de características.

A aplicação da ACP a dados coletados em diferentes idades de abate (30, 45 e 60 dias) facilita compreender como as características de desempenho evoluem ao longo do ciclo de cultivo. Essa técnica possibilita identificar quais variáveis se tornam mais relevantes em cada estágio de desenvolvimento e analisar de que forma a contribuição de cada característica para o desempenho geral dos camarões modifica-se com o avanço da idade.

Ao identificar as variáveis mais importantes e as relações entre elas, a ACP pode orientar programas de melhoramento genético, permitindo a seleção de reprodutores com base em um conjunto reduzido de características que explica a maior parte da variação no desempenho zootécnico. Esse procedimento torna o processo de seleção mais eficiente e direcionado (Dai *et al.*, 2025). Nesse rumo, a ACP configura-se como uma ferramenta analítica poderosa para a avaliação do desempenho de *P. vannamei*, ao simplificar dados complexos, identificar padrões e facilitar a visualização das relações entre variáveis, contribuindo para a tomada de decisões mais informadas e para o avanço da produtividade e da sustentabilidade da carcinicultura.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO ASSOCIAÇÃO EM NATAL. **Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão**, Natal, ano 24, n. 2, ago. 2024. Disponível em: https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2024/08/Abcc_Agosto_Revista_2024_web-2-1.pdf. Acesso em: 8 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO. **Técnicas de manejo e qualidade de água com ênfase no balanço iônico**. Natal: ABCC, 2017. 56p.

BARBIERI JÚNIOR, Roberto Carlos; OSTRENSKY NETO, Antonio. **Camarões marinhos: engorda**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2002. 370p.

BRIGGS, M.; FUNGE-SMITH, S.; SUBASINGHE, R.; PHILLIPS, M. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. **RAP publication**, [s. l.], v. 10, p. 1-12, 2004.

CASTILLO-JUÁREZ, H.; CAMPOS-MONTES, G. R.; CABALLERO-ZAMORA, A.; MONTALDO, H. H. Genetic improvement of Pacific white shrimp [*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*]: perspectives for genomic selection. **Frontiers in Genetics**, [s. l.], v. 6, p. 93, 2015.

CASTRO, A. A.; PAGANI, G. D. Secagem e composição química da cabeça de camarão (*Litopenaeus vannamei* Boone) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 123-129, 2004.

COÊLHO, F. F.; LEMOS FILHO, L. C. de A.; CÂMARA JÚNIOR, C. L. Avaliação do estado nutricional do capim elefante irrigado com doses de efluentes da aquicultura. **Revista do Seminário de Iniciação Científica da UFERSA**, [s. l.], v. 30, n. 1, 2024.

COSTA, W. M. **Efeito da proteína vegetal na qualidade de água dos efluentes da carcinicultura**. 2004. 69 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2004.

DAI, Y.; WANG, Y.; DAI, Y.; TANG, J.; XU, Q.; XIE, N. The influence of different aquaculture systems on growth performance, morphological characteristics, texture profile and nutritional components of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT). **Aquaculture Reports**, [s. l.], v. 29, p. 101703, 2025.

DORNELLES, M. de A.; RORATO, P. R. N.; BREDAS, F. C.; BONDAN, C.; GAMA, L. T. L. da; COBUCCI, J. A.; FELTES, G. L.; MICHELOTTI, V. T.; PRESTES, A. M. Parâmetros genéticos para produção de leite no dia do controle de vacas da raça Holandesa utilizando modelos de análises de fatores e componentes principais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 6, p. 1087-1092, 2015.

DUGASSA, H.; GAETAN, G. Biology of white leg shrimp, *Penaeus vannamei*: Review. **World Journal of Fish and Marine Sciences**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 5-17, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Cultured Aquatic Species Information Programme (CASIP). **Fisheries and Aquaculture**, [s. l.], p. 1-14, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018**. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma: FAO, 2018.

GITTERLE, T.; RYE, M.; SALTE, R.; COCK, J.; JOHANSEN, H.; LOZANO, C.; SUÁREZ, J. A.; GJERDE, B. Genetic (co) variation in harvest body weight and survival in *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei* under standard commercial conditions. **Aquaculture**, [s. l.], v. 243, n. 1-4, p. 83-92, 2005.

GUO, W.; LI, X.; XIE, T. Method and system for nondestructive detection of freshness in *Penaeus vannamei* based on hyperspectral technology. **Aquaculture**, [s. l.], v. 532, p. 736024, 2021.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 3940 – Produção da aquicultura, por tipo de produto**. IBGE, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado>. Acesso em: 10 maio. 2025.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [s. l.], v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016.

LI, L.; BOYD, C. E.; ODOM, J. Identification of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) to rearing location using elemental profiling. **Food Control**, [s. l.], v. 44, p. 150-155, 2014.

LIMA, J. C.; NERY, I. B. Q.; NUNES, C. A. R.; PEREIRA, C. M.; SANTOS, J. dos; TAVECHIO, W. L. G.; MACEDO, C. F. Desempenho do camarão *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) cultivado em diferentes densidades em água oligohalina. **Revista de Engenharia de Pesca**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1-10, 2016.

LOAIZA-GUILLEN, P. S.; ORDOÑEZ-JUMBO, L. D.; GALARZA-MORA, W. G. Evaluation of the growth and survival of white shrimp (*litopenaeus vannamei*) cultured at different salinities and stocking densities. **Journal ScientificMQRInvestigar**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 2176-2208, 2023.

LYRA, W. S.; SILVA, E. C. da; ARAÚJO, M. C. U. de; FRAGOSO, W. D.; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, Campinas, SP, v. 33, n. 7, p. 1594-1597, 2010.

MAIA, E. de P.; MODESTO, G. A.; BRITO, L. O.; GÁLVEZ, A. O. Crescimento, sobrevivência e produção de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema intensivo. **Pesquisa Agropecuária Paraibana**, Recife, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2012.

MENDES FILHO, O. da R.; PEDROZA FILHO, M. X.; FLORES, R. M. V.; BRITO, L. O. Viabilidade econômica na carcinicultura: avaliação de *Penaeus vannamei* em áreas costeiras e interiores sob diferentes níveis de salinidade no Nordeste do Brasil. **Observatório Latinoamericano de Economia e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 22, n. 11, p. e7578, 2024.

MORRISON, D. F. **Multivariate Statistical Methods**. 4. ed. Australia: Brooks/Cole Thomson Learning, 2005. 469p.

MOSS, S. M.; MOSS, D. R. Selective breeding of penaeid shrimp. **Shellfish safety and quality**, [s. l.], p. 425-452, 2009.

NATORI, M. M.; SUSSEL, F. R.; SANTOS, E. C. B. dos; PREVIERO, T. de C.; VIEGAS, E. M. M.; GAMEIRO, A. H. Desenvolvimento da carcinicultura marinha no Brasil e no mundo: avanços tecnológicos e desafios. **Informações econômicas**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 61-73, 2011.

NOGUEIRA, D. de B.; BARROS, T. F.; SOUZA, L. S. B. de; SANTOS, W. R. dos; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SOUZA, C. A. A. de; JARDIM, A. M. da R. F.; SILVA, T. G. F. da. Compreendendo a influência do fotoperíodo no cultivo de *LitoPenaeus vannamei*: revisitando estudos realizados para o período de 2005-2020. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 10, p. e18667, 2021.

NUNES, A. J. P.; MADRID, R. M.; ANDRADE, T. P. DE. Carcinicultura Marinha no Brasil: Passado, Presente e Futuro. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 124, p. 26-33, 2011.

REGAZZI, A. J.; CRUZ, C. D. **Análise multivariada aplicada**. Viçosa: Editora UFV, 2020. 401p.

REN, S.; MATHER, P. B.; TANG, B.; HURWOOD, D. A. Genetic diversity and inferred origins of *Penaeus vannamei* culture resources in China: Implications for the production of a broad synthetic base population for genetic improvement. **Aquaculture**, [s. l.], v. 484, p. 1-10, 2018.

RIBEIRO, L. F.; SOUZA, M. M. de; BARROS, F.; HATJE, V. Desafios da carcinicultura: aspectos legais, impactos ambientais e alternativas mitigadoras. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 14, n. 3, p. 365-383, 2014.

RIBEIRO, R. P. **Carcinicultura no agreste paraibano: qualidade da água, um fator limitante**. 2017. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

ROCHA, I. P. A importância da aquicultura e da carcinicultura no contexto da produção mundial de pescado: desafios e oportunidades para o Brasil. **Revista ABCC**, Natal, v. 15, n. 2, p. 16-26, 2013.

ROCHA, J. L. O. **Caracterização do solo de viveiros de cultivo intensivo e extensivo de *LitoPenaeus vannamei* (BOONE, 1931): um estudo de caso no nordeste do Brasil**. 2020. 49 f. Dissertação Mestrado em Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SABIN, J. G.; FERRÃO, M. F.; FURTADO, J. C. Análise multivariada aplicada na identificação de fármacos antidepressivos. Parte II: Análise por componentes principais (ACP) e o método de classificação SIMCA. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 387-396, 2004.

SAMOCHA, T. M.; HAMPER, L.; EMBERSON, C. R.; DAVIS, A. D.; MCINTOSH, D.; LAWRENCE, A. L.; VAN WYK, P. M. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 12, n. 1, p. 1-42, 2002.

SANTOS, E. C. B. Desempenho produtivo do camarão cinza *LitoPenaeus vannamei*. 2009. 47 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Larvicultura de camarão marinho (do náuplio a pós-larva)**. Brasília: SENAR, 2016.

SILVA, N. M. L. **Desenvolvimento de um painel de SNPS de baixa densidade para análise de paternidade e parentesco e avaliação da variabilidade genética do camarão cinza (*LitoPenaeus vannamei*)**. 2020. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SUCHARITHA, V.; JYOTHI, S. An identification of penaeid prawn species based on histogram values. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, [s. l.], v. 3, n. 7, p. 807-811, 2013.

TAHIM, E. F.; DAMACENO, M. N.; ARAÚJO, I. F. Trajetória tecnológica e sustentabilidade ambiental na cadeia de produção da carcinicultura no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 57, n. 1, p. 93-108, 2019.

TORRES, R. Os mistérios do Ceará: a terra onde o litoral come o camarão e a tilápia produzidos em pleno sertão. **Seafood Brasil**, [s. l.], n. 22, out./dez. 2015.

VARELLA, C. A. A. **Análise de componentes principais**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

VARGAS, G.; SCHENKEL, F. S.; BRITO, L. F.; NEVES, H. H. de R.; MUNARI, D. P.; BOLIGON, A. A.; CARVALHEIRO, R. Unravelling biological biotypes for growth, visual score and reproductive traits in Nellore cattle via principal component analysis. **Livestock Science**, [s. l.], v. 218, p. 110-116, 2018.

VIEIRA, I. S. M. **Caracterização de marcadores moleculares do tipo SNPs e Microssatélites em *Penaeus vannamei* e proposição de painéis para estudos populacionais e de melhoramento genético**. 2022. 98 f. Dissertação (Mestrado em Genética) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

WARD, C. Prawn fishing industry in the Gulf of Carpentaria. **CSIROPedia**, 21 fev. 2011. Disponível em: <https://csiropedia.csiro.au/prawn-fishing-industry-in-the-gulf-of-carpentaria/>. Acesso em: 12 jul. 2025.

4. ARTIGO 1

AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E MORFOMÉTRICAS DO CAMARÃO *PENAEUS VANNAMEI* EM DIFERENTES IDADES POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Aquaculture (Amsterdam)

RESUMO

A carcinicultura, no Nordeste do Brasil, uma atividade de grande importância socioeconômica, exige métodos eficientes para a avaliação do desempenho produtivo. A coleta de múltiplas variáveis biométricas em campo é dispendiosa e estressante para os animais. Este estudo aplicou a Análise de Componentes Principais (ACP) a um conjunto de nove variáveis biométricas de camarões marinhos (*Penaeus vannamei*) cultivados na Região Nordeste, com o objetivo de identificar a variável mais representativa do desempenho geral. O primeiro componente principal (PC1) demonstrou ser altamente significativo, explicando 82,46% da variância total dos dados, o que confirma a existência de um eixo de desempenho global unidimensional. A análise de contribuição revelou que a variável comprimento total (CT) foi a que mais contribuiu para o PC1 (12,95%), superando o peso do filé (PF) (12,93%). A alta capacidade de representação do desempenho produtivo pelo CT, aliada à sua facilidade de medição e ao menor impacto de estresse nos animais em comparação com a pesagem, estabelece o CT como o indicador biométrico mais eficiente e prático para o monitoramento de rotina. Recomenda-se a priorização da medição do CT para otimizar a tomada de decisão, a gestão de custos e a sustentabilidade da carcinicultura nordestina.

Palavras-chave: comprimento do cefalotórax, correlação, despesca, peso do filé.

4.1 Introdução

A aquicultura global tem testemunhado um crescimento exponencial, e a carcinicultura, em particular o cultivo do camarão marinho da espécie *Penaeus (P.) vannamei*, consolidou-se como um pilar da produção de proteína aquática em diversas regiões do mundo (Bezerra et al., 2007). No contexto brasileiro, a Região Nordeste é o epicentro desta atividade, sendo responsável por mais de 99% da produção nacional, com estados como Ceará e Rio Grande do Norte liderando o setor (Chaves, 2018; Franchini, 2019). A manutenção da competitividade e

a busca por maior eficiência produtiva dependem diretamente da implementação de práticas de manejo que permitam o monitoramento preciso e ágil do crescimento e da saúde dos estoques.

A espécie *P. vannamei* é a mais utilizada por sua adaptabilidade a diferentes sistemas de cultivo, rapidez no crescimento e alta aceitação e demanda de mercado, sendo uma excelente escolha para produtores (Costa e Santos, 2018). No entanto, a otimização do desempenho produtivo e a qualidade do produto final são fatores determinantes para a sustentabilidade e competitividade da atividade (Oliveira et al., 2021).

Tradicionalmente, a avaliação do desempenho zootécnico em criação de camarão é baseada na coleta de variáveis biométricas, que incluem medidas de peso (como Peso Vivo, Peso de Abdômen, Peso Resfriado, Peso do Filé) e de comprimento (como Comprimento Total, Comprimento do Cefalotórax) (Lima et al., 2016). Embora a riqueza de dados obtida por meio de múltiplas medições forneça uma visão abrangente do desenvolvimento do animal, a rotina de amostragem em larga escala, que envolve a manipulação e a medição de cada indivíduo, é inerentemente intensiva em mão de obra e tempo.

Nesse contexto, a avaliação de variáveis de desempenho em diferentes estágios de desenvolvimento dos camarões é fundamental para compreender a dinâmica de crescimento. A idade de abate pode influenciar diretamente o peso, o rendimento de carne e outras características biométricas, impactando o valor comercial do produto (Pereira et al., 2022).

Além disso, a manipulação excessiva e prolongada pode induzir estresse nos camarões. Isso pode levar à redução da taxa de crescimento, ao aumento da suscetibilidade a doenças e, em última instância, ao comprometimento da produtividade do ciclo (Lobo Jr. et al., 2022).

A necessidade de otimizar o processo de amostragem e de identificar indicadores de desempenho que sejam simultaneamente informativos e práticos motivou a aplicação de métodos estatísticos multivariados. A Análise de Componentes Principais (ACP) surge como uma ferramenta estatística de grande valia neste contexto (Medeiros, 2015).

A ACP é projetada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados, transformando um grande número de variáveis correlacionadas em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas, denominadas Componentes Principais (PCs). Esses componentes capturam a maior parte da variância presente nos dados originais (Santana, 2020).

Em estudos biológicos e de aquicultura, a ACP é frequentemente empregada para desvendar a estrutura de covariância entre variáveis morfométricas. Essa abordagem propicia a identificação de um componente que represente o “tamanho geral” ou o “desempenho global” dos organismos (Santos et al., 2017).

O presente estudo se propôs a utilizar a ACP em variáveis biométricas de *P. vannamei* cultivados no Nordeste do Brasil. Os objetivos específicos foram: (i) quantificar a proporção da

variância total explicada pelos primeiros componentes principais; (ii) confirmar a interpretação do primeiro componente principal (PC1) como o eixo de desempenho produtivo geral; e (iii) determinar qual das variáveis biométricas analisadas possui a maior contribuição para o PC1, elegendo-a como o indicador mais eficiente para o monitoramento de rotina em fazendas de carcinicultura. A identificação de um indicador-chave pode simplificar as práticas de manejo, reduzir os custos operacionais e minimizar o estresse dos animais, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência da produção de camarão na região.

4.2 Material e Métodos

Este estudo foi conduzido em viveiros escavados localizados no estado de Sergipe, Brasil, no período de março de 2022 a dezembro de 2023. Foram utilizados seis lotes de *P. vannamei*, com o objetivo de avaliar o desempenho dos animais em diferentes idades de abate. As metodologias empregadas no cultivo, na despesca, na coleta de dados e nas análises laboratoriais são detalhadas a seguir.

4.2.1 Área de Estudo e Delineamento Experimental

O experimento ocorreu em viveiros escavados localizados no município de Nossa Senhora do Socorro, Sergipe. Utilizaram-se seis lotes de cultivo, cada um correspondendo a uma unidade experimental. Os camarões *P. vannamei* foram estocados nos viveiros e cultivados sob condições padronizadas de manejo, incluindo alimentação controlada e aeração constante (Silva et al., 2020).

As amostragens ocorreram aos 30, 45 e 60 dias de cultivo. Em cada coleta, obtiveram-se 200 indivíduos por lote e por idade de abate, totalizando 3.600 camarões avaliados ao longo do período experimental.

4.2.2 Manejo dos Animais e despesca

Os animais foram monitorados regularmente ao longo do ciclo de produção. Em cada despesca, a coleta ocorreu por meio de rede de arrasto, garantindo uma amostragem representativa da população em cada lote. Em cada evento de despesca, coletaram-se 200 animais por lote, totalizando 3.600 camarões ao longo de todo o período experimental (seis lotes $\times$ três despescas $\times$ 200 animais/despesca).

4.2.3 Coleta de Dados e Parâmetros Avaliados

Após a despesca, os animais foram imediatamente transportados para o laboratório para a coleta das características de desempenho. Antes do abate, os camarões vivos foram pesados para a obtenção do peso vivo (PV). Em seguida, submersos em água gelada (0–2 °C) por dez minutos a fim de garantir uma melhor qualidade do material biológico para as análises subsequentes (Pereira et al., 2022).

As seguintes características de desempenho foram avaliadas para cada animal: Peso Vivo (PV): Peso do animal antes do abate (g); Peso Resfriado (PR): Peso do animal após o abate e resfriamento (g); Comprimento Total (CT): Comprimento do animal da ponta do rostro à extremidade da telson (cm), Peso do Cefalotórax (PCe): Peso da porção cefalotórax do animal (g); Comprimento do Cefalotórax (CCe): Comprimento da porção cefalotórax do animal (cm); Peso do Abdômen (PAb): Peso da porção abdominal do animal (g); Comprimento do Abdômen (CAb): Comprimento da porção abdominal do animal (cm); Peso do Filé (PF): Peso da carne do camarão após a remoção da casca e vísceras (g); Peso da Cauda (Pca): Peso da cauda do camarão (g).

Além das características de desempenho dos camarões, os parâmetros de qualidade da água dos viveiros foram monitorados e analisados em todas as coletas.

4.2.4 Análise Estatística

Os dados foram analisados por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando o software R. As variáveis passaram por padronização prévia, com média zero e variância unitária. Para a interpretação dos resultados, consideraram-se os dois primeiros componentes principais.

4.3 Resultados

O Primeiro Componente Principal (PC1) destacou-se com um autovalor de 7,42, explicando uma proporção massiva de 82,46% da variância total contida no conjunto de dados. Esse valor excede significativamente o critério de Kaiser (autovalor > 1), indicando que o PC1 é o único componente que representa uma variação substancialmente maior do que a média das variáveis originais.

O PC2, com autovalor de 0,82, respondeu por 9,10% da variância. A retenção apenas do PC1 e do PC2 é suficiente para abranger 91,56% da variância total, valor considerado

elevado para conjuntos de dados biológicos, o que valida a interpretação de que a maior parte da informação de desempenho está concentrada nesses dois eixos (Tabela 1 e Figura 1).

A variação ao longo do CP1 pode ser interpretada como um gradiente de desenvolvimento dos animais (Figura 2), desde os mais jovens e menores até os mais velhos e maiores. Esse gradiente abrange as diferentes idades de abate (30, 45 e 60 dias), conforme observado na Figura 3.

A Figura 4 apresenta a porcentagem de contribuição de cada variável biométrica para a formação do PC1. Esta análise é crucial para identificar a variável que atua como o melhor indicador de desempenho global.

As variáveis de peso e comprimento apresentaram contribuições elevadas e relativamente homogêneas para o PC1, com exceção do Peso da Cauda (Pca). A variável Comprimento Total (CT) apresentou a maior contribuição percentual (12,95%), seguida de perto pelo Peso Filé (PF) (12,93%) e pelo Peso do Abdômen (PAb) (12,67%). A diferença entre a contribuição do CT e do PF é marginal, mas o CT se estabelece como o principal fator de variação no eixo de desempenho.

A variável Pca, que representa o peso de cauda, apresentou a menor contribuição (4,30%). Esse resultado sugere que, embora seja uma medida de peso, essa variável está menos correlacionada com o desempenho produtivo geral em comparação com as medidas de corpo inteiro (CT, PF, PAb e PV).

4.4 Discussão

A ACP revelou que os dois primeiros componentes explicaram uma proporção substancial da variância total dos dados (91,56%), indicando uma forte capacidade preditiva e descritiva do modelo para as características de desempenho de *P. vannamei* em diferentes idades de cultivo em viveiros escavados.

Este achado corrobora a eficácia da ACP como ferramenta robusta para a redução da dimensionalidade e identificação de padrões subjacentes em conjuntos de dados complexos, conforme amplamente documentado na literatura (Jolliffe e Cadima, 2016; Rencher e Christensen, 2012).

O resultado mais significativo da ACP é a concentração de 82,46% da variância total no PC1. Este achado é consistente com a literatura que aborda a morfometria e o crescimento de crustáceos, em que o primeiro componente principal é quase invariavelmente interpretado como um fator de tamanho geral (Medeiros, 2015).

A alta proporção de variância explicada indica que o crescimento do *P. vannamei* no contexto de cultivo do Nordeste do Brasil é um processo altamente integrado, no qual as variáveis biométricas são fortemente correlacionadas. Em termos práticos, isso significa que um camarão que apresenta um CT elevado também apresentará, com alta probabilidade, pesos e outras dimensões de comprimento elevados.

Essa unidimensionalidade do desempenho é uma informação valiosa para o manejo. Ela valida a possibilidade de simplificar o monitoramento de rotina, pois a medição de uma única variável representativa pode substituir a necessidade de coletar o conjunto completo de nove variáveis, sem perda significativa de informação sobre o desempenho global do lote.

A seleção do CT como a variável de maior contribuição para o PC1 (12,95%) é o principal resultado com implicação direta para a carcinicultura. Embora o PF tenha apresentado uma contribuição muito próxima (12,93%), a escolha do CT como indicador-chave é justificada por considerações de ordem prática e de bem-estar animal.

A proeminência do PF como a segunda variável de maior correlação e influência no primeiro componente é particularmente relevante. Esse resultado pode ser interpretado como um indicativo de que o PF é uma variável altamente sensível e representativa do desenvolvimento do *P. vannamei* ao longo do ciclo de produção. A importância do rendimento de filé é crucial para a indústria aquícola, pois está diretamente ligada à eficiência de processamento e ao valor comercial do produto (Davis et al., 2005; Samocha et al., 2004). A forte contribuição do PF no primeiro componente principal sugere que as estratégias de manejo que otimizam o ganho de peso do filé provavelmente terão um impacto positivo abrangente em outras características de desempenho.

A medição do peso (PF, PAb, PV) em campo requer o uso de balanças digitais, que são equipamentos mais sensíveis a fatores ambientais como umidade e poeira, comuns em ambientes de fazendas de camarão. Além disso, a pesagem exige que o animal seja retirado da água e manipulado por um período mais longo para a estabilização da leitura, o que aumenta o nível de estresse (Santos et al., 2017).

Em contraste, a medição do CT pode ser realizada de forma mais rápida e com equipamentos mais simples e robustos, como paquímetros ou réguas de medição padronizadas. A rapidez e a simplicidade da medição do CT minimizam o tempo de manejo e o estresse dos camarões, o que é um fator substancial para a manutenção da saúde e do crescimento do estoque (Franchini, 2019).

A diferenciação entre as contribuições de peso e comprimento em componentes distintos pode refletir diferentes fases ou mecanismos de crescimento. Esses processos podem ser influenciados por fatores ambientais ou genéticos específicos (Gómez-Jiménez et al., 2008).

A recomendação de priorizar o CT como indicador de desempenho está alinhada com a busca por práticas de aquicultura mais sustentáveis e eficientes. Ao focar na variável mais representativa e de coleta mais fácil, os produtores podem realizar amostragens mais frequentes e com maior número de indivíduos, obtendo uma estimativa mais precisa e em tempo real do desempenho do lote, facilitando a tomada de decisões sobre alimentação, manejo da água e momento ideal de abate.

A aplicação da ACP reforça a importância da análise de dados para a otimização do manejo. A informação de que o CT é o melhor preditor do desempenho global permite que os produtores do Nordeste do Brasil concentrem seus esforços de amostragem, resultando em:

Redução de Custos Operacionais: menos tempo e recursos dedicados à coleta de dados redundantes.

Melhoria da Qualidade dos Dados: a simplificação do processo de coleta tende a reduzir erros de medição e a variabilidade induzida pelo estresse.

Otimização do Abate: a medição precisa e frequente do CT possibilita estimar o peso de abate com maior acurácia, garantindo que a colheita ocorra no momento de maior valor comercial.

O boxplot do PC1 por lote e o gráfico da ACP dos indivíduos ($PC1 \times PC2$) sugerem que o PC1 é um indicador suficientemente sensível para discriminar o desempenho entre diferentes grupos de manejo e idades. Essa sensibilidade constitui a evidência final da utilidade prática do CT como variável principal associada ao PC1, uma vez que um bom indicador de desempenho deve ser capaz de refletir as diferenças decorrentes das práticas de manejo adotadas.

A avaliação das características de desempenho em diferentes idades (30, 45 e 60 dias de produção) é fundamental para otimizar os ciclos de cultivo e as estratégias de despesca. A capacidade da ACP de identificar as variáveis mais influentes em cada componente permite que os produtores concentrem seus esforços em monitorar e gerenciar os parâmetros que mais impactam o desempenho produtivo e a qualidade do produto final.

A linhagem Nordeste, utilizada neste estudo, é conhecida por sua adaptabilidade e rápido crescimento (Cavalli et al., 2008). Os resultados da ACP fornecem uma base para aprimorar ainda mais as práticas de manejo dessa linhagem específica em condições de cultivo semi-intensivo.

A ACP foi usada para identificar as variáveis que mais contribuíram para a variabilidade total dos dados e para reduzir a dimensionalidade do conjunto de características de desempenho (Johnson e Wichern, 2007).

4.5 Conclusões

A ACP demonstrou que o desempenho produtivo do camarão marinho *P. vannamei* é um fenômeno predominantemente unidimensional, com o primeiro componente principal (PC1) explicando 82,46% da variância total. A variável biométrica CT foi identificada como a de maior contribuição para este eixo de desempenho global. Dada a sua alta representatividade e a vantagem operacional de ser uma medida de coleta rápida e de baixo estresse, o CT é o indicador mais eficiente para o monitoramento de rotina em fazendas de carcinicultura.

A priorização da medição do CT permitirá aos produtores otimizar o manejo, reduzir custos e tomar decisões mais informadas, contribuindo para a sustentabilidade e a lucratividade da atividade.

A ACP aplicada às características de desempenho de *P. vannamei* cultivados em viveiros escavados mostrou-se uma ferramenta analítica de grande importância para a compreensão da estrutura de variância e covariância entre as variáveis estudadas. Os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por 95,91% da variância total, confirmando a capacidade da ACP em sintetizar a informação contida no conjunto de dados original.

Os resultados indicam que o PF é a característica de desempenho que mais contribui para o primeiro componente principal, refletindo sua importância como um indicador abrangente do crescimento e do desenvolvimento do camarão. Assim, além de ser um atributo de qualidade do produto final, o PF também se configura como um parâmetro relevante para a avaliação da eficiência produtiva em sistemas de carcinicultura.

A forte correlação do PF com o principal eixo de variação sugere que o manejo focado na otimização desta característica pode gerar melhorias significativas em todo o desempenho dos animais.

As informações geradas pela ACP são fundamentais para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético mais eficientes e para a otimização das práticas de manejo em viveiros escavados, contribuindo para a sustentabilidade e a rentabilidade da carcinicultura.

4.6 Referências Bibliográficas

Bezerra, AM, Silva, JAA da, & Mendes, P. de P., 2007. Seleção de variáveis em modelos matemáticos dos parâmetros de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*. Pesq. Agropec. Bras. 42(3), 385–391. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000300012>.

Cavalli, RO, Rocha, IP, & Peixoto, S., 2008. Desempenho produtivo do camarão branco *Litopenaeus vannamei* em diferentes densidades de estocagem em viveiros de engorda. Boletim do Instituto de Pesca. 34(1), 101–110.

Chaves, FAH, 2018. Eficiência técnica e econômica de propriedades produtoras de camarão no estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará.

Costa, LF, & Santos, RA, 2018. Cultivo de camarão marinho: Princípios e práticas. Editora Universitária.

Davis, DA, Samocha, TM, & Lawrence, AL, 2005. The effect of dietary protein level on growth, feed conversion, and processing characteristics of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in a zero-exchange culture system. Aquaculture. 243(1-4), 363–375.

Franchini, AC, 2019. Cultivo integrado de peixes, camarões e hortaliças em viveiros de aquicultura. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista.

Gómez-Jiménez, S., Gaxiola-Cortés, MG, & García-Guerrero, M., 2008. Morphometric variation of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) from different culture systems in Sinaloa, Mexico. Aquaculture Research. 39(10), 1083–1090.

Johnson, RA, & Wichern, DW, 2007. Applied multivariate statistical analysis. Pearson Prentice Hall.

Jolliffe, IT, & Cadima, J., 2016. Principal component analysis: A review and recent developments. Philos Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci. 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>.

Lima, J. de C., Nery, IBQ, Nunes, CAR, Pereira, CM, Santos, J. dos, & Tavechio WLG, 2016. Desempenho do camarão *litopenaeus vannamei* (boone, 1931) cultivado em diferentes densidades em água oligohalina. Rev. Bras. Eng. Pesca. 9(2), 19–29. <https://doi.org/10.18817/repesca.v9i2.1039>.

Lobo Jr., Macedo, R., & Santos-Goulart, PF dos, 2022. Solos supressivos a doenças, in: Meyer, MC, Bueno, A de F., Mazaro, SM, & Silva, JC da (Eds.). Bioinsumos na cultura da soja. Embrapa, Brasília, DF, pp. 215-226.

Medeiros, PMOC, 2015. Desempenho zootécnico dos camarões: *Litopenaeus vannamei* e *Macrobrachium rosenbergii* em tanques rede e aquicultura familiar na comunidade de Bebida-Velha, RN. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Oliveira, MG, Silva, AB, & Costa, LF, 2021. Desempenho produtivo de *Penaeus vannamei* em diferentes densidades de estocagem. Revista Brasileira de Aquicultura. 35(2), 123–130.

Pereira, CR, Souza, EL, & Lima, AC, 2022. Influência da idade de abate no rendimento de filé de camarão marinho. Boletim do Instituto de Pesca. 48(1), 45–52.

Rencher, AC, & Christensen, WF, 2012. Methods of multivariate analysis (3rd ed.). John Wiley & Sons, Estados Unidos.

Samocha, TM, Davis, DA, & Saoud, IP, 2004. Effects of stocking density and feeding rate on growth, survival, and processing characteristics of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in a zero-exchange culture system. *Aquaculture*. 230(1-4), 343–359.

Santana, JP, 2020. Análise de aspectos socioambientais e produtivos da carcinicultura brasileira. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Santos, RA, Costa, LF, & Silva, AB, 2017. Análise de componentes principais aplicada carcinicultura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(8), 650–658.

Silva, AB, Costa, LF, & Santos, RA, 2020. Carcinicultura em Sergipe: Desafios e perspectivas. *Cadernos de Aquicultura*. 15(1),1–10.

Tabela 1 – Autovalores dos componentes principais e a variância explicativa

Componente Principal	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	7,42	82,46	82,46
CP2	0,82	9,10	91,56
CP3	0,43	4,82	96,38
CP4	0,13	1,45	97,83
CP5	0,07	0,74	98,57
CP6	0,05	0,58	99,15
CP7	0,03	0,39	99,54
CP8	0,03	0,33	99,87
CP9	0,01	0,13	100,00

Figura 1 – Variação da análise de componente principal em função dos dois primeiros componentes com as variáveis analisadas.

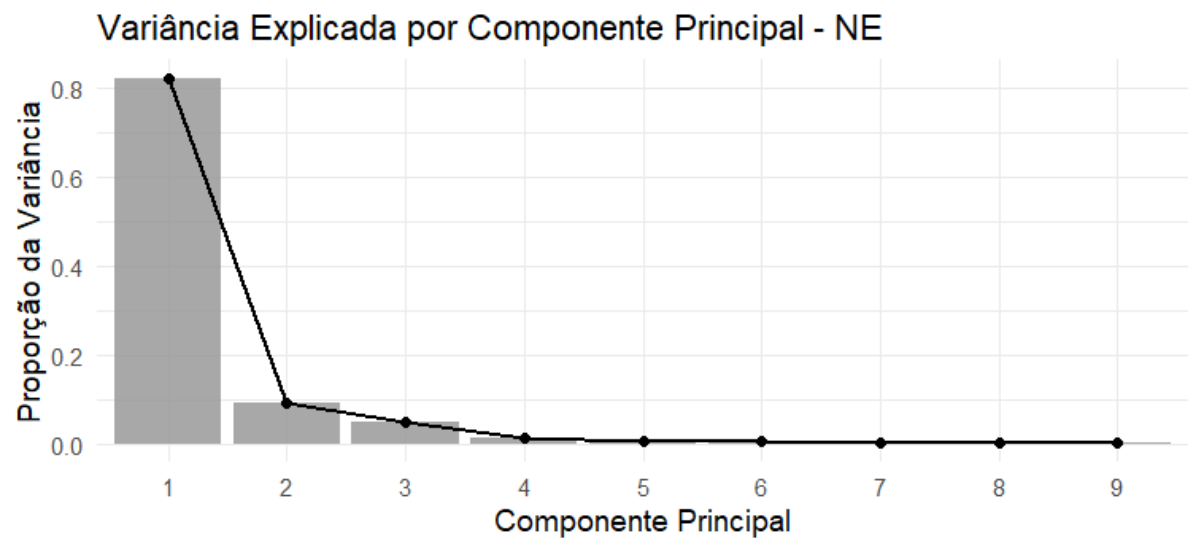


Figura 2 – Boxplot do desempenho (PC1) por Lote

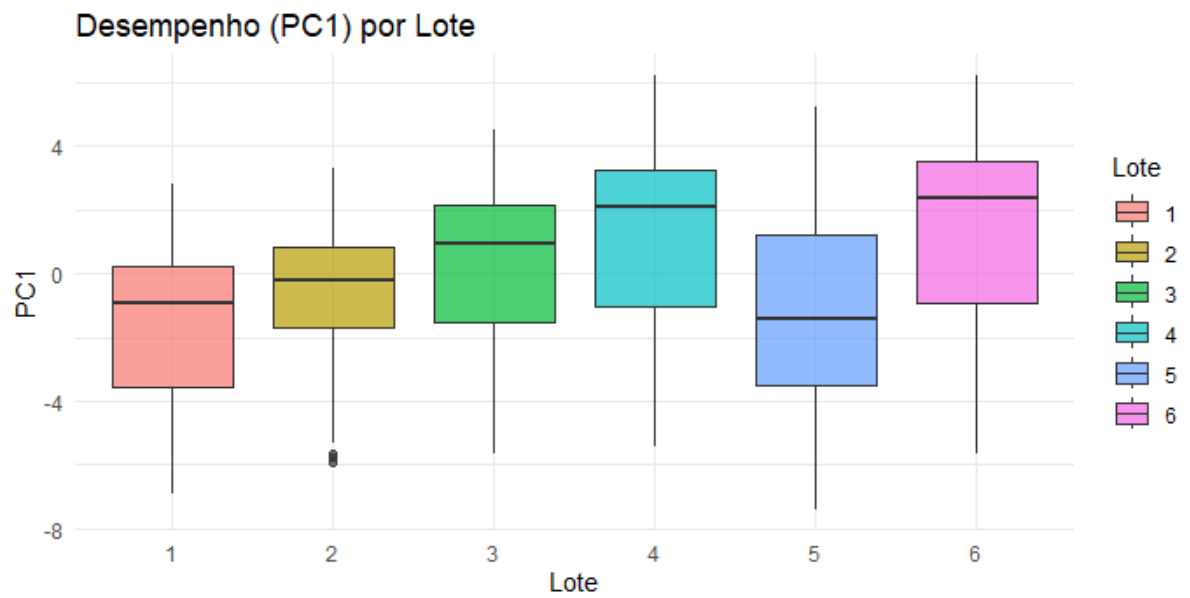


Figura 3 – Boxplot do desempenho (PC1) por Idade de Abate

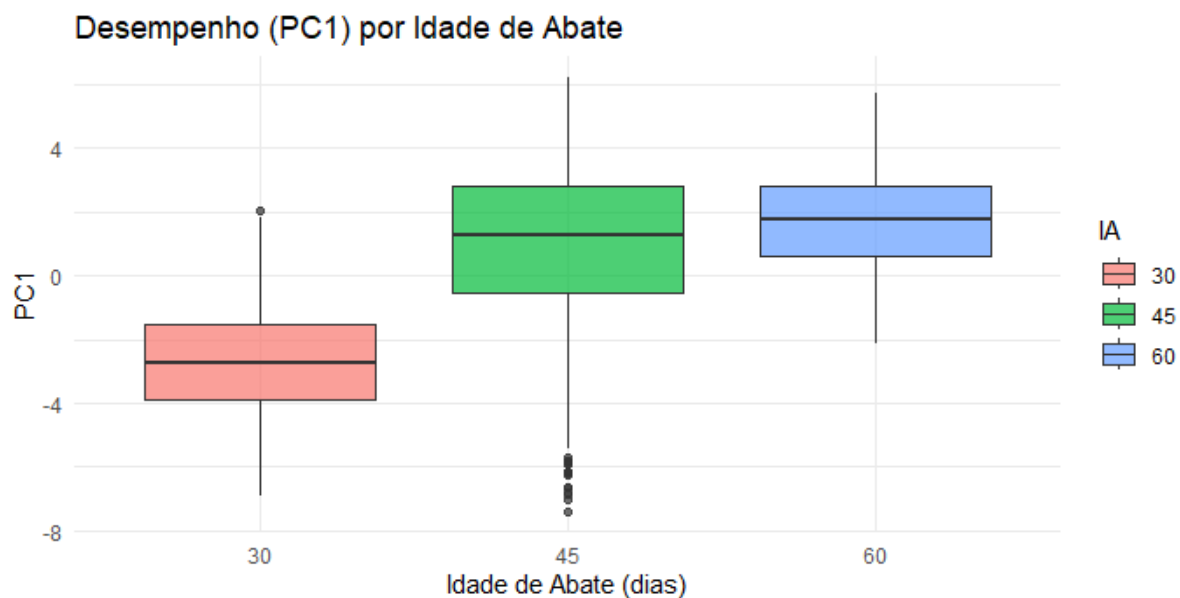
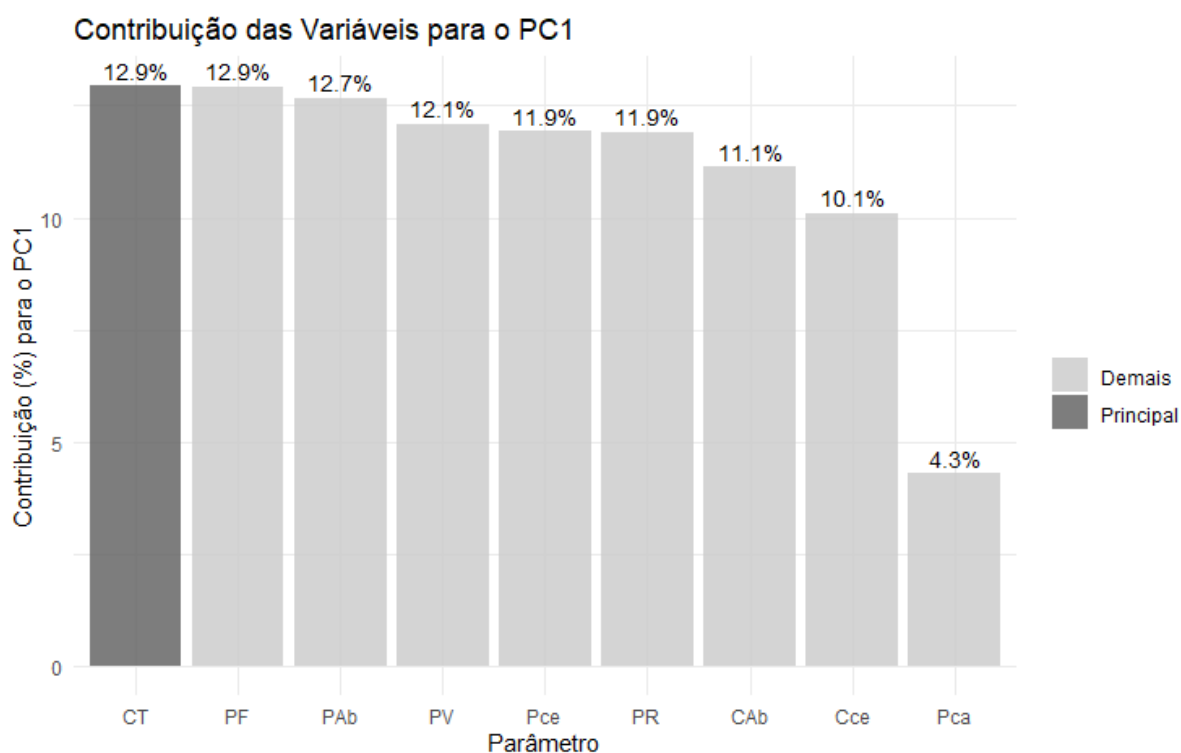


Figura 4 – Contribuição das variáveis no primeiro componente principal



5. ARTIGO 2

AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E MORFOMÉTRICAS DO CAMARÃO *PENAEUS VANNAMEI* EM DIFERENTES LINHAGENS POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Aquaculture (Amsterdam)

RESUMO

A carcinicultura moderna exige métodos eficientes para avaliar o desempenho produtivo, especialmente em programas de melhoramento genético que envolvem diferentes linhagens e estratégias de manejo, como a idade de abate. Este estudo aplicou a Análise de Componentes Principais (ACP) para sintetizar nove variáveis biométricas em um índice de desempenho global, avaliando o efeito da linhagem (LIN) e da idade de abate (IA) em camarões. A ACP foi realizada sobre a matriz de correlação das variáveis. O primeiro componente principal (PC1) explicou 84,15% da variância total e foi caracterizado por altas cargas positivas de todas as variáveis de peso e comprimento, estabelecendo-se como um índice robusto de desempenho zootécnico global. A variável com maior contribuição para o PC1 foi o Peso Vivo (PV), com 12,73%. A análise dos escores do PC1 por linhagem e idade de abate revelou que a mediana de desempenho aos 45 dias de cultivo foi estatisticamente similar à de 60 dias, sugerindo que a antecipação da colheita para 45 dias pode otimizar a produção ao reduzir custos de manutenção sem comprometer o desempenho. O PC1 demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a discriminação de desempenho e para a tomada de decisões de manejo na aquicultura.

Palavras-chave: Aquatec resistência, melhoramento, Nordeste, rendimento de filé.

5.1 Introdução

A aquicultura global está em crescimento exponencial nas últimas décadas, impulsionada pela crescente demanda por produtos aquáticos e pela necessidade de diversificar as fontes de proteína para a alimentação humana (FAO, 2022). Dentro desse cenário, a carcinicultura, em particular o cultivo do camarão branco do Pacífico (*Penaeus (P.) vannamei*), destaca-se como um dos setores mais dinâmicos e economicamente relevantes (Bondad-Reantaso et al., 2005).

A capacidade de *P. vannamei* de se adaptar a diferentes sistemas de cultivo, sua alta taxa de crescimento e sua tolerância a uma ampla gama de salinidades contribuíram para sua dominância na produção global de camarão cultivado (Wyban et al., 1993). Entretanto, o sucesso contínuo da carcinicultura é constantemente desafiado por fatores como surtos de doenças, flutuações na qualidade da água e a necessidade de otimizar o desempenho produtivo em diferentes ambientes de cultivo (Lightner, 2011).

Para mitigar esses desafios e aprimorar a eficiência da produção, programas de melhoramento genético têm sido desenvolvidos com o objetivo de selecionar linhagens de *P. vannamei*. Essas linhagens apresentam características desejáveis, como maior resistência a patógenos específicos, melhor taxa de crescimento, maior rendimento de filé e adaptabilidade a condições de cultivo intensivas ou semi-intensivas (Argue et al., 2002; Gitterle et al., 2005).

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma ferramenta estatística multivariada amplamente utilizada em estudos biológicos e zootécnicos para reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados complexos, identificando as variáveis que mais contribuem para a variação total e agrupando-as em componentes principais (Jolliffe, 2002). Essa técnica permite uma compreensão mais aprofundada das interrelações entre diferentes características de desempenho e pode ser particularmente útil na avaliação de linhagens genéticas, auxiliando na identificação de traços que são mais relevantes para o sucesso produtivo (Abdi e Williams, 2010).

Nessa conjuntura, considerando a relevância do melhoramento genético na sustentabilidade e rentabilidade da carcinicultura, este estudo teve como objetivo avaliar e comparar o desempenho de duas linhagens de *P. vannamei*, Aquatec Resistência e Nordeste, cultivadas em viveiros escavados, abatidos em diferentes idades.

5.2 Material e Métodos

A avaliação foi realizada por meio de diversas características zootécnicas e processadas utilizando a análise de componentes principais, visando identificar as principais características que discriminam o desempenho entre as linhagens e sua adaptabilidade às condições de cultivo. Os resultados deste trabalho fornecem informações valiosas para programas de melhoramento genético e para a otimização das práticas de manejo em sistemas de cultivo de *P. vannamei*.

Os experimentos foram realizados em viveiros escavados, sob condições de cultivo controladas e idênticas para ambas as linhagens Aquatec resistência e Nordeste, a fim de garantir a comparabilidade dos resultados.

5.2.1 Local de Estudo e Desenho Experimental

O presente estudo foi conduzido em viveiros escavados, localizados em uma fazenda de carcinicultura comercial, sob condições de cultivo semi-intensivo. O delineamento experimental consistiu na comparação de duas linhagens de *P. vannamei*: Aquatec Resistência, selecionada por sua maior tolerância a doenças, e Nordeste, uma linhagem regional.

Ambas as linhagens foram cultivadas simultaneamente em viveiros adjacentes, garantindo que estivessem sujeitas às mesmas condições ambientais e de manejo. O período de cultivo foi de 30, 45 e 60 dias.

5.2.2 Preparo dos Viveiros e Povoamento

Antes do povoamento, os viveiros foram drenados, secos, e o fundo preparado para otimizar a qualidade do solo. A calagem foi realizada com calcário agrícola para ajustar o pH do solo, seguido pelo enchimento com água proveniente de um canal de abastecimento, na entrada de água colocaram-se telas para evitar a predadores e competidores.

O povoamento foi realizado com pós-larvas (PL10-12) de ambas as linhagens, provenientes de laboratórios de larvicultura certificados, com densidade de estocagem de 20 camarões/m². As pós-larvas foram aclimatadas gradualmente às condições dos viveiros antes da liberação.

5.2.3 Manejo da Qualidade da Água

O monitoramento da qualidade da água foi realizado diariamente, com medições de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, amônia total e nitrito. O pH foi mantido em uma média de 7,2, a temperatura em aproximadamente 30°C, e os níveis de amônia e nitrato foram controlados e mantidos em 0 ppm.

A aeração foi realizada por meio de sopradores, com o objetivo de garantir níveis adequados de oxigênio dissolvido, especialmente durante as horas de maior consumo. A reposição de água deu-se conforme a necessidade, mantendo os parâmetros de qualidade dentro dos limites ideais para o cultivo de *P. vannamei*.

5.2.4 Alimentação e Biometria

A alimentação dos camarões realizou-se com ração comercial extrusada, formulada especificamente para *P. vannamei*, com teor proteico adequado para cada fase de cultivo. A frequência e a quantidade de ração foram ajustadas diariamente com base no consumo observado em bandejas de alimentação e na biomassa estimada dos animais.

Amostragens biométricas ocorreram a cada 15 dias com o objetivo de avaliar o crescimento dos camarões. Nessas amostragens, coletaram-se aleatoriamente 50 camarões por viveiro (um viveiro para cada linhagem) para a mensuração do peso vivo (g) e do comprimento total (cm). Ao final do ciclo de cultivo (30, 45 e 60 dias), realizou-se uma amostragem final para a avaliação das características de desempenho.

5.2.5 Análise Estatística

As análises foram realizadas utilizando o software estatístico R Studio (Build 513).

Para avaliar o efeito da linhagem, da idade de abate e da interação entre esses dois fatores sobre as características de desempenho produtivo dos camarões, usou-se a Análise de Variância (ANOVA) de dois fatores. Cada característica de desempenho foi considerada como variável dependente, enquanto a linhagem e a idade de abate foram tratadas como fatores independentes. O modelo estatístico empregado para cada característica foi:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + A_j + (LA)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Observação da característica de desempenho para a i -ésima linhagem, j -ésima idade de abate e k -ésima repetição.

μ = Média geral da característica.

L_i = Efeito da i -ésima linhagem (Aquatec Resistência, Nordeste).

A_j = Efeito da j -ésima idade de abate (30, 45, 60 dias).

$(LA)_{ij}$ = Efeito da interação entre a i -ésima linhagem e a j -ésima idade de abate.

ϵ_{ijk} = Erro experimental aleatório.

Para a análise multivariada, empregou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar as características que mais contribuíram para a variação total entre as linhagens. A ACP utilizou o software estatístico R (R Studio, 2024) (Lê et al., 2008).

Os componentes principais foram extraídos e interpretados com base nos autovalores e nas cargas fatoriais das variáveis.

5.3 Resultados

A ACP foi realizada para avaliar a variabilidade das características biométricas nas linhagens de camarão Nordeste e Aquatec (Figura 1).

A análise dos autovalores (Tabela 1) indicou que o primeiro componente principal (PC1) apresentou um autovalor de 7,57, explicando 84,15% da variância total. O segundo componente (PC2) teve um autovalor de 0,59, e a combinação de PC1 e PC2 constatou 90,75% da variância. Pelo critério de Kaiser (autovalor > 1), apenas o PC1 seria retido. No entanto, para fins de visualização e interpretação da forma, o PC2 foi considerado.

Na Figura 2, apresenta-se PC1 x PC2 comparando linhagens e idades de abate para variáveis morfométrica e desempenho global.

O PC1 foi interpretado como o índice de desempenho zootécnico global, pois apresentou cargas positivas altas para todas as variáveis biométricas (Tabela 2), sinalizando que indivíduos com maiores valores em todas as medidas de peso e comprimento tendem a ter escores mais altos no PC1.

O PC2, que explicou 6,60% da variância, foi dominado pela variável Pca (Peso da Cauda), com uma carga negativa alta (-0,969), sugerindo que esse componente pode estar relacionado a uma proporção corporal específica, possivelmente contrastando o peso da cauda com as demais medidas (Tabela 2).

A linhagem Nordeste apresentou melhores valores para variáveis analisadas na ACP, destacando melhor adaptação as condições de cultivos na região de Nossa Senhora do Socorro, nas condições de cultivo avaliados (Figura 3).

A análise do PC1, em função da Idade de Abate (IA) (Figura 4), demonstrou um aumento progressivo no desempenho (maiores escores de PC1), com o avanço da idade, o que é esperado devido ao crescimento dos animais.

A comparação estatística das medianas do PC1 apontou que o desempenho zootécnico aos 45 dias de cultivo é muito próximo ao desempenho alcançado aos 60 dias. Esse resultado sugere uma estagnação do crescimento ou uma redução na taxa de crescimento entre 45 e 60 dias, ou que o ganho de desempenho não justifica o custo adicional de manutenção por mais 15 dias.

Conforme a Figura 5, as variáveis PV (Peso Vivo) e PR (Peso Resfriado) foram as que mais contribuíram para o PC1, com 12,73% e 12,72%, respectivamente, seguidas por CT (12,37%) e PF (12,24%). A variável Pca (Peso da Cauda) foi a que menos contribuiu (5,84%).

Esses resultados indicam que a ACP foi eficaz em identificar as características biométricas que mais contribuem para a variabilidade em cada linhagem e na análise conjunta, fornecendo informações valiosas para o entendimento da conformação corporal e do crescimento dos camarões estudados.

5.4 Discussão

A aplicação da ACP neste estudo demonstrou ser uma metodologia altamente eficaz para a síntese de múltiplas variáveis biométricas em um único índice de desempenho zootécnico para camarões. O fato de o primeiro componente principal (PC1) ter explicado uma proporção excepcionalmente alta da variância total (84,15%) é um achado robusto que confirma a forte multicolinearidade entre as variáveis de peso e comprimento (Hair et al., 2010).

Essa alta correlação é esperada em estudos de crescimento, nos quais o aumento em uma dimensão corporal geralmente acompanha o aumento nas demais, validando o PC1 como um índice de tamanho global (Silva et al., 2016).

A interpretação do PC1 como um índice de desempenho é reforçada pelas altas cargas positivas de todas as nove variáveis biométricas (Figura 5). Isso significa que os indivíduos com escores mais altos no PC1 são, de fato, os camarões maiores e mais pesados em todas as suas dimensões. A retenção de apenas um componente principal pelo critério de Kaiser (autovalor > 1) sugere que a maior parte da informação contida no conjunto de dados pode ser resumida por essa única dimensão de tamanho. O PC2, embora tenha explicado uma porção menor da variância (6,60%), foi dominado pelo Peso da Cauda (Pca), indicando que, após o tamanho, a principal fonte de variação é a proporção corporal, um fator relevante para a qualidade de carcaça e rendimento (Nunes et al., 2016).

A análise da contribuição percentual das variáveis para o PC1 (Tabela 2) é crucial para a aplicação prática. O Peso Vivo (PV) e o Peso Resfriado (PR) foram as variáveis que mais contribuíram, assinalando que são as mais representativas do desempenho global. A recomendação de priorizar a medição do PV para o produtor é justificada, pois o PV é a variável mais fácil e rápida de ser mensurada em rotinas de biometria, e sua alta contribuição (12,73%) (Figura 5) assegura que ela sintetiza adequadamente o desempenho produtivo capturado pelo índice multivariado.

O resultado mais significativo para o manejo de cultivo reside na comparação dos escores do PC1 entre as idades de abate. A observação de que a mediana de desempenho aos 45 dias é estatisticamente próxima à de 60 dias (Figura 4) implica que o ganho de peso entre 45 e 60 dias não compensa o custo de manutenção (alimentação, energia, risco de doenças) por mais 15 dias. Em termos econômicos, a antecipação da colheita para 45 dias representa uma otimização do ciclo produtivo, maximizando a taxa de retorno sobre o investimento e reduzindo o tempo de exposição a riscos ambientais e sanitários (Samocha et al., 2007). Esse achado fornece uma base científica para a otimização da estratégia de colheita em programas de melhoramento genético ou em fazendas que utilizam linhagens com características de crescimento semelhantes.

A avaliação da separação das linhagens (LIN) no gráfico PC1 x PC2 (Figura 3) é fundamental para programas de melhoramento. As linhagens separam-se ao longo do PC1, mas não há diferenças genéticas significativas no desempenho de crescimento (tamanho). Se a separação ocorrer ao longo do PC2, as diferenças estariam mais relacionadas à forma ou proporção corporal.

5.5 Conclusão

A ACP foi uma ferramenta estatística eficaz para a avaliação do desempenho zootécnico de camarões, sintetizando nove variáveis biométricas em um único índice de desempenho global (PC1) que explicou 84,15% da variância total.

O PV foi a variável mais representativa desse índice, sendo recomendada como o indicador prático de desempenho para o produtor.

O achado mais relevante para o manejo de cultivo é que o desempenho zootécnico aos 45 dias de cultivo é comparável ao desempenho aos 60 dias. Esse resultado preconiza que a antecipação da colheita para 45 dias pode ser a estratégia mais econômica e eficiente, reduzindo custos operacionais e o tempo de exposição a riscos, sem comprometer o tamanho final do produto.

A ACP, portanto, oferece um método poderoso para a discriminação de desempenho e para a tomada de decisões de manejo na carcinicultura.

5.6 Referências Bibliográficas

Abdi, H., & Williams, LJ, 2010. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2(4), 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>.

Argue, BJ, Arce, SM, Lotz, JM, & Moss, SM, 2002. Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura Syndrome Virus. *Aquaculture*. 204(3-4), 447–460. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00830-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00830-4).

Bondad-Reantaso, MG, Subasinghe RP, Arthur, JR, Ogawa K, Chinabut S, Adlard R, Tan Z., & Shariff M., 2005. Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary Parasitology*. 132(3-4), 249–272.

Food and Agriculture Organization, 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation, Rome.

Gitterle, T., Gjerde, B., Gjedrem, T., & Rye, M., 2005. Genetic parameters for harvest weight and survival in *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*. 244(1-4), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.10.015>.

Hair, JF, Black, WC, Babin, BJ, & Anderson, RE, 2010. *Multivariate Data Analysis*. 7th ed. Pearson Education, Upper Saddle River.

Jolliffe, IT, 2002. *Principal component analysis*. John Wiley & Sons, Estados Unidos.

Lê, S., Josse, J., & Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 25(1), 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.

Lightner, DV, 2011. Shrimp diseases: a review. *Aquaculture*. 319(3-4), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.09.012>.

Nunes, AJP, Sá, MVC, Sabry-Neto, H., & Browdy, CL, 2016. Growth and survival of *Litopenaeus vannamei* fed with different protein levels in a biofloc system. *Aquaculture*. 451, 1–8.

Samocha, TM, Patnaik, S., Speed, M., Gandy, RL, & Ali, A., 2007. The effect of stocking density on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc-dominated system. *Aquaculture*. 266(1-4), 225–232.

Silva, MA, Lopera-Barrero, NM, Ribeiro, RP, & Poveda, VB, 2016. Use of principal component analysis to evaluate growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with different protein levels. *Aquaculture Research*. v. 47, n. 1, p. 123–132.

Wyban, JA, Lee, CS, & Sato, V., 1993. *Intensive shrimp aquaculture: technologies for sustainability*. World Aquaculture Society, Nevada.

Tabela 1 – Autovalores dos componentes principais e a variância explicativa (duas linhagens)

Componente	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP 1	7,57	84,15	84,15
CP 2	0,59	6,60	90,75
CP 3	0,33	3,69	94,44
CP 4	0,21	2,33	96,77
CP5	0,11	1,29	98,06
CP6	0,08	0,86	98,92
CP7	0,04	0,49	99,41
CP8	0,03	0,38	99,78
CP9	0,01	0,22	100,00

Tabela 2 – Contribuição das características nos componentes

Características	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
PV	0,357	0,075	0,062	-0,071	-0,196
CT	0,352	0,067	-0,086	-0,026	-0,186
PR	0,357	0,065	0,117	-0,127	-0,128
Cce	0,314	0,098	-0,750	0,540	-0,124
Pce	0,330	0,115	-0,341	-0,668	0,529
PAb	0,350	0,095	0,301	-0,028	-0,229
CAb	0,333	0,069	0,364	0,523	0,689
PF	0,350	0,102	0,269	-0,053	-0,304
Pca	0,242	-0,969	0,026	-0,015	0,008
Características	CP6	CP7	CP8	CP9	
PV	-0,245	-0,503	-0,118	-0,702	
CT	-0,734	0,518	0,119	0,096	
PR	-0,116	-0,556	-0,089	0,701	
Cce	0,236	-0,034	-0,030	0,034	
Pce	0,157	0,086	0,017	-0,050	
PAb	0,360	0,383	-0,670	-0,006	
CAb	-0,061	-0,002	0,056	-0,022	
PF	0,415	0,116	0,715	-0,046	
Pca	0,040	0,016	0,006	-0,009	

Figura 1 – Componente principal em função contribuição de cada ACPs

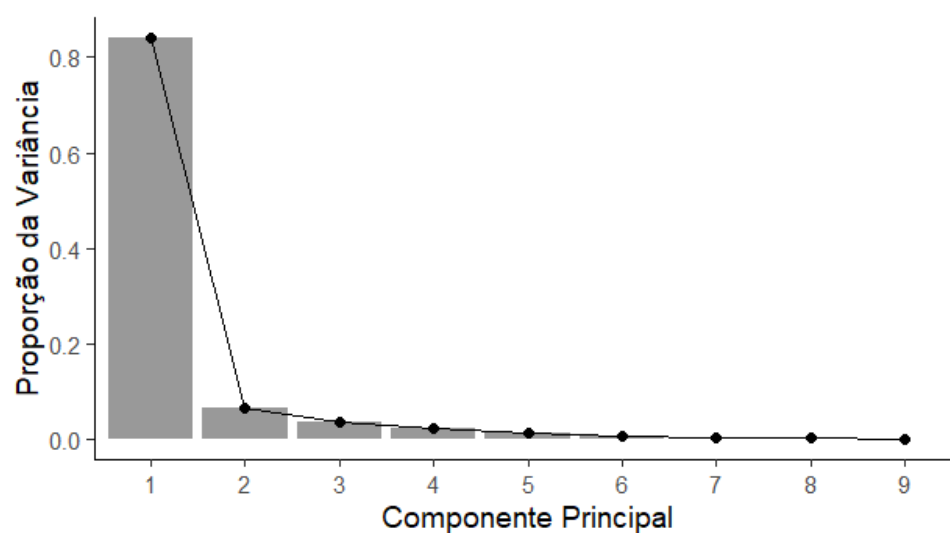


Figura 2 – PC1 x PC2 comparando linhagens e idades de abate para variáveis morfométrica e desempenho global

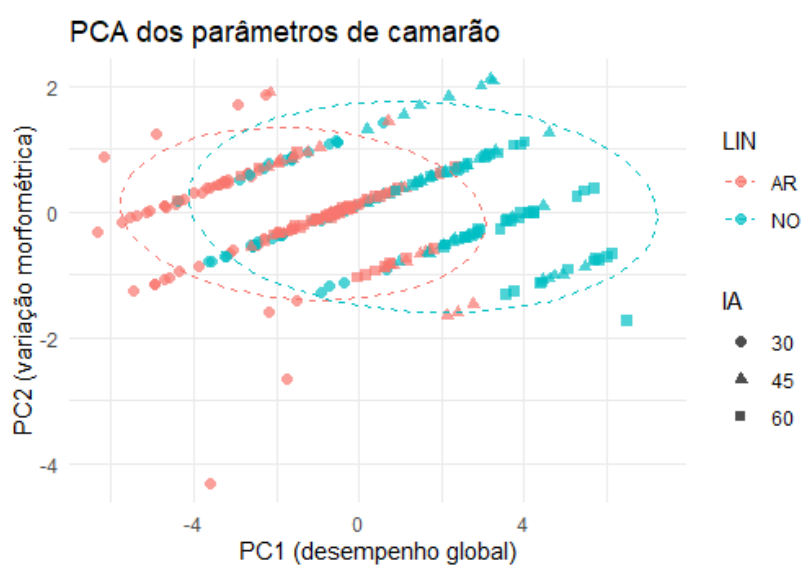


Figura 3 – Comparação de desempenho entre as Linhagens

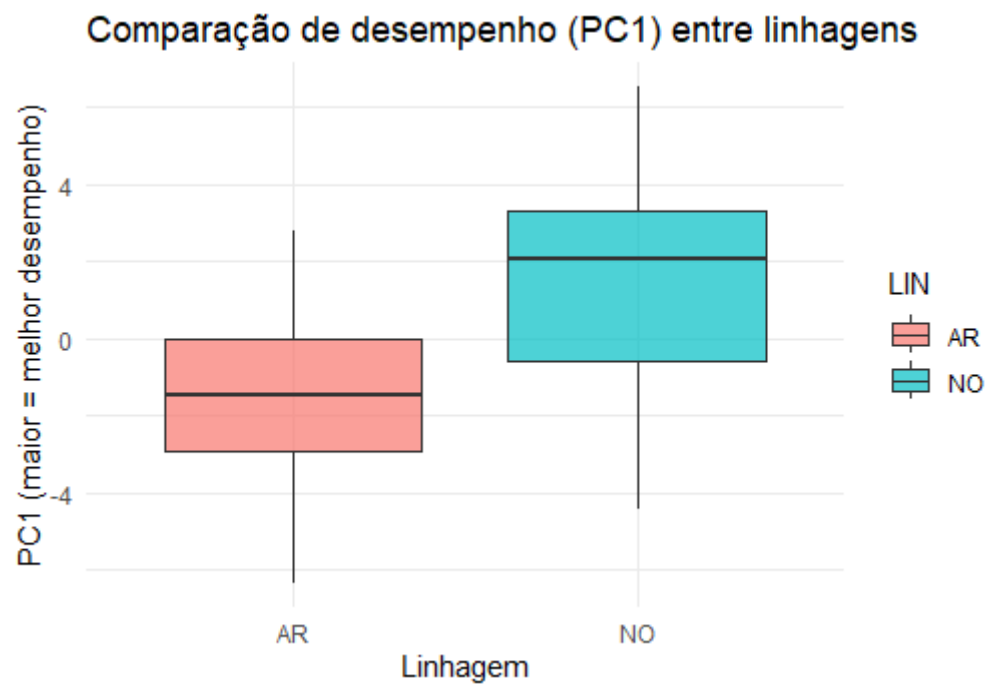


Figura 4 – Comparação de desempenho entre as Linhagens

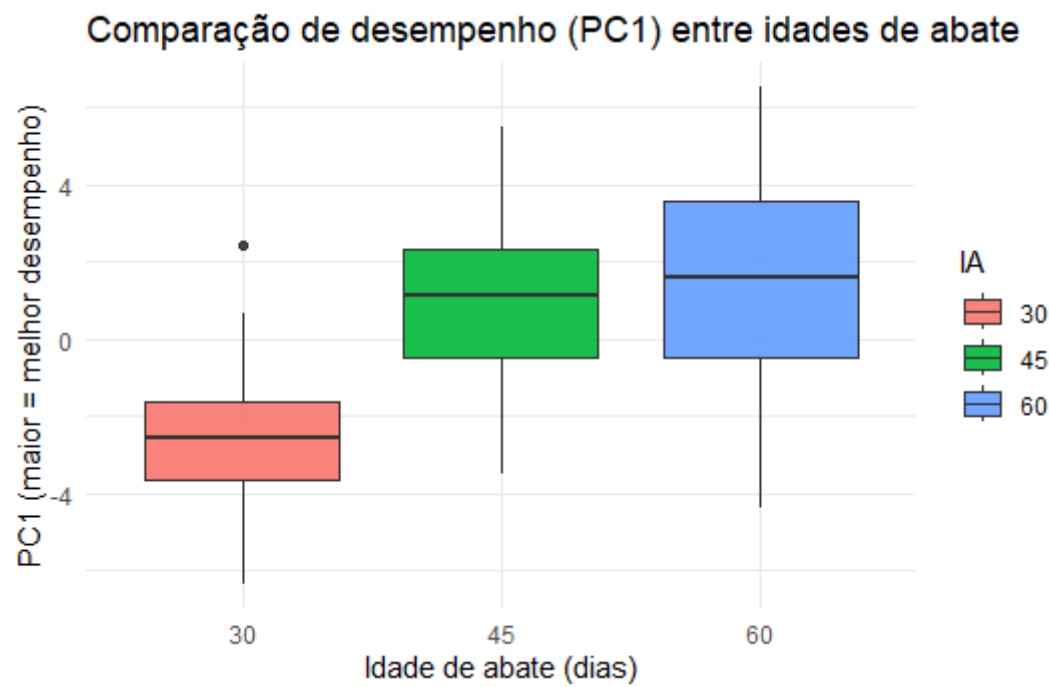
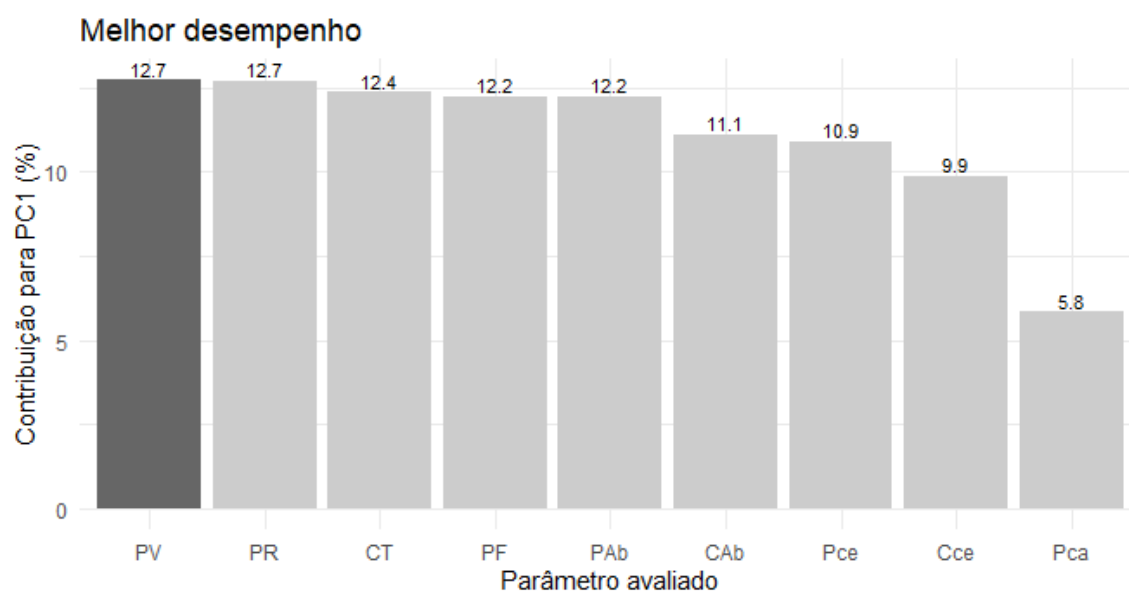


Figura 5 – Contribuição de cada variável ao PC1 e PC2



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese de doutorado, estruturada em dois artigos científicos, cumpriu seu objetivo central de avaliar as características de desempenho e morfométricas do camarão marinho *P. vannamei* em diferentes idades e linhagens, utilizando a ACP) como ferramenta estatística fundamental. Os resultados confirmam a eficácia da ACP na síntese de dados zootécnicos complexos e fornecem recomendações práticas que impactam diretamente a sustentabilidade e a rentabilidade da carcinicultura brasileira.

A avaliação do desempenho zootécnico em aquicultura é inerentemente complexa, envolvendo a medição de múltiplas variáveis correlacionadas, como peso, comprimento e diversas medidas morfométricas. A redundância e a alta dimensionalidade desses dados frequentemente dificultam a identificação de indicadores práticos e a tomada de decisão no campo.

Nesse contexto, a ACP mostrou-se uma ferramenta de elevado valor analítico. Em ambos os estudos, a técnica foi capaz de condensar a variação de nove variáveis biométricas em um único índice de desempenho global, o PC1, que respondeu de forma consistente por uma parcela majoritária da variância total (82,46% no Artigo 1 e 84,15% no Artigo 2). Esse achado sustenta a interpretação de que o desempenho de *P. vannamei* em viveiros escavados configura-se como um fenômeno predominantemente unidimensional, governado por um fator comum de crescimento.

A capacidade da ACP de sintetizar a informação complexa em um único índice robusto é a principal contribuição metodológica desta tese. Ao invés de monitorar e analisar nove variáveis separadamente, o produtor pode concentrar-se em um ou dois indicadores práticos que representam o PC1, simplificando o manejo e a coleta de dados.

O Artigo 1, focado na avaliação em diferentes idades, identificou o CT como o indicador mais eficiente para o monitoramento de rotina. O CT apresentou a maior contribuição para o PC1, e sua medição é operacionalmente vantajosa por ser rápida e de baixo estresse para os animais.

Por outro lado, o Artigo 2, ao avaliar o desempenho em diferentes linhagens, destacou o PV como a variável mais representativa do índice de desempenho global. Embora o PV seja um indicador mais tradicional, a ACP reforça sua importância como medida abrangente de crescimento.

A aparente diferença entre os indicadores práticos (CT no Artigo 1 e PV no Artigo 2) pode ser interpretada como uma complementaridade: o CT é ideal para o monitoramento frequente e não invasivo, enquanto o PV (e o PF, destacado no Artigo 1 como o principal atributo de crescimento) é o indicador final e mais relevante para a avaliação da eficiência produtiva e o valor de mercado.

O achado de maior relevância, com impacto econômico direto, refere-se à conclusão do Artigo 2 de que o desempenho zootécnico aos 45 dias de cultivo é comparável ao observado aos 60 dias. Esse resultado indica uma oportunidade concreta de antecipação da colheita, o que pode resultar em importantes benefícios produtivos e econômicos. Entre eles, destacam-se: (i) a redução dos custos operacionais, associada ao menor consumo de ração, energia elétrica utilizada na aeração e demanda por mão de obra por ciclo produtivo; (ii) a diminuição do risco produtivo, em função do menor tempo de exposição dos animais a fatores adversos, como doenças e variações ambientais; e (iii) o aumento da produtividade anual, possibilitado pela realização de um maior número de ciclos de cultivo ao longo do ano.

Nesse sentido, ao evidenciar que a maior parte da variação do desempenho produtivo já se encontra consolidada aos 45 dias de cultivo, a ACP fornece uma base científica sólida para a adoção de estratégias de manejo mais ágeis e eficientes, orientadas à maximização do retorno sobre o investimento na carcinicultura.

Recomenda-se que estudos futuros integrem as variáveis de desempenho e morfométricas com dados de qualidade da água (oxigênio dissolvido, pH, amônia, etc.) e de

manejo (densidade de estocagem, tipo de ração). A aplicação da ACP a este conjunto de dados mais amplo pode revelar interações complexas e fornecer um modelo preditivo mais completo para o desempenho do *P. vannamei* em viveiros escavados.

Em suma, esta tese consolida a ACP como uma ferramenta indispensável para a aquicultura moderna. Ao traduzir a complexidade biológica em indicadores práticos e estratégias de manejo otimizadas, o trabalho contribui significativamente para a evolução da carcinicultura, pavimentando o caminho para uma produção mais eficiente, sustentável e economicamente viável. O conhecimento gerado serve como um alicerce sólido para a tomada de decisões, desde a seleção de reprodutores até o momento ideal de colheita.