



**UFC**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CAMPUS RUSSAS**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOANA NARA BARRETO DA SILVA**

**PERMEABILIDADE À ÁGUA DE SOLOS UTILIZADOS NO FUNDO DE  
RESERVATÓRIOS DA CARCINICULTURA: UM ESTUDO DE CASO EM  
JAGUARUANA-CE**

**RUSSAS - CE**

**2022**

JOANA NARA BARRETO DA SILVA

PERMEABILIDADE À ÁGUA DE SOLOS UTILIZADOS NO FUNDO DE  
RESERVATÓRIOS NA CARCINICULTURA: UM ESTUDO DE CASO EM  
JAGUARUANA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil do Campus  
Russas da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Me. Daniela Lima  
Machado da Silva.

RUSSAS-CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S58p Silva, Joana Nara Barreto da.

Permeabilidade à água de solos utilizados no fundo de reservatórios na carcinicultura: um estudo de caso em Jaguaruana-CE / Joana Nara Barreto da Silva. – 2022.

57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2022.

Orientação: Prof. Me. Daniela Lima Machado da Silva.

1. carcinicultura. 2. permeabilidade à água. 3. reservatórios de camarão. I. Título.

CDD 620

---

JOANA NARA BARRETO DA SILVA

PERMEABILIDADE À ÁGUA DE SOLOS UTILIZADOS NO FUNDO DE  
RESERVATÓRIOS NA CARCINICULTURA: UM ESTUDO DE CASO EM  
JAGUARUANA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil do Campus  
Russas da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: / / .

BANCA EXAMINADORA

---

Profª. Ms. Daniela Lima Machado da Silva (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) - campus Russas

---

Me. Thiago Fernandes da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Crateús

---

Engenheira Auciane Dyrllen da Silva (Examinadora Externa)

A Deus.

Aos meus pais, a minha irmã e a minha avó,  
por todos os dias me dar força e motivação  
para superar as dificuldades e persistir nos  
meus sonhos. A minha vitória também é de  
vocês.

## AGRADECIMENTOS

Na Bíblia em Filipenses 4:13 há um versículo que diz: “tudo posso naquele que me fortalece”, desta forma, não poderia começar esses agradecimentos sem mostrar o quanto sou grata a Deus, pela minha vida, por todas as bênçãos com a qual me agraciou e por ter sido o meu sustento e refúgio em todos os momentos de adversidades.

Agradeço imensamente as pessoas mais importantes da minha que estiveram presentes em cada etapa deste trabalho. Aos meus pais Raimundo e Hildamar por serem minha fonte de inspiração e por terem auxiliado na realização dos ensaios laboratoriais. A minha avó que sempre orou por mim e esteve ao meu lado todos os dias enquanto eu estava escrevendo essa pesquisa. A minha irmã que sempre estava disposta a me ouvir e dar conselhos nos momentos de angústias. Obrigado por serem meu alicerce, por todos os momentos de alegria, pelas orações, incentivos, por sempre acreditarem em mim e serem os meus principais apoiadores. Serei eternamente grata por ter vocês em minha vida e nada dito aqui será o suficiente para expressar todo o meu amor e gratidão.

Agradeço também a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos em sala de aula e acompanharam toda minha jornada enquanto universitária. Sou grata especialmente à minha orientadora Daniela Lima Machado pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo. Obrigada por estar comigo desde a primeira vez que fui sua bolsista, me orientando, dando conselhos e contribuindo para o meu desenvolvimento. Durante todo esse tempo juntas, além de orientadora, você foi uma grande amiga, obrigada pela paciência, pela confiança e por acreditar na minha capacidade. Eu realmente aprendi muito com você.

Aos participantes da banca examinadora, prof. Me. Thiago Fernandes da Silva e a Engenheira Auciane Dyrllen da Silva, por terem disposto do seu tempo para avaliar este trabalho. Obrigada pelas valiosas sugestões e colaborações.

Aos bolsistas do Programa de Iniciação Acadêmica da UFC campus Russas, a técnica de laboratório Myckelle e ao professor Roberto por me auxiliarem durante os ensaios tornando essa pesquisa possível. Obrigada por toda a paciência e dedicação.

A todos os meus amigos que contribuíram nesta minha trajetória, em especial o Eugênio, a Jaiza, o Guilherme, o Gustavo, a Karina e o Vinicius por todas as risadas, brincadeiras, conselhos, "rolês", e por todos os momentos vivenciados. A nossa amizade foi minha base e porto seguro dentro da universidade, sou eternamente grata por ter conhecido cada um de vocês.

A Universidade Federal do Ceará, corpo docente, direção, administração e todos os colaboradores que me deram a oportunidade de me graduar no curso de Engenharia Civil em um ambiente de aprendizagem saudável e inspirador. Em especial, agradeço a empresa júnior Vale J, que proporcionou novas experiências me transformando em uma pessoa melhor tanto no âmbito pessoal como no profissional e o Programa de Iniciação a Docência, que permitiu conhecer a vivência docente, além de ter proporcionado apoio financeiro que foi essencial para o decorrer da minha graduação.

Muito obrigada a todos que de forma direta e indireta contribuíram significativamente durante a minha jornada e com certeza me fizeram uma pessoa melhor. Agradeço imensamente por ter dividido esse momento significativo da minha vida com todos vocês.

“Podemos não ganhar todas as batalhas, mas devemos dar sempre o nosso máximo”  
(HOMEM ARANHA).

## RESUMO

A carcinicultura é um ramo específico da aquicultura que vem se expandindo exponencialmente nos últimos anos, sobretudo na região do Baixo Jaguaribe no estado do Ceará, com destaque para o município de Jaguaruana. Por ser uma atividade que demanda grande quantidade de água para o seu funcionamento, a medida que vai se desenvolvendo economicamente estimulando a abertura de novas áreas produtoras, a pressão sobre os recursos hídricos disponíveis aumenta. Parte dessa demanda se deve, dentre outros fatores, à necessidade de suprir as perdas por infiltração no solo. Desta forma, para garantir a sustentabilidade do setor quanto ao uso racional dos recursos hídricos de forma a contribuir para redução dos impactos relacionados à infiltração, se torna imperativo estudos acerca da permeabilidade do solo. Nesse tocante, o objetivo deste trabalho é analisar a permeabilidade do solo utilizado no fundo de um reservatório na carcinicultura localizado no interior de Jaguaruana – CE. Para isso, foram realizados ensaios em laboratório de caracterização geotécnica e determinação do coeficiente de permeabilidade à água sob carga variável de três amostras de solo coletadas em pontos distintos do fundo de um viveiro que estava em fase inicial de construção. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que todos os pontos coletados apresentaram coeficientes de permeabilidade na ordem de  $10^{-7}$  cm/s. Considerando os valores estabelecidos pela FAO (2006), conclui-se que o solo do local em estudo se mostrou apropriado para a utilização na construção dos viveiros.

**Palavras-chave:** carcinicultura; permeabilidade à água; reservatórios de camarão.

## ABSTRACT

Shrimp farming is a specific branch of aquaculture that has been expanding exponentially in recent years, especially in the Baixo Jaguaribe region in the state of Ceará, with emphasis on the municipality of Jaguaruana. Because it is an activity that demands a large amount of water for its operation, as it develops economically, stimulating the opening of new producing areas, the pressure on available water resources increases. Part of this demand is due, among other factors, to the need to cover losses due to soil infiltration. Thus, to ensure the sustainability of the sector regarding the rational use of water resources in order to contribute to the reduction of impacts related to infiltration, studies on soil permeability become imperative. In this regard, the objective of this work is to analyze the permeability of the soil used at the bottom of a reservoir in shrimp farming located in the interior of Jaguaruana - CE. For this, laboratory tests were carried out for geotechnical characterization and determination of the water permeability coefficient under variable load of three soil samples collected at different points on the bottom of a nursery that was in the initial construction phase. Based on the obtained results, it was verified that all collected points presented permeability coefficients in the order of  $10^{-7}$  cm/s. Considering the values established by FAO (2006), it is concluded that the soil of the place under study proved to be suitable for use in the construction of nurseries.

**Keywords:** shrimp farming; water permeability; shrimp shells.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | – Produção de camarão no estado do Ceará em 2021.....   | 22 |
| Figura 2  | – Volume de outorgas vigentes, em m <sup>3</sup> , por município da sub-bacia do baixo Jaguaribe em novembro de 2022.....   | 24 |
| Figura 3  | – Esquema simplificado de um reservatório aquícola do tipo (a) Viveiro elevado, (b) Viveiro semiescavado e (c) Viveiro escavado.....  | 25 |
| Figura 4  | – Esquema simplificado do experimento de Darcy.....   | 27 |
| Figura 5  | – Intervalos de variação do coeficiente de permeabilidade segundo A. Casagrande e R.R. Fadum.....   | 28 |
| Figura 6  | – Esquema simplificado do permeâmetro de carga constante.....   | 31 |
| Figura 7  | – Esquema simplificado do permeâmetro de carga variável.....  | 32 |
| Figura 8  | – Aparelho utilizado no ensaio para determinação da permeabilidade do solo – Método A.....  | 32 |
| Figura 9  | – Aparelho utilizado no ensaio para determinação da permeabilidade do solo – Método B.....  | 33 |
| Figura 10 | – Vista superior da localização fazenda.....  | 35 |
| Figura 11 | – Construção de um dos reservatórios da fazenda.....  | 35 |
| Figura 12 | – Localização dos Pontos de Coleta das Amostras.....  | 36 |
| Figura 13 | – Preparação das amostras para os ensaios de caracterização geotécnica:<br>a) Processo de secagem natural; b) Destorroamento; c) Quarteamento;<br>d) Peneiramento.....  | 37 |
| Figura 14 | – Principais fases dos ensaios de caracterização geotécnica: a) série de peneiras; b) ensaio de sedimentação; c) solo separado para a obtenção da umidade; d) ensaio do picnômetro para obtenção da densidade real; e) limites de consistência; f) ensaio de compactação..... | 39 |
| Figura 15 | – Permeâmetro a carga variável da UFC – Campus Pici.....  | 40 |
| Figura 16 | – Moldagem e vedação do corpo de prova no permeâmetro.....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 17 – Inserção de camada permeável sobre o corpo de prova.....          | 41 |
| Figura 18 – Processo de saturação dos corpos de provas.....                   | 41 |
| Figura 19 – Leitura do desnível de água na bureta.....                        | 42 |
| Figura 20 – Carta de plasticidade de Casagrande para os pontos estudados..... | 46 |
| Figura 21 – Classificação textural dos pontos estudados pela EMBRAPA.....     | 47 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 – Curva granulométrica do ponto P1, P2 e P3..... | 44 |
| Gráfico 2 – Curva de compactação do ponto P1, P2 e P3..... | 47 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Volume de outorgas vigentes, em m <sup>3</sup> , por tipo de uso no município de Jaguaruana-CE em novembro de 2022..... | 24 |
| Tabela 2 – Resultados dos ensaios de umidade e densidade real dos grãos.....   | 43 |
| Tabela 3 – Resumo das frações granulométricas dos pontos coletados.....  | 44 |
| Tabela 4 – Resumo dos limites de consistência dos pontos coletados.....  | 45 |
| Tabela 5 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio de compactação.....   | 48 |
| Tabela 6 – Leituras durante o ensaio de permeabilidade para o ponto P1.....  | 48 |
| Tabela 7 – Leituras durante o ensaio de permeabilidade para o ponto P2.....  | 49 |
| Tabela 8 – Leituras durante o ensaio de permeabilidade para o ponto P3.....  | 49 |
| Tabela 9 – Resumo dos valores obtidos no ensaio de permeabilidade.....   | 49 |
| Tabela 10 – Comparação das classificações de permeabilidade para o solo em estudo...   | 50 |

## **LISTA DE QUADROS**

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Classificação do solo conforme os valores do coeficiente de permeabilidade. | 29 |
| Quadro 2 – Valores típicos para classificação do coeficiente de permeabilidade.....    | 29 |
| Quadro 3 - Resumo dos Ensaios de caracterização geotécnica e métodos empregados....    | 38 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                   |  |
|-------------------|--|
| ABCC              | Associação Brasileira de Criadores de Camarão                      |
| ABNT              | Associação Brasileira de Normas Técnicas                           |
| AASHTO            | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| CE                | Estado do Ceará  |
| CL                | Argila de baixa plasticidade                                       |
| CL-ML             | Argila siltosa de baixa plasticidade                               |
| cm                | centímetro   |
| cm <sup>2</sup>   | centímetro quadrado  |
| cm/s              | centímetro por segundo   |
| COGERH            | Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos                          |
| EMBRAPA           | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                        |
| FAO               | Food and Agriculture Organization of the United Nations            |
| g/cm <sup>3</sup> | grama por centímetro cúbico  |
| IBGE              | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                    |
| kg                | Quilograma   |
| km                | Quilômetro   |
| IP                | Índice de Plasticidade   |
| LL                | Limite de Liquidez   |
| LP                | Limite de Plasticidade   |
| m                 | Metro  |
| m <sup>3</sup>    | Metro cúbico   |
| m/s               | Metro por segundo  |
| NBR               | Norma Brasileira Regulamentar                                      |
| SEBRAE            | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas           |
| s                 | segundo  |
| SM                | Areia Siltosa  |
| SUCS              | Sistema Unificado de Classificação de Solos                        |
| UFC               | Universidade Federal do Ceará                                      |
| USDA              | United States Department of Agriculture                            |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |   |
|------------|---|
| %          | Porcentagem                                 |
| °C         | Graus celsius                               |
| K          | Coeficiente de permeabilidade               |
| A          | Área da seção transversal do corpo de prova |
| a          | Área da seção transversal da bureta         |
| Fc         | Fator de correção                           |
| $h_1$      | Carga piezométrica inicial                  |
| $h_2$      | Carga piezométrica final                    |
| $\Delta h$ | Variação da carga piezométrica              |
| L          | Espessura do corpo de prova                 |
| t          | Tempo decorrido do ensaio                   |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>   | <b>17</b> |
| <b>1.1. Objetivos de Pesquisa</b>                                      | <b>18</b> |
| <i>1.1.1. Objetivo Geral</i>   | <i>18</i> |
| <i>1.1.2. Objetivos específicos</i>                                    | <i>18</i> |
| <b>1.2. Estrutura do Trabalho</b>                                      | <b>18</b> |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.1. Carcinicultura</b>   | <b>20</b> |
| <i>2.1.1. Definição e histórico de Carcinicultura</i>                  | <i>20</i> |
| <i>2.1.2. Carcinicultura no Brasil</i>                                 | <i>20</i> |
| <i>2.1.3. Carcinicultura no Ceará</i>                                  | <i>21</i> |
| <i>2.1.4. Carcinicultura em Jaguaruana-CE</i>                          | <i>22</i> |
| <i>2.1.5. Elementos construtivos de um reservatório de camarão</i>     | <i>25</i> |
| <b>2.2. A permeabilidade do solo à água</b>                            | <b>27</b> |
| <i>2.2.1. A permeabilidade dos reservatórios na carcinicultura</i>     | <i>29</i> |
| <i>2.2.2. Ensaio laboratoriais para determinação da permeabilidade</i> | <i>30</i> |
| <b>3. METODOLOGIA</b>  | <b>34</b> |
| <b>3.1. Campo Experimental</b>   | <b>34</b> |
| <b>3.2. Coleta das amostras</b>  | <b>36</b> |
| <b>3.3. Ensaio laboratoriais</b>                                       | <b>36</b> |
| <i>3.3.1. Ensaio de Caracterização geotécnica</i>                      | <i>37</i> |
| <i>3.3.2. Ensaio de permeabilidade do solo</i>                         | <i>39</i> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>                                      | <b>43</b> |
| <b>4.1. Caracterização Geotécnica</b>                                  | <b>43</b> |
| <i>4.1.1. Umidade higroscópica e densidade real dos grãos</i>          | <i>43</i> |
| <i>4.1.2. Análise Granulométrica</i>                                   | <i>44</i> |
| <i>4.1.3. Limites de consistência</i>                                  | <i>45</i> |
| <i>4.1.4. Compactação</i>  | <i>47</i> |
| <b>4.2. Permeabilidade</b>   | <b>48</b> |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>   | <b>51</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b>   | <b>52</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A carcinicultura ou carcinocultura, que nomeia a criação de camarão em cativeiro, é uma atividade econômica contemplada dentro da aquicultura que se expandiu exponencialmente nos últimos anos. No Brasil, ela vem se intensificando expressivamente no Nordeste, sobretudo no Estado do Ceará, atual líder da produção nacional (ABCC, 2022).

Apesar de tradicionalmente se desenvolver em regiões costeiras, o crescimento da atividade no Ceará vem ocorrendo cada vez mais em áreas interioranas de águas com baixa salinidade, no qual se destaca a região do Baixo Jaguaribe (ALMEIDA; SILVA, 2022).

Ocorre que os municípios produtores da região do Baixo Jaguaribe, como é o caso de Jaguaruana, objeto de estudo deste trabalho, estão localizados em uma área de clima semiárido, caracterizado pela escassez hídrica. À medida que esta atividade vai se desenvolvendo economicamente estimulando a abertura de novas áreas produtoras, a pressão sobre os recursos hídricos disponíveis aumenta, uma vez que, a água é o principal insumo utilizado para viabilizar a produção.

Efetivamente, o cultivo de camarão é uma atividade de uso intensivo da água, pois necessita de um suprimento suficiente para atender toda a demanda do manejo. Dentre os fatores que influenciam nessa demanda, Oliveira (2000) destaca a perda de água por infiltração como um dos mais importantes, sobretudo quando os reservatórios estão na fase inicial de funcionamento, pois segundo o autor é quando ocorrem as maiores perdas, principalmente nos dois primeiros anos.

De acordo com Carvalho e Silva (2006), define-se como infiltração o processo pelo qual a água atravessa o subsolo. A propriedade que representa o nível de dificuldade com que este escoamento ocorre na base dos reservatórios na carcinicultura é a permeabilidade, que depende, entre outros fatores, das características físicas do solo.

É importante salientar que na carcinicultura um solo sem permeabilidade adequada, influencia não só no aumento da demanda de água e energia para suprir as perdas por infiltração, mas pode afetar também a qualidade das águas subterrâneas devido a presença de dejetos animais e de químicos nos efluentes que irão percolar através de seus poros.

Desse modo, a intensa produção de camarões e consumo dos recursos hídricos sem a utilização de um solo com permeabilidade adequada podem comprometer a qualidade e disponibilidade da água. Por ser um recurso natural limitado essencial para a vida, tornam-se necessárias medidas que proporcionem a sua preservação e economia. Assim, para garantir a sustentabilidade da carcinicultura quanto ao uso racional dos recursos hídricos de forma a

contribuir para redução dos impactos relacionados à infiltração, se torna imperativo estudos acerca da permeabilidade do solo.

Diante desse cenário, o enfoque deste trabalho é propor uma resposta para o seguinte problema de pesquisa: O solo utilizado na base de um reservatório na carcinicultura no interior de Jaguaruana-CE possui permeabilidade apropriada? Em conformidade com o problema de pesquisa, definiu-se os objetivos a seguir.

## **1.1. Objetivos de Pesquisa**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Analisar a permeabilidade à água do solo utilizado no fundo de um reservatório na carcinicultura localizado no interior de Jaguaruana – CE.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Realizar a caracterização geotécnica do solo utilizado no fundo de um reservatório na carcinicultura;
- Avaliar a influência das características geotécnicas na permeabilidade à água do solo;
- Identificar o comportamento hidráulico do solo por meio do coeficiente de permeabilidade (k) utilizando o ensaio do permeâmetro com carga variável;
- Verificar a adequabilidade do solo em estudo para o seu uso na base de tanques utilizados na carcinicultura.

## **1.2. Estrutura do Trabalho**

Para alcançar o seu objetivo central, este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos, sendo esta introdução o primeiro deles. O capítulo dois, intitulado como referencial teórico, fundamenta este trabalho através dos conceitos concebidos por diferentes autores, em uma revisão bibliográfica, permitindo um maior aprofundamento sobre o tema.

Posteriormente, no capítulo três, serão apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, descrevendo brevemente o campo experimental e destacando o procedimento metodológico desde a coleta das amostras até a obtenção dos resultados em laboratório, elencando todas as etapas necessárias para o cumprimento do objetivo desta pesquisa.

Na sequência, no capítulo quatro, encontram-se os resultados obtidos com os experimentos laboratoriais desta pesquisa, onde será executada a análise e discussão destes. E, por fim, no capítulo cinco, são apresentadas as considerações finais.

É importante salientar que este trabalho tomou como referência as informações produzidas pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2006) que em seu treinamento “Métodos Simples para Aquicultura”, tratou das características do solo de relevância para a execução de reservatórios na aquicultura, incluindo a sua permeabilidade, foco principal deste estudo.

---

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Carcinicultura

Este capítulo apresenta uma revisão na literatura sobre a carcinicultura e seu panorama geral no Brasil, no Ceará e no município de Jaguaruana. Nele serão abordados também alguns aspectos técnicos considerados na construção dos reservatórios de camarão, sobretudo, a importância do estudo do solo.

#### 2.1.1. Definição e histórico de Carcinicultura

O aumento na demanda mundial por alimentos saudáveis de alto valor nutritivo aliado ao acelerado crescimento populacional, tem tornado a atividade da carcinicultura como uma alternativa viável tanto na perspectiva alimentícia, quanto de negócio, principalmente para pequenos produtores rurais, visto que essa atividade não necessita de qualificação especializada e apresenta um rápido retorno de investimento (SEBRAE, 2019).

Segundo Cunha (2004), o termo carcinicultura deriva do grego *karkínos*, que significa caranguejo + cultura, o que de início lhe conferiu a conotação cultivo de caranguejo. Com o passar do tempo o termo assumiu a designação de criação de crustáceos e, finalmente, dado o grande desenvolvimento do cultivo de camarões, a palavra tem sido comumente mencionada para se referir a essa atividade.

O cultivo de camarões tem sua origem histórica no sudoeste da Ásia, onde, pescadores desenvolveram a atividade de forma artesanal para fins de subsistência. Contudo, somente a partir da década de 1930, quando cientistas japoneses deram início a estudos de larvicultura (produção de larvas em cativeiro), obtendo as primeiras pós-larvas produzidas em laboratório, ocorreram avanços no setor que contribuíram para a modernização da carcinicultura (ARAÚJO, 2003).

#### 2.1.2. Carcinicultura no Brasil

No Brasil a carcinicultura teve início nos anos de 1970, no entanto, a falta de tecnologia, laboratórios de pós-larva, indisponibilidade de mão-de-obra especializada, e infraestrutura inadequada resultaram no insucesso produtivo com as espécies até então implementadas. Somente na década de 1990 com a introdução da espécie *Litopenaeus vannamei*, conhecido como camarão branco, já cultivada com êxito no Equador e Panamá, o

Brasil conseguiu desenvolver expressivamente a carcinicultura, o que fez a atividade sair de 3.600 toneladas, em 1997, para 90.190 toneladas, em 2003, respondendo por um aumento na produção de 2.405,3% em 6 anos (CARVALHO *et al.* 2005; ROCHA, 2021).

Contudo, nos anos seguintes o setor camaronense passou por dificuldades motivadas desde as políticas *antidumping*, incidências de doenças, à progressiva desvalorização do real em relação ao dólar, que resultou na perda da competitividade do camarão brasileiro diante do mercado internacional (ABCC, 2016).

Embora tenha sido fragilizada, é notório o avanço da atividade nos últimos anos no país, principalmente no período crítico da pandemia da covid-19 onde houve um expressivo desempenho produtivo do setor, que passou de 90.000 toneladas em 2019 para 120.000 toneladas em 2021. Comparando-se esse valor a 2016, que foi o ano marcado pela incidência da doença do vírus da mancha branca no Ceará, houve um incremento de 100% na produção do crustáceo. A perspectiva é que em 2022 e 2023, a produção nacional chegue a 150 mil e 180 mil toneladas, respectivamente (ROCHA, 2022).

Em termos de divisão regional, Filho *et al.* (2006 p.8) ressalta que “as favoráveis condições edafoclimáticas fazem da região Nordeste a maior produtora de camarão marinho cultivado do país”. Dados da Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC, 2022) mostram que no ano de 2021, a região foi responsável por mais de 99% da produção nacional, com maior destaque o Ceará, seguido do Rio Grande do Norte como os dois maiores produtores nordestinos de camarão cultivado do Brasil.

### **2.1.3. Carcinicultura no Ceará**

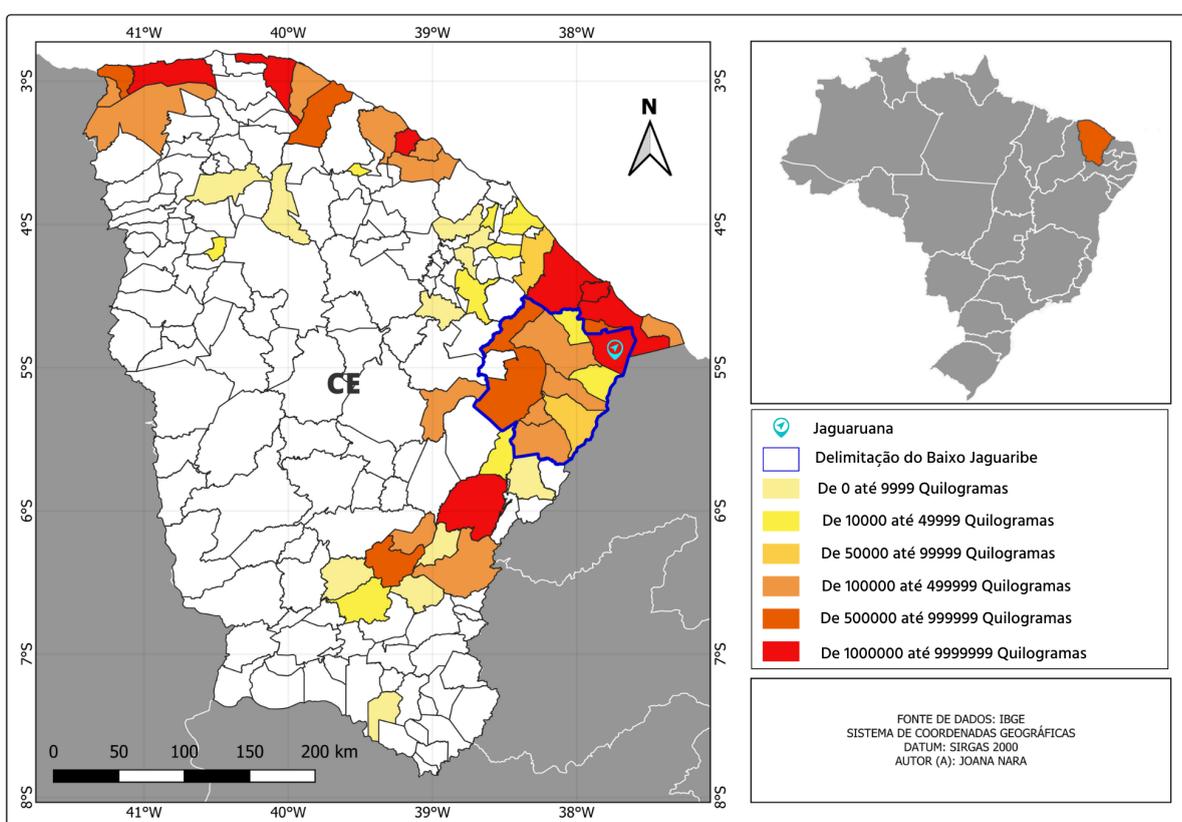
O cultivo de camarões no Ceará, tem-se apresentado nos últimos anos, como uma atividade aquícola de grande relevância econômica e social, com elevado potencial de contribuição para a geração de emprego e renda. Segundo dados da ABCC (2022), atualmente, o estado ocupa o cargo de maior produtor do crustáceo em volume pelo sexto ano consecutivo, com 46% da produção nacional, correspondente a 55.600 mil toneladas de camarão cultivados no ano de 2021. Em 2016 o estado contava com 700 fazendas produtoras e em 2021 esse valor subiu para 1.865, o que representou um incremento de 125,87% no número de empreendimentos em apenas cinco anos.

Para Rocha e Souza (2022) o fator mais importante que ocasionou esse rápido crescimento da carcinicultura cearense está relacionado com a expressiva interiorização da exploração dessa relevante atividade nas áreas do semiárido. Figueirêdo *et. al* (2006), e Almeida e Silva (2022), reforçam que isso se deve, dentre outros fatores, a fácil adaptação da

espécie *L. vannamei* a ambientes de baixa salinidade, que impulsionou o movimento crescente de cultivo de camarão em águas interiores, descentralizando essa atividade das áreas litorâneas.

Essa expansão do cultivo de camarão em cativeiro no interior cearense, vem ocorrendo principalmente às margens do Rio Jaguaribe, sobretudo na região do baixo Jaguaribe onde situam-se a maior parte dos municípios produtores (Figura 1), com destaque o município de Jaguaruana, que no quesito produção em 2021, foi o terceiro maior produtor do estado e o maior do interior em águas de baixa salinidade (IBGE, 2022).

Figura 1 - Produção de camarão no estado do Ceará em 2021.



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do IBGE (2022).

#### 2.1.4. Carcinicultura em Jaguaruana-CE

Com uma área territorial de 854,36 km<sup>2</sup> e população estimada de 33.960 habitantes, o município de Jaguaruana está situado na região Leste do Ceará, a aproximadamente 189 km de Fortaleza, capital do estado (IBGE, 2021).

Apesar de ser conhecida mundialmente como a “Terra da Rede de Dormir”, por ser a maior produtora e exportadora deste produto no estado, Jaguaruana hoje também ganha destaque pela produção de camarão cultivado em cativeiro. De acordo com Silva (2014), o

crescimento dessa cadeia produtiva na cidade trouxe mudanças nas atividades tradicionais, tendo em vista que, no campo, as terras da agricultura eram substituídas pelos viveiros e na cidade o empresariado da rede migrava para os investimentos na carcinicultura.

Segundo dados do último censo realizado pela ABCC (2016), Jaguaruana possuía um total de 202 propriedades produtoras de camarão, o que na época, fez com que fosse o município com o maior número de fazendas ativas do estado. Com os avanços tecnológicos no setor e aumento crescente do mercado consumidor, é possível deduzir que esse valor tenha crescido significativamente.

Para Silva (2014) a expansão do ramo na cidade se deve especialmente aos seus aspectos geográficos. Sua topografia é caracterizada por planícies fluviais, depressões sertanejas e chapada do Apodi com solos constituídos de areias quartzosas distróficas, solos aluviais, cambissolo, vertissolos, dentre outros. Sua vegetação é composta pelo bioma da Caatinga arbustiva, densa e espinhosa e floresta mista dicotillo-palmácea, conhecida por carnaubal (CARVALHO, 2013).

Ainda que o município possua vasta área produtiva favoráveis ao cultivo de camarão, seus recursos hídricos são limitados. De acordo com Câmara (2018), Jaguaruana possui uma evapotranspiração potencial de 1.846 mm anuais, valor este superior a sua taxa de pluviosidade média de 752,6 mm ao ano, o que, conseqüentemente, gera déficit de reposição dos estoques hídricos locais.

Atualmente, segundo dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2022), dentre as formas de captação, a perfuração de poços é a mais utilizada pelos empreendedores da cidade, seguido do Rio Jaguaribe, principal rio do estado. Entretanto, Silva (2014), ressalta que este último, encontra-se fragilizado, assoreado e suas margens encontram-se desmatadas.

Dito isso, os recursos hídricos em Jaguaruana vêm sendo disputados cada vez mais pelos setores produtivos. Fazendo uma relação a partir das informações obtidas na COGERH (2022), é possível observar na Tabela 1 o volume de água concedido outorgado por tipo de uso no município. Considerando que a aquíicultura local é composta basicamente pela carcinicultura, é notório que esta atividade é a que mais consome água, gerando pressão sobre os demais usos e se tornando um potencial fonte de conflitos.

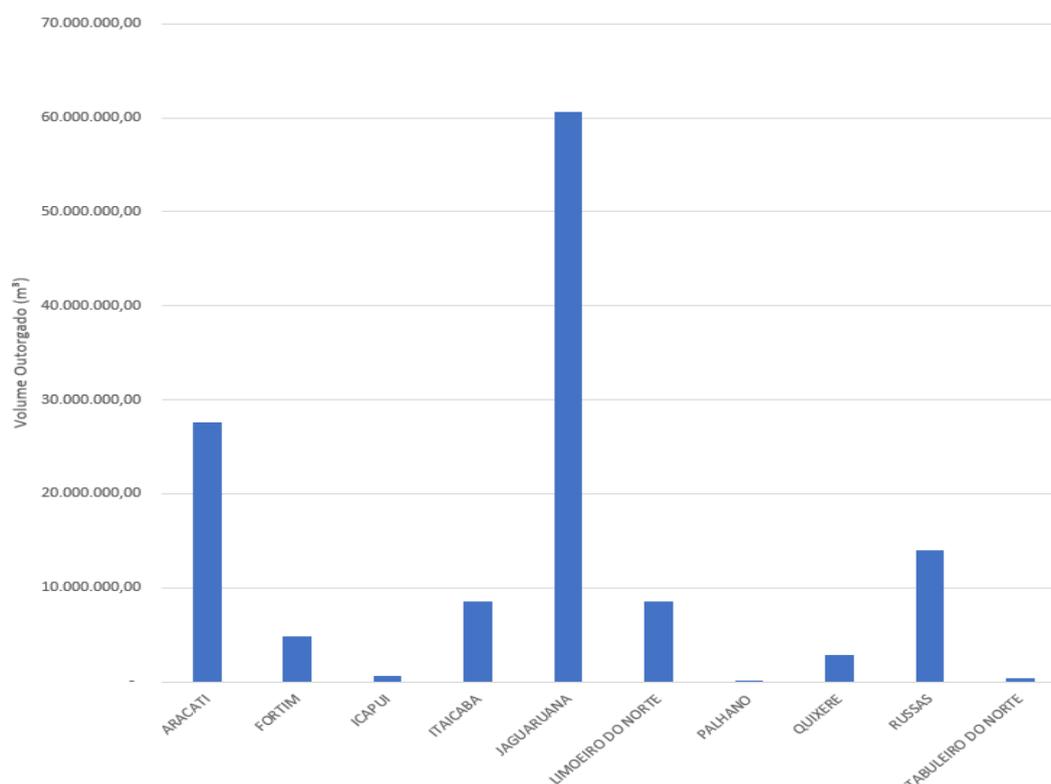
Tabela 1 - Volume de outorgas vigentes, em m<sup>3</sup>, por tipo de uso no município de Jaguaruana-CE em novembro de 2022.

| <b>Tipo de uso</b>      | <b>Volume outorgado (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------|---|
| Abastecimento humano    | 2.716.103,70                            |
| Aquicultura             | 60.975.419,02                           |
| Dessedentação de animal | 49.837,00                               |
| Industrial              | 288.755,15                              |
| Irrigação               | 37.285.283,89                           |
| Serviço e comércio      | 15.768,00                               |
| Demais usos             | 2.058,60                                |
| <b>TOTAL</b>            | <b>101.333.232,66</b>                   |

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da COGERH (2022).

Além disso, analisando o gráfico ilustrado na Figura 2 é possível observar que dentre os municípios que compõem a sub-bacia do Baixo Jaguaribe, atualmente, representando 60,17 %, Jaguaruana é destacadamente o que mais demanda aporte hídrico para funcionamento da atividade.

Figura 2 - Volume de outorgas vigentes, em m<sup>3</sup>, por município da sub-bacia do baixo Jaguaribe em novembro de 2022.



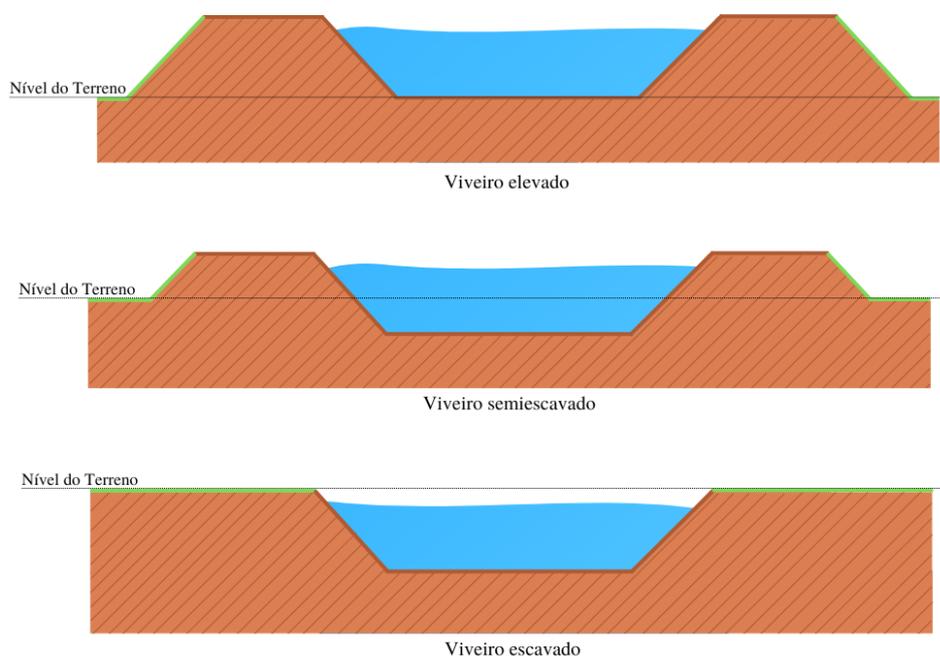
Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da COGERH (2022).

Segundo Figueirêdo *et. al* (2006), considerando as leituras de réguas limnimétricas, instrumento que mede as variações do nível da superfície da água, estima-se que o consumo diário de água dessa atividade na bacia em questão, é em média 262 m<sup>3</sup>/ha, podendo variar de 132 até 373 m<sup>3</sup>/ha. O autor comenta que, dentre outros fatores, as perdas de água por infiltração, contribuem para este elevado consumo hídrico pelas fazendas.

### 2.1.5. Elementos construtivos de um reservatório de camarão

Um reservatório ou viveiro na aquicultura é uma estrutura construída no terreno natural destinada a captação e retenção de água para o cultivo e reprodução de plantas ou animais aquáticos, como por exemplo, o camarão. Ele pode ser enterrado, semienterrado ou totalmente elevado acima do terreno, mediante a construção de diques ou barragens, conforme ilustrado na Figura 3 (OLIVEIRA, 2000; GOMES, 2002).

Figura 3 – Esquema simplificado de um reservatório aquícola do tipo (a) Viveiro elevado, (b) Viveiro semiescavado e (c) Viveiro escavado.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quando o viveiro é elevado tem a linha da base do talude em nível com o terreno natural. Geralmente, seus taludes são construídos com materiais transportados de outro lugar. Já os viveiros semienterrados não têm a linha de fundo coincidente com o nível do terreno, desta forma, seus taludes são construídos a partir do material resultante da escavação do seu

fundo. Os viveiros enterrados, por sua vez, são aqueles que a topografia do terreno favorece para que seja construído totalmente abaixo do nível do solo (OLIVEIRA, 2000).

Caballo *et al* (2008) afirma que a construção de um reservatório aquícola pode representar o item mais oneroso na aquicultura. Desta forma, um viveiro quando bem executado se torna um bom investimento que pode ser utilizado por muitos anos.

Nesse sentido, Burkert e Santos (2017) ressaltam que um dos fatores mais importantes durante a etapa de implantação dos reservatórios é o tipo de solo. Segundo os autores na fase preliminar à construção dos viveiros é necessária a limpeza do local retirando pedregulhos, raízes e o restante da matéria orgânica de forma que reste apenas o material sólido homogêneo. Na sequência, deve ser realizada a coleta de amostras do solo e posteriormente verificada suas características físicas.

Oliveira (2000) comenta que no Brasil, no campo da engenharia aplicada à aquicultura, existem diversos exemplos em obras que não obtiveram êxito, pela falta de observações acerca do solo. Rio Doce Piscicultura (2012) destaca que é necessário o conhecimento das características do solo no local destinado à construção de viveiros, pois a sua permeabilidade representa uma condição extremamente importante à viabilidade técnico-econômica de uma unidade aquícola, visto que ela está diretamente relacionada às infiltrações de água no solo.

Desta maneira, Rezende e Bergamin (2013) afirmam que as áreas mais indicadas para construção de viveiros são aquelas que apresentam solos que não permitem infiltrações excessivas, ou seja, solos não permeáveis. De acordo com os autores, solos arenosos além de serem pouco estáveis e mais suscetíveis à erosão, geralmente apresentam maior permeabilidade, demandando maior uso de água.

Segundo os mesmos autores, os solos argilosos apresentam maior plasticidade com fácil acomodação do material, resistência à erosão, menor suscetibilidade à percolação de água e maior capacidade de retenção de água, logo são os mais recomendados. No entanto, solos excessivamente argilosos podem apresentar rachaduras quando expostos ao sol, desta forma, os autores recomendam que sua granulometria apresente, no máximo, 40% de argila. Porém, vale salientar que existem poucos estudos nessa vertente e ainda não há normatização.

Caso o solo não apresente permeabilidade apropriada, existem soluções que podem viabilizar tecnicamente a execução dos viveiros, contudo, implicará em custos adicionais ao investimento devido a necessidade de se executar uma impermeabilização, além de exigir uma compactação mais criteriosa (RIO DOCE PISCICULTURA, 2012).

## 2.2. A permeabilidade do solo à água

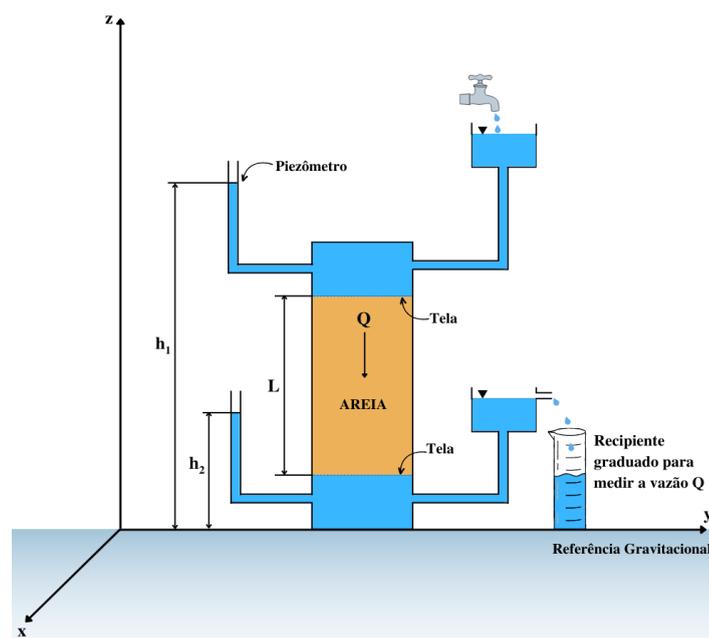
A permeabilidade é a propriedade do solo que representa sua capacidade de permitir a percolação de água através de sua estrutura em função da presença de vazios interconectados pelos quais a água pode fluir de pontos de alta energia para pontos de baixa energia (CAPUTO, 2015; DAS, 2007).

Pinto (2006) acrescenta que a água ocupa a maior parte ou a totalidade desses vazios, desse modo, quando submetida a diferentes potenciais, ela pode se movimentar no interior do solo. Nesse sentido, visto que a presença de água no solo pode representar um fator crítico, o autor ressalta que o estudo da permeabilidade é fundamental para poder intervir em diversos problemas práticos de engenharia que podem abranger desde cálculos de vazões utilizados em estimativas de infiltração de água, à estudos de estabilidade de solo que dependem de tensões provocadas pela percolação de água no solo.

De acordo com Caputo (2015), o grau de permeabilidade é expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) que representa o quão rápido ou devagar determinado líquido atravessa o solo, o que lhe deu a conotação constante de condutividade hidráulica (LIBARDI, 2005).

Esse coeficiente é determinado a partir da lei experimental de Darcy, que foi estabelecida em 1856 pelo engenheiro francês Henry Darcy ao analisar as propriedades do fluxo de água através de uma camada de filtro de areia saturada, utilizando dispositivos similares aos ilustrados na Figura 4 (MARANGON, 2018).

Figura 4 – Esquema simplificado do experimento de Darcy.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Neste experimento, mantendo os níveis de água relativos à entrada e a saída no solo constantes, Darcy mediu a vazão ( $Q$ ) que passa através da amostra de solo de comprimento ( $L$ ) e área transversal ( $A$ ), obtendo a relação expressa pela equação (1) (MARANGON, 2018):

$$Q = k \times \frac{\Delta h}{L} \times A \quad (1)$$

O fator  $\Delta h$  ( $h_2 - h_1$ ) representa a carga que se dissipa durante o escoamento devido à resistência do solo à percolação da água. A relação dele pelo comprimento do trajeto ( $L$ ), é chamada de gradiente hidráulico ( $i$ ). Além disso, a vazão dividida pela área expressa a velocidade com que a água percola através do solo. Esta velocidade é chamada de velocidade de percolação ( $v$ ). Em função destes parâmetros, a Lei de Darcy passa a ser expressa, de acordo com Pinto (2006), pela equação (2):

$$v = k \times i \quad (2)$$

Desta forma, após várias considerações de proporcionalidade, Darcy concluiu que a velocidade de percolação é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico e ao coeficiente de permeabilidade. Apesar do seu estudo considerar areias puras, sua lei é válida para a maioria dos solos naturais, visto que considera o escoamento em regime laminar onde as partículas d'água não se cruzam durante suas trajetórias, ocorrendo o mínimo de agitação possível (CAPUTO, 2015).

Em relação ao coeficiente de permeabilidade, ele é geralmente expresso em cm/s ou m/s e varia de acordo com a granulometria do solo. Na Figura 5 é exemplificado por Caputo (2015) valores típicos que ele pode assumir em função do tipo de solo. Segundo o autor, valores deste parâmetro próximo a  $10^{-8}$  cm/s são característicos de solos considerados impermeáveis para todos os problemas práticos.

Figura 5 – Intervalos de variação do coeficiente de permeabilidade segundo A. Casagrande e R.R. Fadum.



Fonte: Caputo (2015).

Já no Quadro 1 é possível verificar a classificação do solo segundo seu grau de permeabilidade de acordo com Mitchell (1993), onde para coeficientes de permeabilidade de  $10^{-1}$  cm/s à  $10^{-7}$  cm/s, a permeabilidade do solo pode variar de alta à praticamente impermeável, respectivamente.

Quadro 1 - Classificação do solo conforme os valores do coeficiente de permeabilidade.

| Grau de permeabilidade   | Coeficiente de permeabilidade (cm/s) |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Alta                     | $> 10^{-1}$                          |
| Média                    | $10^{-1} - 10^{-3}$                  |
| Baixa                    | $10^{-3} - 10^{-5}$                  |
| Muito baixa              | $10^{-5} - 10^{-7}$                  |
| Praticamente impermeável | $< 10^{-7}$                          |

Fonte: Adaptado pela autora de Mitchell (1993).

Por fim, na Quadro 2, Tonin (2013) apresenta tanto os valores típicos do coeficiente de permeabilidade (k) em função dos materiais, como classifica-os em permeáveis e impermeáveis, onde para coeficientes de permeabilidade de  $10^{-3}$  cm/s à  $10^{-9}$  cm/s, a permeabilidade do solo pode variar de alta à baixíssima, respectivamente.

Quadro 2 - Valores típicos para classificação do coeficiente de permeabilidade.

| Permeabilidade     |             | Tipo de solo     | k (cm/s)            |
|--------------------|-------------|------------------|---------------------|
| Solos permeáveis   | Alta        | Pedregulhos      | $> 10^{-3}$         |
|                    | Alta        | Areias           | $10^{-3} - 10^{-5}$ |
|                    | Baixa       | Siltes e argilas | $10^{-5} - 10^{-7}$ |
| Solos impermeáveis | Muito baixa | Argila           | $10^{-7} - 10^{-9}$ |
|                    | Baixíssima  | Argila           | $< 10^{-9}$         |

Fonte: Tonin (2015).

### 2.2.1. A permeabilidade dos reservatórios na carcinicultura

Segundo Vidal (2022), majoritariamente, os novos produtores de camarão são de pequeno porte que estão migrando de atividades agropecuárias tradicionais para a carcinicultura e devido a isso, possuem muitos desafios tecnológicos a serem vencidos. Nesse cenário, é possível inferir que devido a falta de conhecimento técnico e de estudos que auxiliem nisso, grande parte das construções de reservatórios são feitas sem considerar aspectos importantes a respeito do solo, sobretudo, sua permeabilidade.

Na carcinicultura, quanto mais permeável for o solo, maior serão as perdas de água por infiltração, desta forma, segundo a FAO (2006) a permeabilidade é uma das propriedades do solo mais importantes a ser considerada durante a execução dos reservatórios.

Bowman (1992) afirma que a permeabilidade é de interesse dos aquicultores porque além de exigir reposição de água, afeta a qualidade do manejo devido às redução de nutrientes

essenciais à produção que são perdidos durante o processo de infiltração. Além disso, o autor ressalta que pode provocar danos à estrutura dos reservatórios devido à erosão interna causada pela percolação de água no solo.

Moura e Vieira (2010) complementam que os efluentes da aquicultura, como é o caso do cultivo de camarão, podem conter resíduos de químicos empregados em processos que variam desde a desinfecção, controle de pragas e predadores a tratamento hormonal e de doenças. Nesse sentido, a permeabilidade representa também um parâmetro ambiental, visto que, o fluxo deste efluente através do solo, mais a matéria orgânica nele presente, poderá poluir o lençol freático.

Apesar de sua importância, ainda são escassos os estudos que envolvem a permeabilidade do solo nos viveiros aquícolas. No entanto, a FAO (2006), em seu manual para a aquicultura, estabelece que o coeficiente de permeabilidade dos solos a serem usados no fundo de reservatórios deve ser preferencialmente menor que  $5 \times 10^{-6}$  m/s, e menor que  $1 \times 10^{-4}$  m/s para os diques ou taludes.

Bowman (1992) complementa que considerando a classe de engenharia, os solos desejáveis para a construção de reservatórios são aqueles classificados como semi permeáveis e impermeáveis. No entanto, ainda não existem normas que regulamentem isso.

### **2.2.2. Ensaios laboratoriais para determinação da permeabilidade**

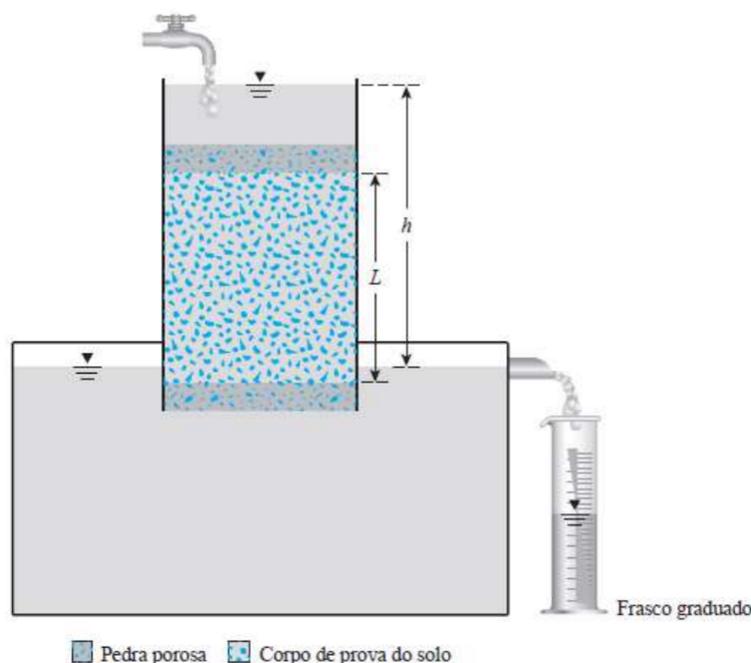
Os ensaios realizados em laboratório para a determinação da permeabilidade do solo são executados por meio de dois métodos, que diferem entre si, principalmente, devido ao tipo de carga hidráulica aplicada durante o experimento. O primeiro deles é preconizado pela NBR 13292:21 que determina o coeficiente de permeabilidade para solos granulares, utilizando o permeâmetro de carga constante. O outro método, por sua vez, se restringe a determinação do coeficiente de permeabilidade em solos argilosos utilizando o permeâmetro de carga variável, sendo este regido pela NBR 14545:2021.

De acordo com Caputo (2015) e Pinto (2006), o permeâmetro permite encontrar a permeabilidade de um solo por intermédio da lei de Darcy, citada na seção 2.3 deste trabalho. Desta forma, ambos os ensaios consideram a percolação de água através do solo em regime de escoamento laminar para determinação do coeficiente de permeabilidade, tendo como base que a velocidade de percolação é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico (i).

No ensaio de permeabilidade a carga constante (Figura 6), o fornecimento de água na entrada é regulado de modo que a diferença de carga (h) se mantenha constante durante o

período do ensaio. Desta forma, depois de estabelecida uma vazão constante, a água percolada é colhida na bureta graduada e seu volume é medido. Conhecendo-se a vazão e as características geométricas, o coeficiente de permeabilidade é calculado (DAS, 2007; PINTO, 2006). De acordo com NBR 13292:21 este ensaio aplica-se apenas aos solos granulares, contendo no máximo 10 %, em massa, de material que passa na peneira de 0,075 mm.

Figura 6 - Esquema simplificado do permeâmetro de carga constante.



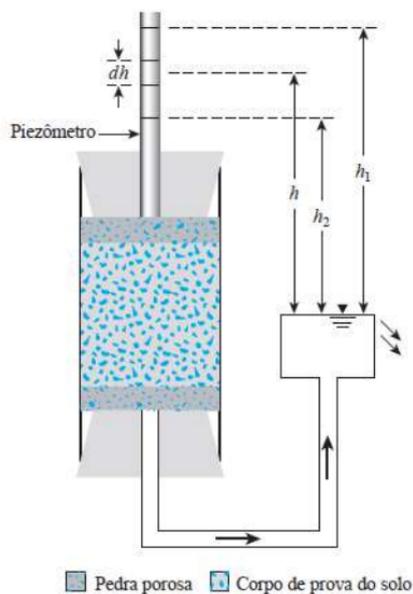
Fonte: Das Braja (2007).

Pinto (2006) ressalta que em solos que o coeficiente de permeabilidade for muito baixo, como é o caso de solos argilosos, a determinação pelo permeâmetro de carga constante se torna imprecisa. Nesse sentido, deve-se empregar o permeâmetro de carga variável.

### 2.2.2.1. Ensaio de permeabilidade a carga variável

No ensaio de permeabilidade a carga variável (Figura 7), ao contrário do método de carga constante, determinam-se os valores das cargas hidráulicas ( $h$ ) para diversos valores de tempo decorridos desde o início do ensaio. Resumidamente, registra-se a diferença de carga inicial  $h_1$  no tempo  $t = 0$  e deixa-se a água fluir através do solo até um certo período de tempo preestabelecido  $t_2$  para, assim, ser medido a diferença de carga final  $h_2$ . Conhecendo-se os valores de carga hidráulica, tempo, temperatura e as características geométricas necessárias ao ensaio, calcula-se o coeficiente de permeabilidade (DAS BRAJA, 2007).

Figura 7 - Esquema simplificado do permeâmetro de carga variável.

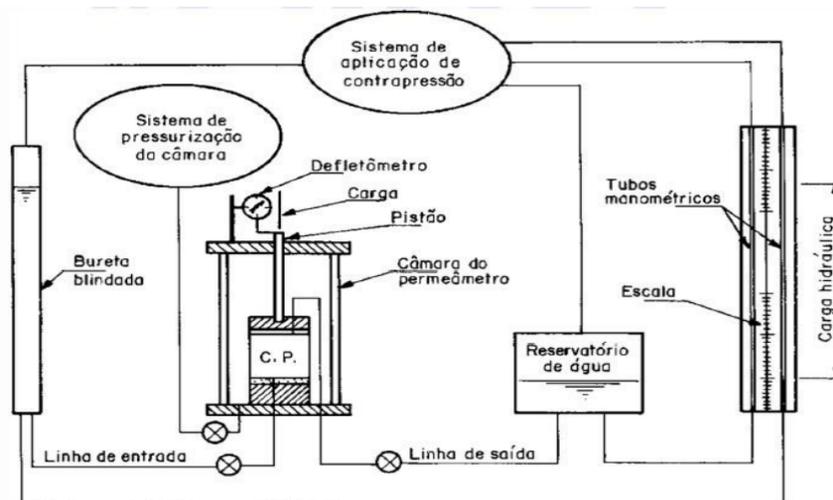


Fonte: Das Braja (2007).

A NBR 14545:2021 apresenta dois métodos de ensaio para a determinação da permeabilidade, o método A e o método B. Na aplicação destes métodos, utilizam-se corpos de prova talhados ou moldados, obtidos por meio de amostras indeformadas ou da compactação de amostras deformadas, com a saturação total do material. A norma reforça que quando o coeficiente de permeabilidade for maior que  $10^{-3}$  cm/s, deve-se ensaiar o solo através do permeâmetro de carga constante.

De acordo com a norma, o método A (Figura 8) utiliza-se a contrapressão e seu ensaio ocorre em um nível controlado de tensões efetivas, o que assegura uma saturação eficiente do corpo de prova e, portanto, o seu uso é o mais recomendável.

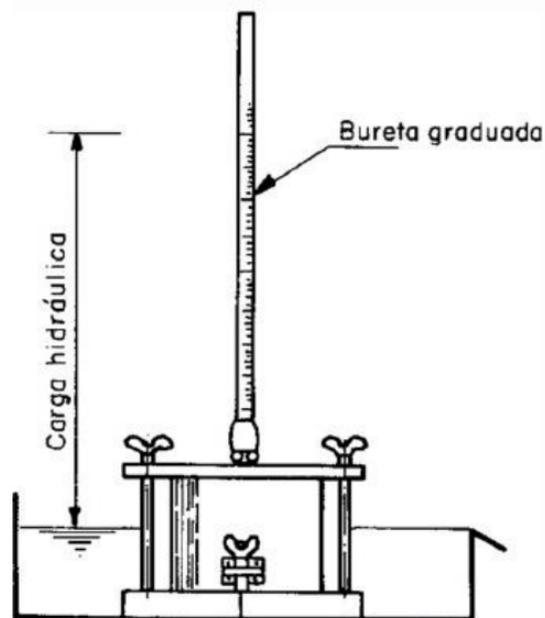
Figura 8 - Aparelho utilizado no ensaio para determinação da permeabilidade do solo – Método A.



Fonte: NBR 14545 (2021).

Já o sistema B é conduzido em condições sensivelmente menos controladas, porém é bastante utilizado visto que sua aparelhagem é relativamente mais simples. Ele é composto por um sistema para aplicação e medição das cargas hidráulicas formado por uma bureta graduada e um cilindro metálico que quando interligados formam o ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Aparelho utilizado no ensaio para determinação da permeabilidade do solo – Método B.



Fonte: NBR 14545 (2021).

A norma afirma que durante a execução do método B, o corpo de prova deverá passar por processo de saturação ascendente, através de um orifício localizado na parte superior do cilindro que irá injetar a água. O processo só será considerado satisfatório quando a água surgir no orifício inferior do reservatório e a percolação ocorrer sem a presença de bolhas de ar. A norma completa ainda que deverão ser realizadas medições periódicas até serem obtidos resultados iguais ou bem próximos.

### **3. METODOLOGIA**

Para o efetivo desenvolvimento dos objetivos específicos em um corpo consistente de análise, adota-se como processo metodológico uma pesquisa de caráter exploratório e descritivo. Gil (1999) destaca que a pesquisa exploratória é desenvolvida no sentido de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato. Dessa maneira, realiza-se esse tipo de pesquisa quando o tema a ser abordado é pouco explorado, como é o caso da permeabilidade de solos na carcinicultura.

Nesse sentido, os resultados serão apresentados sobre forma quantitativa, a partir da coleta de dados de ensaios em laboratório para a caracterização geotécnica e determinação do coeficiente de permeabilidade das amostras coletadas.

A seguir será apresentado o campo experimental, bem como a metodologia empregada para o alcance dos objetivos. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Fortaleza, e no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFC Campus de Russas.

#### **3.1. Campo Experimental**

A escolha do campo experimental deste trabalho partiu da necessidade de realizar a análise de permeabilidade em um reservatório produtor de camarão que estivesse em fase inicial de construção, isto é, sem ter seu solo modificado pela adição de água ou qualquer produto químico. Desse modo, objetivou-se a coleta de dados no solo antes da implantação e funcionamento do reservatório, para que os resultados fossem mais pragmáticos.

Nesse sentido, este estudo foi conduzido em uma fazenda de carcinicultura de pequeno porte (Figura 10), produtora de camarão, que funciona desde 2020. Ela está localizada na comunidade conhecida por Pitombeira, que fica a 15 km do centro urbano do município de Jaguaruana-CE. O local encontra-se a aproximadamente 300 metros da margem do Rio Jaguaribe, na região hidrográfica do Baixo Jaguaribe, e se utiliza dele e de poços como recursos de abastecimento.

Figura 10 – Vista superior da Localização Fazenda.



LEGENDA:  Limitação do terreno da fazenda.

Fonte: Autora (2022).

Atualmente, a fazenda conta com 3 tanques em operação e 2 em desenvolvimento. Estes possuem formato prismático com tamanho variável. A área de base média é de aproximadamente 100 m x 70 m, com altura dos taludes em torno de 1,90 metros.

Durante o processo construtivo dos reservatórios, para a base foi aproveitado o solo do terreno natural sem que ocorresse compactação ou qualquer alteração no mesmo. Em geral, é feita apenas a limpeza da área devido a presença de vegetação, em especial, as carnaúbas, espécie de palmeira bastante encontrada na região. Já os taludes foram construídos a partir de um solo retirado do próprio terreno durante a escavação de uma bacia que serve de subsídio, caso os poços ou o rio apresentem problemas de disponibilidade.

Figura 11 – Construção de um dos reservatórios de carcinicultura da fazenda.



Fonte: Autora (2022)

### 3.2. Coleta das amostras

Durante o período da coleta, o terreno ainda estava em fase de limpeza e por isso, apenas parte dos taludes tinham sido construídos. Logo, o reservatório em estudo não contava com suas dimensões definidas e devido a presença de obstáculos, só foi possível analisar a área que estava limpa. Em vista disso, optou-se por seguir as recomendações da NBR 8036:1983 que em situações onde as posições dos furos de sondagem não estiverem bem delineadas, é previsto uma quantidade mínima de três furos, de maneira que a distância entre eles não ultrapasse 100 metros. Sendo assim, com o intuito de assegurar a representatividade dos resultados dos ensaios de laboratório, coletou-se três amostras deformadas de solo, nomeadas neste estudo de Ponto P1, P2 e P3, cuja localização pode ser observada na Figura 12. As coordenadas geográficas de cada ponto são,  $4^{\circ}54'50.94''\text{S}$  e  $37^{\circ}50'41.45''\text{O}$ ,  $4^{\circ}54'51.90''\text{S}$  e  $37^{\circ}50'42.20''\text{O}$ ,  $4^{\circ}54'50.73''\text{S}$  e  $37^{\circ}50'42.81''\text{O}$ , respectivamente.

Figura 12 – Localização dos Pontos de Coleta das Amostras.



Fonte: Autora (2022).

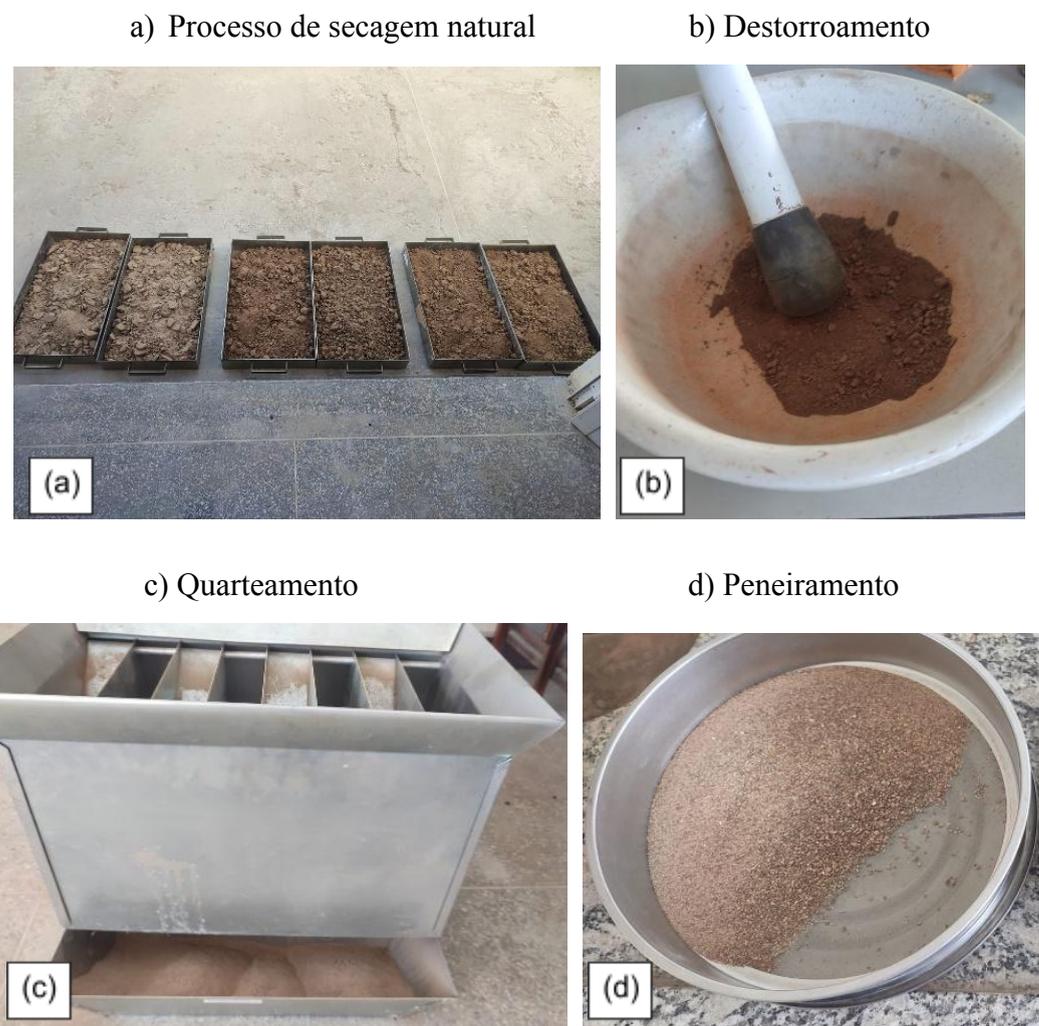
Após serem identificadas e acondicionadas em sacos de *nylon*, as amostras de solos coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Ceará (UFC) - campus Russas, onde procederam-se os ensaios laboratoriais.

### 3.3. Ensaios laboratoriais

Antes de dar início aos experimentos de laboratório, as amostras foram preparadas, de modo a manter a representatividade. Nesta etapa, para ser obtida uma quantidade suficiente,

homogênea e representativa do material, o solo foi seco naturalmente por um período de 24h, e posteriormente foi destorroado, quartado, pesado e peneirado conforme preconiza a NBR 6457 (ABNT, 2016a). A Figura 13 ilustra esse procedimento.

Figura 13 – Preparação do solo para os ensaios de caracterização geotécnica.



Fonte: Autora (2022).

### 3.3.1. Ensaios de Caracterização geotécnica

Com o objetivo de realizar a caracterização geotécnica dos solos coletados, seguiu-se realizando os ensaios descritos no Quadro 3, onde respeitou-se suas respectivas normas vigentes. A tabela também apresenta os locais de realização dos ensaios nos quais foram o Laboratório de Mecânica dos solos e Pavimentação da UFC Campus Pici e o Laboratório de Mecânica dos solos da UFC Campus Russas.

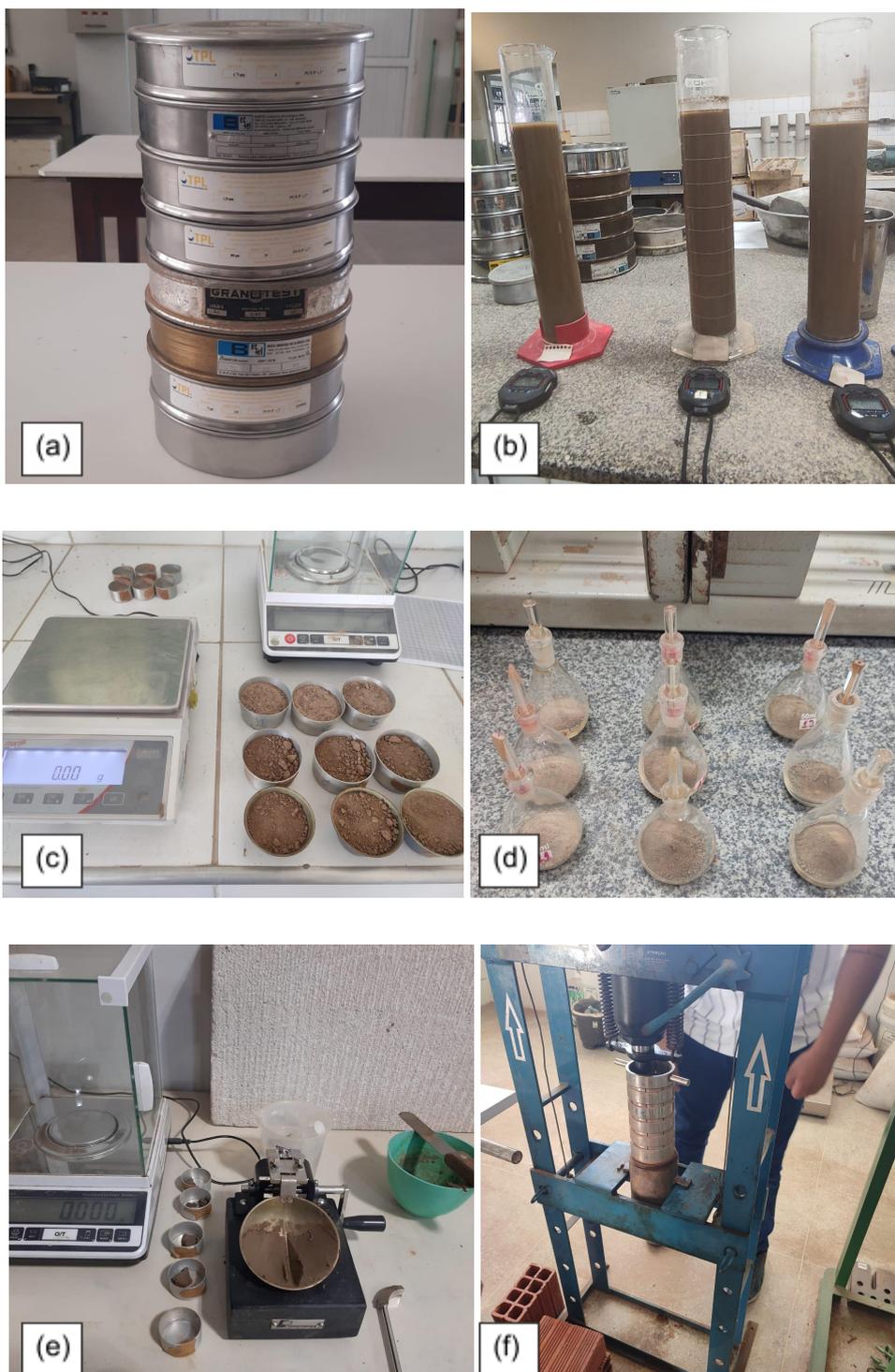
Quadro 3 - Resumo dos Ensaios de caracterização geotécnica e métodos empregados.

| <b>Ensaio</b>                               | <b>Método</b>  | <b>Localização dos Laboratórios</b> |
|---|--|-------------------------------------|
| Umidade higroscópica                        | NBR 6457 (ABNT, 2016a) – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização     | UFC campus Russas                   |
| Limite de liquidez                          | NBR 6459 (ABNT, 2016b) – Solo – Determinação do Limite de Liquidez   | UFC campus Russas                   |
| Limite de plasticidade                      | NBR 7180 (ABNT, 2016c) – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade   | UFC campus Russas                   |
| Compactação                                 | NBR 7182 (ABNT, 2016d) – Solo – Ensaio de Compactação  | UFC campus Russas                   |
| Massa específica dos grãos                  | NBR 6508 (ABNT, 2016 e) – Solo – Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa específica | UFC campus Pici                     |
| Granulometria - peneiramento e sedimentação | NBR 7181 (ABNT, 2016f) – Solo – Análise Granulométrica   | UFC campus Pici                     |

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Figura 14 ilustra as principais fases dos ensaios de caracterização após realizada a preparação das amostras: (a) série de peneiras, (b) ensaio de sedimentação, (c) solo separado para a obtenção da umidade, (d) ensaio do picnômetro para obtenção da densidade real, (e) limites de consistência e (f) ensaio de compactação.

Figura 14 – Principais fases dos ensaios de caracterização geotécnica.



Fonte: Autora (2022).

### 3.3.2. Ensaio de permeabilidade do solo

O ensaio para determinação da permeabilidade fundamentou-se no método B da NBR 14545: 2021, conforme abordado anteriormente no item 2.2.2.1 deste trabalho. Ele foi

realizado no laboratório de Mecânica dos solos e Pavimentação da UFC Campus do Pici, utilizando o permeâmetro de carga variável ilustrado na figura a seguir.

Figura 15 - Permeâmetro à carga variável da UFC – Campus Pici.



Fonte: Silva (2022)

Para dar início ao ensaio, após as amostras de solo terem sido preparadas, realizou-se a umidificação de cada uma delas conforme a quantidade de água necessária para a obtenção da umidade ótima, determinada anteriormente no ensaio de compactação.

Desta forma, objetivando vedar a superfície lateral do corpo de prova, após serem umidificadas cada amostra foi compactada dentro de um anel metálico, que ao ser posicionado no permeâmetro teve sua base envolta por uma pasta argilosa para garantir que durante a saturação, a água passasse apenas dentro do anel, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Moldagem e vedação do corpo de prova no permeâmetro.



Fonte: Autora (2022)

Na sequência, sobre o corpo de prova foi colocado um material permeável (brita) a fim garantir que o fluxo de água ocorresse em regime laminar, conforme estabelecido pela Lei de Darcy. Esse procedimento pode ser verificado na Figura 17.

Figura 17 – Inserção de camada permeável sobre o corpo de prova.



Fonte:Silva (2022)

Com isso, após fechar o permeâmetro, cada amostra de solo foi deixada saturando por um período de pelo menos 24h. Para acompanhar o processo de saturação, verificou-se inicialmente a ocorrência da saída de água através da mangueira presente na região inferior do cilindro, conforme ilustra Figura 18.

Figura 18 – Processo de saturação dos corpos de provas.



Fonte:Autora (2022)

Após a completa saturação do sistema, deu-se início às leituras do permeâmetro (Figura 19), onde foram realizadas as medições das diferenças de nível na bureta para determinados intervalos de tempo. Ao verificar constância nos resultados, optou-se por realizar apenas 3 leituras para cada amostra ensaiada.

Figura 19 – Leitura do desnível de água na bureta.



Fonte: Autora (2022)

Por fim, com os dados obtidos, calculou-se o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) que foi convertido para um coeficiente a  $20^{\circ}\text{C}$ , por meio da multiplicação do valor encontrado na Equação 1 por um fator de correção ( $F_c$ ), que varia com a temperatura, obtido na Tabela 1 da NBR 14545: 2021. O fator utilizado para os referidos cálculos foi de 0,811. A seguir pode ser verificado a equação utilizada.

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = 2,3 \times \frac{aL}{At} \times \log \frac{h_0}{h_f} \times F_c \quad (3)$$

Onde:

$K_{20}$  = Coeficiente de Permeabilidade (m/s)

$a$  – Área da seção transversal da bureta ( $\text{cm}^2$ )

$L$  – Espessura do corpo de prova (cm)

$A$  – Área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{cm}^2$ )

$t$  – Tempo decorrido do ensaio (s)

$h_0$  – Altura inicial do nível de água (cm)

$h_f$  – Altura final do nível de água (cm)

$F_c$  – Fator de correção ( $20^{\circ}\text{C}$ )

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização Geotécnica

Neste tópico será mostrado e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de caracterização geotécnica.

#### 4.1.1. Umidade higroscópica e densidade real dos grãos

Os resultados referentes ao ensaio de umidade higroscópica e densidade real dos grãos estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de umidade e densidade real dos grãos.

| Síntese dos Resultados          | Ponto |      |      |
|---------------------------------|-------|------|------|
|                                 | 1     | 2    | 3    |
| <b>Umidade Higroscópica (%)</b> | 1,94  | 4,25 | 4,95 |
| <b>Densidade Real dos grãos</b> | 2,79  | 2,75 | 2,76 |

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Como pode-se observar, a faixa de umidade higroscópica para as três amostras apresentou valores relativamente altos, porém, condizentes com o material estudado, que indica ter um alto teor de finos e estes tendem a reter uma maior quantidade de água no solo.

De acordo com Rezende e Bergamin (2013) solos que possuem alta capacidade de retenção de água, são os mais indicados para os viveiros, pois são menos permeáveis, logo, dificultam o fluxo de água no seu interior.

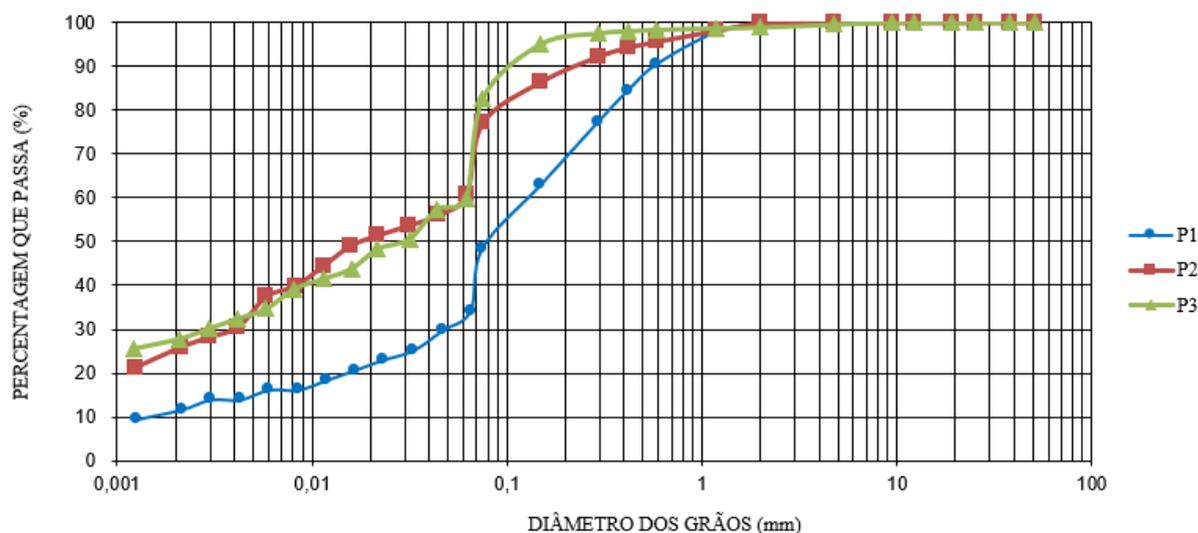
Em relação a densidade real dos grãos, percebe-se que não houve variações significativas entre os pontos estudados. Além disso, segundo Alexandre (2000), a maioria dos solos brasileiros variam entre 2,65 e 2,85. Já Das Braja (2007) afirma que frequentemente os valores desse parâmetro vão variar de 2,6 a 2,9 conforme a constituição mineralógica do solo. Desta forma, os resultados estão de acordo com o esperado.

Pinto (2006) complementa que a densidade real por si só, não permite identificar o solo em questão, mas é essencial para o cálculo de outros parâmetros. Nesse sentido, os resultados obtidos para a densidade real foram essenciais para realizar a análise granulométrica através do ensaio de sedimentação.

#### 4.1.2. Análise Granulométrica

Por intermédio do ensaio de peneiramento e sedimentação foram obtidas as curvas granulométricas expostas no Gráfico 1 para o ponto P1, P2 e P3, sendo estas melhores detalhadas na Tabela 3.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do ponto P1, P2 e P3.



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Tabela 3 – Resumo das frações granulométricas dos pontos coletados.

| Fração Granulométrica | Ponto |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|
|                       | 1     | 2     | 3     |
| Pedregulho (%)        | 0,50  | 0,15  | 1,16  |
| Areia Grossa (%)      | 9,09  | 4,18  | 0,55  |
| Areia Média (%)       | 13,01 | 3,34  | 0,78  |
| Areia Fina (%)        | 43,20 | 31,64 | 37,78 |
| Silte (%)             | 22,45 | 34,71 | 31,88 |
| Argila (%)            | 11,74 | 25,98 | 27,85 |

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com os dados apresentados, nota-se que os pontos 2 e 3 exibiram pequenas disparidades quanto às frações granulométricas que os compõem. O ponto 1, em contrapartida, apresentou porcentagem de areia superior aos demais. No entanto, os 3 pontos expressaram parcelas de finos significativas com dominância de silte, seguido de argila, o que influencia diretamente na redução da permeabilidade.

Considerando os estudos de Ono e Kubitzka (2002) no qual afirmam que solos com menos de 12% de finos (argila e silte) não são apropriados para a construção dos viveiros, percebe-se que todas as amostras em estudo se enquadram como adequadas para seu uso na

carcinicultura quando considera-se apenas a granulometria.

Bowman (1992) destaca que é importante considerar outras características do solo em conjunto, uma vez que, mesmo com alto teor de finos e argila, estes podem se apresentar inadequados para a aquicultura.

#### 4.1.3. Limites de consistência

Na Tabela 4 são apresentados os limites de consistência, também conhecidos como limites de Atterberg, definidos pelo limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP). A tabela exibe também a classificação do solo pelos sistemas SUCS e AASHTO conforme os resultados de granulometria e de limites obtidos.

Tabela 4 – Resumo dos limites de consistência dos pontos coletados.

| Ponto | LL   | LP   | IP  | Classificação |        |
|-------|------|------|-----|---------------|--------|
|       | (%)  | (%)  | (%) | SUCS          | AASHTO |
| 1     | 18,6 | 16,7 | 2   | SM            | A-4    |
| 2     | 26,9 | 20,2 | 7   | ML-CL         | A-4    |
| 3     | 30,4 | 15,6 | 15  | CL            | A-6    |

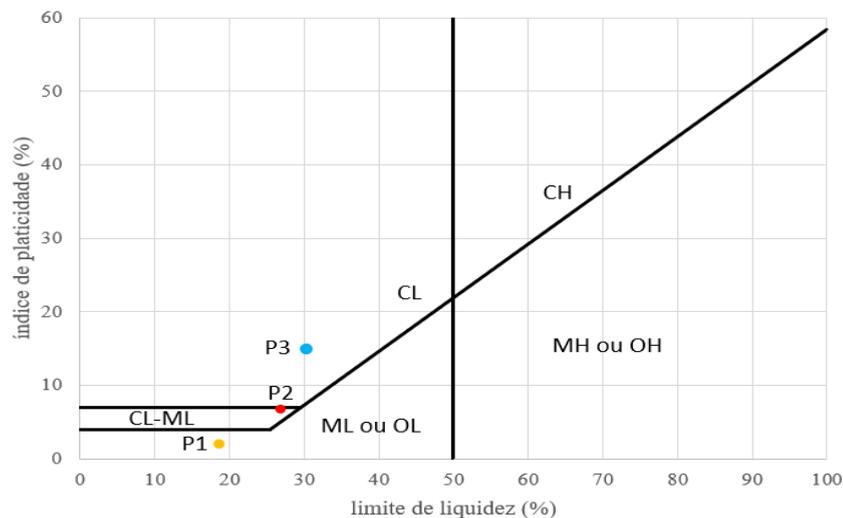
Fonte: elaborado pela autora (2022).

Apesar de apresentarem um alto teor de finos, os três solos coletados exibiram índices de plasticidade relativamente baixos, e por conta disso, de acordo com a literatura podem ser classificados como sendo de baixa a média plasticidade. Isso pode ser justificado pela presença significativa de grãos de areia, pois estes tendem a reduzir a capacidade do solo se moldar na presença de água.

Todavia, os resultados estão conforme o esperado, uma vez que o índice de plasticidade foi maior para P3 e menor para P1, esse fato pode ser justificado pelo percentual de argila presente na constituição desse solo, visto que este material tende a aumentar a plasticidade do solo de acordo com sua concentração.

Na Figura 20, observa-se a carta de plasticidade de Casagrande, com a localização dos pontos conforme os limites de consistência, que permitiram sua posterior classificação.

Figura 20 – Carta de plasticidade de Casagrande para os pontos estudados.

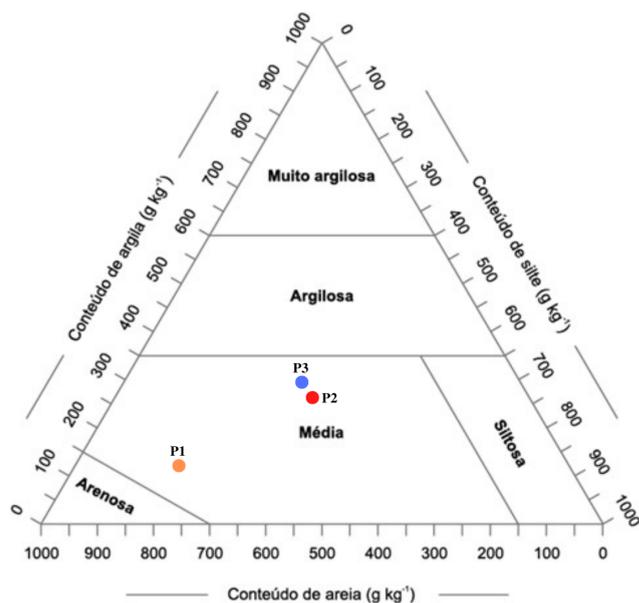


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Segundo o sistema unificado SUCS, as amostras apresentaram classificações diferentes, porém com poucas variações, sendo o P1 uma areia siltosa (SM), P2 uma argila siltosa de baixa plasticidade (CL-ML) e o P3 uma argila de baixa plasticidade (CL). Em relação a classificação da AASHTO, o ponto 3 foi classificado como solo argiloso “A-6” devido seu índice de plasticidade ser maior que 11%, já os demais pontos, tratam-se de solos siltosos do tipo “A-4”. Em ambas as classificações, percebeu-se a predominância da designação “siltoso”, justificado pela maior presença de silte em todos os pontos, conforme verificado no ensaio de granulometria.

Na carcinicultura geralmente os solos são classificados quanto sua textura seguindo as recomendações do triângulo textural proposto pela USDA. No Brasil, a EMBRAPA utiliza um modelo simplificado desse triângulo e segundo ele todos os pontos analisados se enquadram como sendo de textura média, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Classificação textural dos pontos estudados pela EMBRAPA.



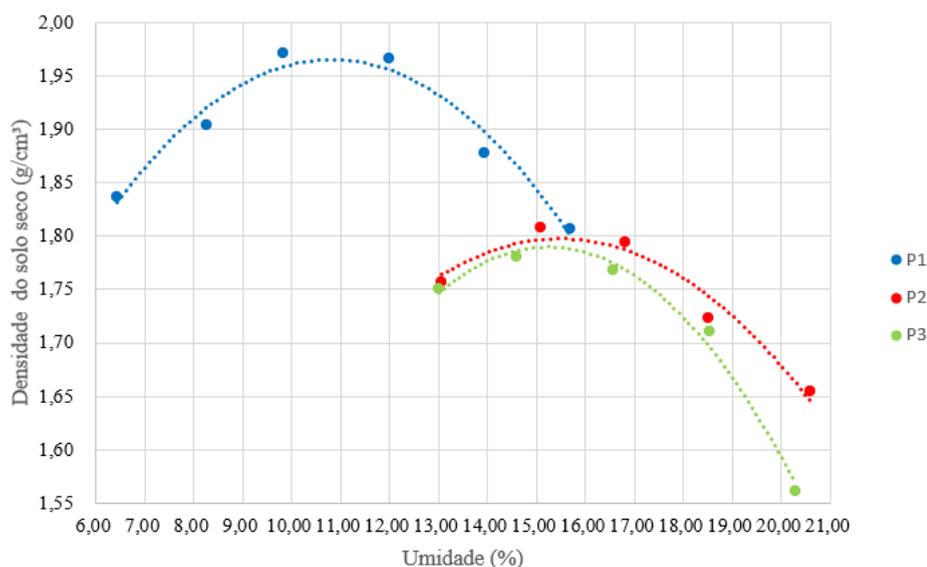
Fonte: EMBRAPA. Adaptado pela autora.

Rezende e Bergamin (2013) em estudo feito para a EMBRAPA, recomendam o uso de solos com textura média para a construção de reservatórios aquícolas, nesse sentido, verifica-se que todos os pontos apresentaram texturas satisfatórias.

#### 4.1.4. Compactação

As curvas de compactação de cada ponto estão ilustradas no Gráfico 2. Os valores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima obtidos no ensaio podem ser visualizados na Tabela 5.

Gráfico 2 – Curva de compactação do ponto P1, P2 e P3.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 05 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio de compactação.

| <b>Ponto</b> | <b>Massa específica aparente<br/>seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Umidade<br/>ótima (%)</b> |
|--------------|---|------------------------------|
| <b>1</b>     | 1,97  | 10,9                         |
| <b>2</b>     | 1,80  | 15,4                         |
| <b>3</b>     | 1,79  | 15,6                         |

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Analisando esses resultados, percebe-se que a medida que há um aumento na quantidade de finos entre os pontos analisados, há redução na massa específica aparente seca máxima e consequente aumento na umidade ótima, o que está condizente com os estudos de Barcelo *et al* (2019) que verificou a influência da porcentagem de finos na compactação do solo, ao estudar 5 amostras com diferentes granulometrias. Autores como Caputo (1988), Pinto (2006) e Das (2007) também relataram o efeito do tipo de solo nesse comportamento.

É importante salientar que estes resultados foram fundamentais para dar início ao ensaio de permeabilidade, pois através do cálculo da umidade ótima foi possível definir a quantidade de água necessária para ser adicionada no processo de compactação para posteriormente iniciar a saturação do corpo de prova em estudo, e assim, obter os parâmetros essenciais para determinar o coeficiente de permeabilidade.

#### 4.2. Permeabilidade

Os resultados do ensaio de permeabilidade para os pontos P1, P2 e P3 podem ser conferidos nas Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente. Nelas são apresentadas as leituras de temperatura, alturas do nível de água e tempo e seus coeficientes de permeabilidade.

Tabela 6 – Leituras durante o ensaio de permeabilidade para o ponto P1.

| <b>Leitura</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Fator de<br/>correção</b> | <b>h<sub>0</sub> (cm)</b> | <b>h<sub>f</sub> (cm)</b> | <b>Δh (cm)</b> | <b>t (s)</b> | <b>k<sub>20</sub> (cm/s)</b> |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------------|------------------------------|
| 01             | 28                          | 0,811                        | 145,0                     | 144,4                     | 0,60           | 3815         | 2,5E-07                      |
| 02             | 28                          | 0,811                        | 145,0                     | 144,4                     | 0,60           | 3819         | 2,5E-07                      |
| 03             | 28                          | 0,811                        | 145,0                     | 144,4                     | 0,60           | 3820         | 2,5E-07                      |

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Tabela 7 – Leituras durante o ensaio de permeabilidade para o ponto P2.

| <b>Leitura</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Fator de<br/>correção</b> | <b><math>h_o</math> (cm)</b> | <b><math>h_f</math> (cm)</b> | <b><math>\Delta h</math> (cm)</b> | <b>t (s)</b> | <b><math>k_{20}</math> (cm/s)</b> |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| 01             | 28                          | 0,811                        | 145,0                        | 144,4                        | 0,60                              | 5760         | 1,7E-07                           |
| 02             | 28                          | 0,811                        | 145,0                        | 144,5                        | 0,50                              | 5100         | 1,7E-07                           |
| 03             | 28                          | 0,811                        | 145,0                        | 144,4                        | 0,60                              | 5820         | 1,7E-07                           |

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Tabela 8 – Leituras durante o ensaio de permeabilidade para o ponto 3.

| <b>Leitura</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Fator de<br/>correção</b> | <b><math>h_o</math> (cm)</b> | <b><math>h_f</math> (cm)</b> | <b><math>\Delta h</math> (cm)</b> | <b>t (s)</b> | <b><math>k_{20}</math> (cm/s)</b> |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| 01             | 28                          | 0,811                        | 145,0                        | 144,5                        | 0,50                              | 5160         | 1,6E-07                           |
| 02             | 28                          | 0,811                        | 145,0                        | 144,6                        | 0,40                              | 4560         | 1,6E-07                           |
| 03             | 28                          | 0,811                        | 145,0                        | 144,6                        | 0,40                              | 4620         | 1,6E-07                           |

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Ao final de cada ensaio, foi realizada a média dos valores do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ). Para melhor entendimento, a Tabela 9 apresenta o resumo destes resultados.

Tabela 9 – Resumo dos valores obtidos no ensaio de permeabilidade.

| <b>Ponto</b> | <b>Coefficiente de permeabilidade (cm/s)</b> |
|--------------|--|
| <b>1</b>     | 2,5E10-7                                     |
| <b>2</b>     | 1,7E10-7                                     |
| <b>3</b>     | 1,6E10-7                                     |

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Como pode-se observar, o P1 apresentou o maior coeficiente de permeabilidade, com pequena disparidade em relação aos outros pontos, o que é justificável pela fração significativa de grãos de areia existente em sua composição. Além disso, é notório a redução da permeabilidade quando compara-se o P3 e o P1. Isso é condizente com a literatura, uma vez que, o P3 possui uma maior porcentagem de finos e estes tendem a ocupar os espaços entre as partículas sólidas de maior granulometria, o que reduz o volume de vazios disponíveis para que ocorra o fluxo de água. Pinheiro *et al* (2017), Santana *et al.* (2021) e

Torres (2022) relataram situações semelhantes.

Comparando esses resultados com as classificações de Caputo (2015), Mitchell (1993) e Tonin (2015) apresentadas no item 2.2 deste trabalho, verifica-se a tabela a seguir.

Tabela 10 – Comparação das classificações de permeabilidade para o solo em estudo.

| <b>Referência</b> | <b>Permeabilidade</b>    |
|-------------------|--------------------------|
| Caputo (2015)     | Impermeável              |
| Mitchell (1993)   | Praticamente impermeável |
| Tonin (2015)      | Muito Baixa              |

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Em todas as classificações, o solo estudado se mostrou com permeabilidade baixíssima. Além disso, todos os pontos coletados apresentaram coeficientes de permeabilidade na ordem de  $10^{-7}$  cm/s, dessa forma, pode-se inferir que de acordo com os critérios da FAO (2006) que recomenda um coeficiente de permeabilidade menor que  $5 \times 10^{-6}$  cm/s no fundo dos reservatórios e menor que  $1 \times 10^{-4}$  cm/s para seus diques, o solo estudado encontra-se com permeabilidade adequada para seu uso na carcinicultura.

**5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conforme apresentado ao longo do trabalho, pode-se reafirmar a importância do estudo da permeabilidade na carcinicultura, visto que a grande quantidade de água para viabilizar a atividade é em parte perdida por infiltração.

Considerando os valores de permeabilidade estabelecidos pela FAO (2006), conclui-se que o solo do local estudado se mostrou apropriado para a utilização na construção dos viveiros. Quando avalia-se as outras características apenas o índice de plasticidade apresentou valores inadequados para seu uso nos taludes, logo, seria necessário realizar uma estabilização com outros materiais de melhor consistência.

As informações e dados apresentados neste trabalho permitiram obter valores de referência para a permeabilidade do solo utilizado na construção de reservatórios na carcinicultura no município de Jaguaruana-CE. Dessa forma, devido a escassez de estudos que abordam o tema, espera-se que essa pesquisa contribua positivamente para futuras obras aquícolas na região, visto a grande importância de reduzir os impactos causados pela atividade.

Os conteúdos aqui apresentados demonstram que muitas outras pesquisas ainda podem ser realizadas, desta forma, sugere-se as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Ampliar esse estudo para outros municípios produtores de camarão, de modo que o estudo possa auxiliar na construção dos viveiros na região;
- Estudar a adição de outros materiais que possam melhorar a consistência e a permeabilidade do solo;
- Realizar o estudo das linhas de fluxo do viveiro para que possa analisar o caminho e a extensão da percolação de água no interior solo, verificando se esta atravessa os terrenos vizinhos;
- Relacionar os parâmetros de permeabilidade em laboratório com os obtidos em ensaios de campo.

## REFERÊNCIAS

ABCC - Associação Brasileira dos Criadores de Camarão. **Censo da Carcinicultura do Litoral Sul do Estado do Ceará e Zonas Interioranas Adjacentes 2015/2016**. Natal, RN, Brasil, nov. 2017.

ABCC - Associação Brasileira dos Criadores de Camarão. **Revista da ABCC – Número Especial FENACAM'22**, ano 26, n. 3, nov. 2022.

ALEXANDRE, J. **Análise de matéria prima e composições de massa utilizada em cerâmicas vermelhas**. Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.

ALMEIDA, S. A. A.; SILVA, J. E. Estratégias de reuso direto dos efluentes da carcinicultura em águas oligohalinas. **Feed & Food**, ano 16, n. 182, 15 jun. 2022. ABCC NEWS, p. 82-83. Disponível em:

<<https://www.revistafeedfood.com.br/pub/curuca/?numero=182&edicao=11819#page/82>>.

Acesso em: 6 de novembro de 2022.

ARAÚJO, D. C. **Avaliação do Programa Nacional de Desenvolvimento da Aqüicultura – O Caso da Carcinicultura Marinha no Nordeste**. Dissertação (Mestre em gestão pública para o desenvolvimento do Nordeste) - Universidade Federal De Pernambuco - Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento, Recife, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459** – Solo – Determinação do limite de liquidez. Versão corrigida em 2017. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Determinação do índice de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo Análise Granulométrica. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo - Ensaio de Compactação. Versão corrigida em 2020. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14545**: determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2021.

BARCELO, B. G. *et al.* **Análise da porcentagem de finos na compactação do solo**. 19º Congresso Nacional de Iniciação Científica - CONIC, [s. l.], 2019.

BOWMAN, J. R. **Classification and Management of Earthen Aquaculture Ponds, with Emphasis on the Role of the Soil**. Tese (Doutorado), janeiro, 1992. Disponível em:

<file:///D:/Documentos/Downloads/BowmanJamesR1992.pdf>. Acesso em: 5 de novembro de 2022

BURKERT, D.; SANTOS, V. B. Infiltração em viveiros escavados destinados à criação de peixes. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 14, n. 2, 2017.

CÂMARA, M. H. **Licenciamento ambiental na carcinicultura: uma análise sobre os caminhos da legalidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 234p.

CARBALLO, E. *et al.* **Piscicultura de água doce em pequena escala**. Wageningen: Fundação Agromisa /CTA 2008. 18 p.

CARVALHO, A. H. **Passagens molhadas e dinâmica fluvial no rio Jaguaribe: uma análise a partir da passagem molhada João Serafim, Jaguaruana - Ceará**. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual do Ceará, 2013.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. B. D. **Infiltração**. In: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Hidrologia., 2016. cap. 5, p. 60-80.

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Outorgas Concedidas e Vigentes**. Disponível em:  
<[http://outorgasvigentes.cogerh.com.br/paginaSemValidacao/outorgaVigente/outorgas\\_fh.xml](http://outorgasvigentes.cogerh.com.br/paginaSemValidacao/outorgaVigente/outorgas_fh.xml)>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

CUNHA, P. E. V. **Caracterização dos meios de cultivo de viveiros de carcinicultura e da lagoa de disposição dos efluentes no Rio Grande do Norte: subsídios para proteção dos ecossistemas deste estudo**. Dissertação de Mestrado (Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6ª. edição. São Paulo: Thomson, 2007. 562 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . **Atributos do solo**. Grupamento textural. Disponível em:  
<<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/atributos-do-solo/outros-atributos>>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

FAO - Food and Agriculture Organization Of . **The United Nations.Training Series**, Soil, chapter 9 - Soil Permeability, 2006, CD ROOM. Disponível em:  
<[https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706e/x6706e12.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e12.htm)>. Acesso em: 5 de setembro de 2022.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Impactos ambientais da carcinicultura de águas interiores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 231-240, 2006.

FILHO, M. L.. et al. **A Carcinicultura como uma viável e promissora alternativa econômica para a Região Nordeste**. Pernambuco, 2006, p. 08. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/21010801-A-carcinicultura-como-uma-viavel-e-promissora-alternativa-economica-para-a-regiao-nordeste.html>>. Acesso em: 7 de novembro de 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, D. N. **Acompanhamento dos trabalhos de construção do viveiro do projeto de carcinicultura da empresa CEMAR - ceará mariscos, município de Paraipaba, ceará**. Relatório de estágio supervisionado (engenheiro de pesca) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. IBGE (2021). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/jaguaruana.html>>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa pecuária municipal**. IBGE (2022). Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/3940>>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

LIBARDI, P. L. **Água no Solo**. ESALQ - USP, 2016. Disponível em: <[http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce200/Agua\\_no\\_Solo\\_2016\\_simulado.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce200/Agua_no_Solo_2016_simulado.pdf)>. Acesso em: 5 de novembro de 2022.

MARANGON, M. **Hidráulica dos Solos**. 2ª. edição. Minas Gerais: Núcleo de Geotecnia, 2018. 29 p

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior**. 2ª. ed. Berkeley: John Wiley & Sons, 1993. 347 p.

MOURA, M.A.M.; VIEIRA, M.S. Poluição de ecossistemas aquáticos – I: aquicultura. **Biológico**, São Paulo, v.72, n.1, p.71-74, jan./jun., 2010.

OLIVEIRA, P. N. Engenharia para aquicultura. Recife: UFRPE. 2000. 294p.  
ONO, E, KUBITZA, F. Construção de viveiros e de estruturas hidráulicas para o cultivo de peixes. **Revista Panorama da Aquicultura**, nº 72, julho-agosto, p. 35-48, 2002.

PINHEIRO, R. J. B *et al.* Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria – RS. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 347 – 363, 2017.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 2ed. São Paulo, 2002. 355 p.

REZENDE, F. P.; BERGAMIN, G. T. Implantação de piscicultura em viveiros escavados e tanques-rede. In: RODRIGUES, A. P. O. *et al.* **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013, cap. 4, p. 109-139. ISBN 978-85-7035-272-9.

RIO DOCE PISCICULTURA. **Guia informativo**. Solo. 2012. Disponível em: <<https://www.riodocepiscicultura.com.br/pdf/guiainformativo.pdf>>. Data de acesso: 10 de novembro de 2022.

ROCHA, I. Desafios e oportunidades para a carcinicultura brasileira em 2023. **Feed & Food**, ano 16, n. 186, out. 2022. ABCC NEWS, p. 84-85. Disponível em: <<https://www.revistafeedfood.com.br/pub/curuca/?numero=186&edicao=11878#page/84>>. Acesso em: 6 de novembro de 2022.

ROCHA, I. O aumento da produção e o retorno das exportações, deverão nortear o crescimento e sustentabilidade da carcinicultura brasileira, pós-covid-19. **Revista da ABCC - Associação Brasileira dos Criadores de Camarão**, ano 23, n. 4, p. 19-21, nov. 2021.

ROCHA, I. R. C. B.; SOUZA, A. K. O. Desempenho zootécnico da carcinicultura em águas oligohalinas no Ceará. **Feed & Food**, ano 16, n. 178, fev. 2022. ABCC NEWS, p. 78-79. Disponível em: <<https://www.revistafeedfood.com.br/pub/curuca/?numero=178&edicao=11754#page/78>>. Acesso em: 6 de novembro de 2022.

SANTANA, C. L. *et al.* Análise da influência dos grãos finos nos parâmetros de consistência, consolidação e permeabilidade do solo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 40, n. 3, p. 661 - 672, 2021.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Como montar uma criação de camarão**. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Aquicultura%20-%20Como%20montar%20uma%20cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20camar%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 6 de novembro de 2022.

SILVA, J. K. **Agrohidronegócio da carcinicultura: reconfigurações ambientais, sociais e tecnológicas no município de Jaguaruana - Ceará**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido Programa de Pós- Graduação em Ambiente, Tecnologia E Sociedade - PPGATS, Mossoró - RN, 2014.

TONIN, F. **Plasticidade e Consistência dos Solos**. Mecânica de Solos. Faculdade Sudoeste Paulista (FSP), 2015. p. 09. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/21138944-Permeabilidade-dos-solos-mecanica-de-solos-prof-fabio-tonin.html>>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

TORRES, G. O. V. **Parâmetros de compressibilidade e permeabilidade de misturas de areia e finos lateríticos de um sedimento pós-barreiras da cidade de Natal-RN**. 21f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

VIDAL, M. F. **Carcinicultura**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 7, n.222, abr. 2022. (Caderno Setorial).