

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

RODRIGO CARDOSO DURGIEWICZ  
VINÍCIUS ALONSO TURINA MATTOS

DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO DIGITAL MICROCONTROLADO  
PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE SOLOS

CURITIBA

2016

RODRIGO CARDOSO DURGIEWICZ  
VINÍCIUS ALONSO TURINA MATTOS

DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO DIGITAL MICROCONTROLADO  
PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE SOLOS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) e do curso de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista/Eletrônico.

Orientadora: Prof. Ma. Mariana Antonia Aguiar Furucho

Coorientador: Prof. Me. Miguel Olandoski Neto

CURITIBA  
2016

Rodrigo Cardoso Durgiewicz  
Vinícius Alonso Turina Mattos

## Desenvolvimento de um instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 27 de outubro de 2016.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Mariana Antonia Aguiar Furucho, Mestre.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientadora

---

Miguel Olandoski Neto, Mestre.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Co-Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Mariana Antonia Aguiar Furucho, Mestre.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Juliana Lundgren Rose, D.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ronaldo Luis dos Santos Izzo, D.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Rubens de Alexandre Faria, D.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aos familiares, amigos(as), professores e todos aqueles(as) que cruzaram em nossas vidas, participando de alguma forma na construção e realização deste tão desejado sonho.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por possibilitar que nossos sonhos sejam realizados.

Aos nossos pais pelo amor, incentivo e por confiar sempre que nossos objetivos seriam alcançados.

À família pela confiança e afeto nos momentos de dificuldade.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), por ter possibilitado esta etapa fundamental de aprendizado em nossas vidas.

À coordenação e aos grandes docentes dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Eletrônica da UTFPR.

Aos professores orientadores, Mariana Antonia Aguiar Furucho e Miguel Olandoski Neto, por sua tranquilidade, dedicação, atenção e pelos grandiosos e valiosos ensinamentos que compartilharam durante toda essa trajetória.

Aos professores Ronaldo Izzo e Juliana Rose pelo auxílio e dedicação bem como o empréstimo do laboratório para a concretização deste trabalho.

À Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional pelo suporte financeiro necessário para o desenvolvimento deste projeto.

Muito Obrigado!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,  
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram  
conquistadas do que parecia impossível.”.

(Charles Chaplin)

## RESUMO

DURGIEWICZ, Rodrigo; MATTOS, Vinicius. Desenvolvimento de um instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos. 2016. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica / Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Apresenta-se neste trabalho a concepção de um instrumento digital microcontrolado, a ser acoplado em um dispositivo para teste e determinação de permeabilidade dos solos com a finalidade de se realizar aquisição automática de dados. O projeto foi motivado pela observação das dificuldades encontradas durante a realização do procedimento manual para obtenção do coeficiente de permeabilidade e possui como objetivo minimizar os erros do operador durante o experimento. Estão contempladas neste documento todas as etapas do desenvolvimento deste projeto, desde o estudo do problema em questão, as tecnologias a serem utilizadas, integração dos módulos de hardware e software até a implementação em laboratório. Ao final, apresentam-se o protótipo do instrumento digital desenvolvido e os resultados satisfatórios e dentro da grandeza esperada e documentada em literatura pertinente obtidos em testes de bancada realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR.

Palavras-chave: Permeabilidade de Solos, Sistema microcontrolado, Mecânica dos Solos

## ABSTRACT

DURGIEWICZ, Rodrigo; MATTOS, Vinicius. Development of a digital microcontroller instrument for obtaining soils permeability coefficient. 2016. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica / Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This work presents the design of a digital microcontroller instrument to be coupled to a device for permeability testing, in order to perform the automatic acquisition of data for determining the soil permeability coefficient. The project, initiated by observing the difficulties encountered during the manual procedure to obtain the permeability coefficient, aims to minimize operator errors during the experiment. This document includes all stages of the development of this project, from the study of the problem and the technologies to be used, integration of hardware and software modules until the implementation in the lab. At the end, it's presented the prototype of the developed digital instrument and the satisfactory results obtained, which were within the order of magnitude expected by Mechanics Soil literature. The tests were carried out in the Laboratory of Soil Mechanics of the UTFPR.

Keywords: Permeability of soils, Microcontrolled System, Soil Mechanics



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arranjo do Experimento de Darcy .....	27
Figura 2 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante .....	28
Figura 3 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável .....	30
Figura 4 – Alimentação do Sistema.....	35
Figura 5 – Fonte Externa e Regulador de 5V .....	36
Figura 6 – Alimentação e Comunicação USB .....	37
Figura 7 – PCI Desenvolvida com os Dois Conectores e Chave Liga/Desliga .....	38
Figura 8 – Diagrama Esquemático do Microcontrolador ATMEGA16U2-MU .....	39
Figura 9 – Pinout ATMEGA328P-PU .....	40
Figura 10 – Sensor de Pressão MPX5010DP .....	42
Figura 11 – Diagrama Esquemático do Sensor de Pressão .....	43
Figura 12 – Sensor de Temperatura .....	43
Figura 13 – Diagrama Esquemático do Sensor de Temperatura .....	44
Figura 14 – Módulo Cartão SD .....	45
Figura 15 – Diagrama Esquemático do Módulo Cartão SD .....	46
Figura 16 – Top Layer .....	47
Figura 17 – Bottom Layer .....	47
Figura 18 – Versão Final da Placa de Circuito Impresso .....	48
Figura 19 – Funcionamento do Programa de Aquisição de Dados .....	50
Figura 20 – Tela para Carregar a Base de Dados .....	51
Figura 21 – Seleção do Tipo do Experimento .....	52
Figura 22 – Carga Constante .....	53
Figura 23 – Carga Variável.....	53
Figura 24 – Diagrama de Caso de Uso do Software Projetado.....	54
Figura 25 – Suporte para Sensor de Pressão – Carga Constante .....	56
Figura 26 – Suporte para Sensor de Pressão – Carga Variável.....	56
Figura 27 – Testes Iniciais do Protótipo em Laboratório .....	57
Figura 28 – Ensaio de Carga Constante – Areia Grossa .....	60
Figura 29 – Ensaio de Carga Variável – Areia Fina .....	62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ordem de Grandeza do Coeficiente de Permeabilidade para Diferentes Tipos de Solos.....	24
Quadro 2 – Fator De Correção de Permeabilidade .....	30
Quadro 3 – Preço do Produto.....	76
Quadro 4 – Projeção de Vendas .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DRE	Demonstrativo de Resultados do Exercício
NBR	Norma Brasileira
PCI	Placa de Circuito Impresso
SI	Sistema Internacional
SPI	Serial Peripheral Interface
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VBA	Visual Basic for Applications
VIB	Velocidade de Infiltração Básica

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	TEMA .....	15
1.2	PROBLEMA .....	15
1.3	OBJETIVOS .....	16
1.3.1	OBJETIVO GERAL .....	16
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.4.	JUSTIFICATIVA .....	17
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	21
2.1	APLICAÇÃO .....	21
2.2	AVALIAÇÃO E MEDIÇÃO DAS PROPRIEDADES DO SOLO .....	22
2.3	DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO .....	23
2.4	MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DO SOLO .....	25
2.4.1	LEI DE DARCY E A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA .....	26
2.4.2	ENSAIO DE PERMEABILIDADE À CARGA CONSTANTE .....	28
2.4.3	ENSAIO DE PERMEABILIDADE À CARGA VARIÁVEL .....	30
2.5	ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES .....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
3.1	HARDWARE .....	34
3.1.1	FONTE DE ALIMENTAÇÃO .....	35
3.1.2	CPU .....	38
3.1.3	SENSORES .....	41
3.1.4	MÓDULO DO CARTÃO SD .....	44
3.1.5	PROJETO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI) .....	46
3.1.6	MONTAGEM DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO .....	48
3.2	SOFTWARE .....	49

3.2.1 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	49
3.2.2 PROCESSAMENTO DE DADOS .....	51
3.3 INTEGRAÇÃO HARDWARE E SOFTWARE.....	55
3.4 PROTÓTIPO .....	55
3.4.1 SUPORTE – PEÇAS DE AÇO CARBONO .....	56
3.4.2 TESTES INICIAIS .....	57
3.4.3 TESTES FINAIS.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
4.1 ENSAIO DE CARGA CONSTANTE .....	59
4.2 ENSAIO DE CARGA VARIÁVEL .....	61
5 CONCLUSÕES.....	64
6 PLANO DE NEGÓCIOS .....	65
6.1 SUMÁRIO EXECUTIVO.....	65
6.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO.....	66
6.2.1 VISÃO .....	66
6.2.2 MISSÃO.....	66
6.2.3 VALORES.....	66
6.2.4 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO .....	67
6.3 OBJETIVOS .....	67
6.3.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS .....	67
6.3.2 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS .....	67
6.4 PRODUTOS E SERVIÇOS .....	68
6.4.1 DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS E SERVIÇOS .....	68
6.4.2 ANÁLISE COMPARATIVA .....	69
6.4.3 TECNOLOGIA .....	69
6.4.4 PRODUTOS E SERVIÇOS FUTUROS .....	69
6.5 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA.....	70
6.5.1 SEGMENTAÇÃO DE MERCADO .....	70
6.5.2 SEGMENTO ALVO DE MERCADO .....	70

6.5.3 NECESSIDADE DO MERCADO .....	71
6.5.4 TENDÊNCIAS DO MERCADO.....	71
6.5.5 CRESCIMENTO DO MERCADO.....	71
6.5.6 ANÁLISE DA INDÚSTRIA .....	71
6.5.7 PLAYERS.....	72
6.5.8 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO .....	72
6.5.9 MODELO DE COMPETITIVIDADE .....	73
6.5.10 PRINCIPAIS PLAYERS .....	73
6.6 DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR.....	74
6.7 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO .....	74
6.8 ESTRATÉGIA DE MARKETING.....	75
6.8.1 ESTRATÉGIA DE PREÇOS.....	75
6.8.2 ESTRATÉGIAS DE PROMOÇÃO.....	76
6.8.3 ESTRATÉGIAS DE DISTRIBUIÇÃO.....	77
6.8.4 ESTRATÉGIA DE VENDAS .....	77
6.8.4.1 Projeção de vendas.....	77
6.8.4.2 Plano de vendas.....	77
6.9 EQUIPE .....	78
6.10 PLANO OPERACIONAL .....	78
6.10.1 PROCESSOS OPERACIONAIS.....	78
6.11 PLANO FINANCEIRO .....	79
6.11.1 CONSIDERAÇÕES .....	79
6.11.2 ANÁLISE DO BREAK-EVEN.....	79
6.12.3 PROJEÇÃO DO RESULTADO .....	80
6.12.4 PROJEÇÃO DO FLUXO DE CAIXA .....	81
REFERÊNCIAS.....	82
APÊNDICES .....	85

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um componente fundamental do ecossistema terrestre por ser o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento. O solo fornece às raízes fatores de crescimento, tais como: suporte, água e nutrientes. (LIMA; LIMA; MELO, 2007).

Além disso, o solo possui inúmeras outras funções a citar: distribuição, escoamento, armazenamento da água da chuva, reciclagem de nutrientes para plantas e animais, sendo que o conhecimento dessas funcionalidades pelo homem pode trazer inúmeros benefícios em diversos setores essenciais ao desenvolvimento humano e tecnológico (COELHO et al., 2013).

Na natureza, podemos encontrar diversos tipos de solos que se diferenciam por características como dureza, salinidade, textura, cor, entre outras, que demandam estudos aprofundados e detalhados, quando existe a necessidade de prepará-lo para aplicações variadas como plantio, desenvolvimento de atividades desportivas e construções, por exemplo. (EMBRAPA, 2003).

A investigação de sua composição, observação da sua relação com determinados elementos da natureza e o exame das interações humanas com esse substrato são essenciais para a compreensão da questão ambiental, superação de desafios e desenvolvimento de sistemas cada vez mais aprimorados que permitam o bom uso do solo para a vida humana.

O coeficiente de permeabilidade do solo é uma das características fundamentais de ser corretamente obtida para o desenvolvimento de eficientes sistemas de irrigação e drenagem, para a determinação de plantações de diferentes culturas que se desenvolverão melhor para o tipo de solo em estudo, bem como para fins de construção civil.

De acordo com Hewlett e Nutter (1969, p.184) a “velocidade de infiltração da água no solo ou taxa de infiltração, a relação entre quantidade de água que ingressa em um solo pelo tempo”. Em vista da importância da determinação da taxa de infiltração de água no solo para um bom manejo do mesmo, e colaborando para construções de sistemas eficientes e sem grandes desperdícios, propõe-se determiná-la de maneira mais precisa e confiável pelo desenvolvimento de um sistema digital microcontrolado específico com o propósito de minimizar os erros do operador

em sua obtenção e que seja confiável para que possa substituir o método manual (convencional) utilizado tradicionalmente.

Essa mudança da forma de adquirir os dados é necessária, pois, segundo José et al. (2013, p.89):

A determinação das variáveis hidráulicas do solo, como a velocidade de infiltração de água no solo, é um processo de difícil obtenção pelo elevado tempo na execução, além da necessidade de equipamentos grandes e pesados.

Ainda que, este experimento possa ser realizado em um laboratório, a necessidade de um operador é imprescindível. Entretanto, tais experimentos, seja em campo, ou em laboratório, estão sujeitos a erros do operador. Dentre eles, podem-se citar erros de paralaxe e delay ao capturar os intervalos de tempo. Além disso, tais ensaios podem ser de longa duração, provocando cansaço do operador e, conseqüentemente, baixo rendimento.

Tendo em vista os inconvenientes do método convencional, pretende-se projetar um sistema digital microcontrolado que seja capaz de eliminar algumas dessas desvantagens, pelo desenvolvimento de um permeâmetro dotado de sensores de pressão e temperatura adequadamente posicionados para determinar a vazão da água através da amostra de solo colhida, em intervalos de tempos pré-determinados, através da teoria da taxa de amostragem.

Para que a aquisição dos dados coletados pelos sensores seja possível, o sistema contará, ainda, com um microcontrolador que os receberá, com um algoritmo especialmente desenvolvido para essa aplicação (software). As informações serão armazenadas localmente em um cartão de memória e transferidas para um computador através desta interface. Para que possam ser processadas as informações coletadas durante o experimento, será confeccionado um software de processamento de dados que resultará em um gráfico de coeficiente de permeabilidade por tempo.

A utilização da comunicação serial entre o computador e o microcontrolador será feita de forma offline, ou seja, não haverá transferência de sinal durante a realização das medições.



## 1.1 Tema

O tema principal deste trabalho é o desenvolvimento de um instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos em um permeâmetro. A confiabilidade dos resultados obtidos pelo sistema a ser desenvolvido quando comparados com os resultados teóricos e com o método convencional será, também, parte fundamental deste trabalho. Os experimentos e validação do protótipo que será desenvolvido serão realizados no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Ecoville, sob responsabilidade do Prof. Dr. Ronaldo Izzo e Prof. Dr. Juliana Rose.

## 1.2 Problema

Determinar de maneira prática, confiável e automatizada, o coeficiente de permeabilidade do solo por um sistema digital microcontrolado, que consiste de um permeâmetro dotado de sensores de pressão e temperatura, corretamente dimensionados e posicionados, que captarão os sinais enviados pelos sensores. Esses serão, então, utilizados para se calcular a vazão de água presente nos tubos e o coeficiente de permeabilidade do solo, pelo envio desses dados a um programa de retaguarda (BackOffice), executado por um computador.

Pretende-se, com o desenvolvimento desse sistema, obter dados referentes ao coeficiente de permeabilidade do solo mais exatos e confiáveis quando comparados com a forma convencional de determinação dessa grandeza física, que ainda hoje é realizada de forma manual.

Tal exatidão será possível devido à taxa de amostragem do experimento automatizado ser muito maior em relação à taxa de amostragem do processo manual. Além disso, o erro de paralaxe e delay não estarão presentes em um sistema automatizado, além de não ser necessária a aproximação de valores dos dados obtidos, que hoje é realizada pelo operador, o que agrega ainda mais erros na geração dos resultados.

A ênfase na exatidão dos dados obtidos deve-se a suma importância da mesma para a determinação da velocidade de infiltração de água no solo, pois como Cecílio et al. (2007) afirmaram “[...] a infiltração é um processo muito complexo, que

pode ser descrito apenas de forma aproximada, por modelos matemáticos [...]”. Os referidos autores realizaram essa afirmação tendo como base os métodos manuais de aquisição de dados em ensaios com permeâmetros.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos pela modernização de um permeâmetro, visando minimizar os erros de leitura e aquisição dos dados realizados pelo operador durante o processo manual convencional.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo citado anteriormente, torna-se imprescindível a criação de objetivos intermediários que auxiliarão todo o desenvolvimento desse projeto. Podem-se elencar tais objetivos, da seguinte maneira:

- Desenvolver o hardware e software de maneira a atender aos requisitos do projeto;
- Efetuar simulações de hardware e software realizando ajustes e correções necessárias;
- Elaborar o protótipo do instrumento digital microcontrolado pela integração do hardware e software previamente desenvolvidos que serão acoplados a um permeâmetro existente e disponibilizado pelo Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR;
- Realizar testes práticos verificando a funcionalidade do protótipo. Se necessário, realizar ajustes e correções no protótipo;
- Verificar e analisar os resultados obtidos para posterior comparação entre a qualidade e confiabilidade dos dados coletados tanto de maneira digital

quanto de maneira manual, a fim de comprovar a eficácia do sistema digital desenvolvido (validação do protótipo).

#### 1.4. Justificativa

A manipulação do solo, com o auxílio da água, sempre esteve presente nas técnicas utilizadas pelos seres humanos tanto na área agrícola (determinação de culturas a serem plantadas) quanto no dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem.

De acordo com Pott (2001, p.77):

A infiltração de água no solo é o processo de entrada de água através da superfície do solo. A taxa de entrada de água no solo decresce com o tempo em função do umedecimento do perfil assumindo um valor mínimo constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB).

Assim, a infiltração é um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. A velocidade de infiltração de água no solo é uma das principais variáveis do solo que determinará as características intrínsecas do solo a ser estudado.

Essa importância foi constatada por Lima (2009), que afirma que a velocidade de infiltração é um dos fatores que mais influencia o escoamento superficial e fornece subsídios para o dimensionamento de reservatórios, estrutura de controle de erosão, sistemas de irrigação e drenagem, bem como para seu dimensionamento.

Segundo Calheiros et al. (2009, p.665):

A má determinação da velocidade de infiltração de água no solo poderá acarretar em falhas e prejuízos de sistemas que utilizam o manejo do solo, inclusive impactando o mesmo em aspectos ambientais, como por exemplo, erosão do solo, lixiviação de nutrientes e salinização, dentre outros.

Conforme Lima e Silans (1999, p.2314):

A compreensão das variáveis físicas do solo - como a velocidade de infiltração - pode ser importante para entender as causas da variabilidade na produção das culturas. Mesmo de aparência homogênea, essas variáveis

podem apresentar variabilidade no espaço e conseqüentemente na resposta hidrológica das culturas.

A principal motivação deste projeto é desenvolver um instrumento de medição que forneça aos seus usuários maior praticidade e confiabilidade. Visando diminuir os erros de paralaxe, muito comuns em processos que envolvem diversas etapas dependentes da interpretação de seus usuários.

Além disso, com o desenvolvimento deste sistema será possível aplicar diversos conceitos técnicos da área de Engenharia Elétrica e Eletrônica que serão necessários à elaboração do protótipo. Também possibilitará a união de esforços e conhecimentos multidisciplinares ao visar suprir uma necessidade real e prática do Laboratório de Mecânica dos Solos, permanentemente ao programa de engenharia civil da UTFPR.

### 1.5 Procedimentos metodológicos

O conteúdo deste trabalho está embasado em artigos científicos, livros técnicos e dissertações de mestrado, que possuam estudos relacionados e/ou significativos para o desenvolvimento de um sistema digital microcontrolado para um permeâmetro. Será necessária a utilização de literatura de diversas áreas técnicas, tais como as áreas de automação, microprocessadores, construção civil, agronomia, dentre outras. Também serão realizadas entrevistas técnicas com especialistas da área de engenharia agrônômica e civil, com o objetivo de identificar os requisitos do projeto. Está também planejada a realização de testes de validação do protótipo no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville, sob responsabilidade do Prof. Dr. Ronaldo Izzo.

O estudo da viabilidade do projeto, bem como o levantamento do problema necessário à compreensão das necessidades das diversas áreas que fazem uso do permeâmetro, também será realizado. Após elencar todos os requisitos necessários ao desenvolvimento de um permeâmetro digital microcontrolado, será realizada a fase de construção do protótipo e os testes em bancadas. A etapa final será o teste em condições reais de utilização do instrumento (validação) no laboratório de Mecânica dos Solos.

As ações necessárias ao projeto serão tratadas independentemente. Assim, serão desenvolvidas as seções de hardware e software. Em todas as fases do projeto serão levantados os requisitos para um desenvolvimento mais objetivo, organizado e eficiente. Na parte de hardware, o microprocessador será escolhido tendo como base os requisitos elencados, assim como o desenvolvimento do circuito esquemático e a confecção da placa de circuito impresso (PCI).

Para o desenvolvimento do software, será implementado o código para aquisição e tratamento dos dados obtidos pelo instrumento digital microcontrolado. Ao concluir todas as etapas do projeto e testá-las de maneira independente, será realizada a integração das seções desenvolvidas a fim de materializar um protótipo de um permeâmetro com um sistema digital controlado. Após a integração das partes citadas, serão realizados testes adicionais (testes de mesa) para verificar se o sistema está funcionando de acordo com o seu propósito, ou seja, a obtenção do coeficiente de permeabilidade em amostras de solos previamente conhecidas.

Após os testes de mesa haverá uma etapa final de comparação entre a qualidade e confiabilidade dos dados digitais com os obtidos pelo método manual, a fim de comprovar a eficácia do sistema digital desenvolvido para determinação da velocidade de infiltração de água no solo.

## 1.6 Estrutura do trabalho

Capítulo 1 – Introdução com apresentação do tema proposto, problemas, objetivo geral, objetivos específicos, justificativa e procedimentos metodológicos. Nesse capítulo será descrito a importância do estudo do solo e as principais razões para realização desse projeto, verificando os principais objetivos a serem alcançados.

Capítulo 2 – Referencial teórico. Será apresentado todo o embasamento teórico para a realização do projeto tendo como fonte de pesquisa artigos científicos, normas da área, livros técnicos, dissertações de mestrado.

Capítulo 3 – Materiais e métodos. Será descrito todo o processo de desenvolvimento de hardware e software do sistema digital microcontrolado para um permeâmetro. Além disso, será demonstrado como será feita a integração entre os módulos de software e hardware, adaptando-os aos requisitos fundamentais do

projeto. Os procedimentos referentes à elaboração do protótipo e a determinação de quais materiais/componentes serão utilizados para essa confecção, serão analisados.

Capítulo 4 – Resultados e discussão. Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos com o protótipo do sistema digital microcontrolado para o permeâmetro nos ensaios de laboratório. Os dados do coeficiente de permeabilidade de solo serão comparados com o método manual a fim de determinar a confiabilidade nos dados adquiridos com o sistema desenvolvido, além de verificar se a qualidade dos resultados é superior em relação ao procedimento manual.

Capítulo 5 – Conclusões. Nesta seção serão abordadas as conclusões sobre o projeto desenvolvido e os resultados obtidos.

Capítulo 6 – Plano de Negócios. Nesta seção serão abordados temas relacionados ao planejamento das atividades financeiras para a transformação deste projeto em um produto final e a possível criação de uma empresa, em forma de serviço ou apenas revenda do sistema desenvolvido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aplicação

O coeficiente de permeabilidade é uma das principais grandezas hídricas do solo utilizadas por pesquisadores, agricultores, profissionais da área civil, estudantes e demais pessoas envolvidas com estudo do solo em suas mais diversas aplicações.

Com isso, o projeto em questão visa aprimorar a forma de se determinar a permeabilidade do solo, a partir do desenvolvimento de um sistema digital microcontrolado composto por sensores de pressão e temperatura e um microcontrolador. Deste modo, o sistema será capaz de determinar essa grandeza física de forma exata, segura e eficaz.

Atualmente, os discentes do curso de Engenharia Civil determinam o coeficiente de permeabilidade de uma amostra de solo conhecida pelo experimento de carga constante ou carga variável, em que todas as medidas são feitas de maneira manual. Os principais dados a serem coletados por meio desses processos são: tempo e altura da coluna d'água para o experimento de carga variável, e tempo e volume de água para o experimento de carga constante. Além disso, para ambos os experimentos, é necessário medir a temperatura de saída da água.

Sabe-se que erros de medições são frequentemente observados nesse processo manual e fazem com que o resultado final e correto do experimento seja sub ou superestimado. Deste modo, os resultados obtidos na prática podem, em certos casos, divergir dos resultados teóricos.

Propõem-se, então, um projeto que vise determinar o valor do coeficiente de permeabilidade de uma amostra de solo de maneira automatizada, eliminando erros humanos nas medições e cálculos, sendo mais cômodo e confiável para os usuários, diminuindo o tempo que o especialista precisa dedicar para a determinação dessa grandeza.

## 2.2 Avaliação e medição das propriedades do solo

No solo existem diversas propriedades que possuem real importância tanto para a natureza quanto para a vida humana. Segundo Coelho et. al. (2013), a sobrevivência do homem na terra seria muito difícil ou até mesmo impossível sem os produtos que o solo fornece aos seres humanos. Então, a avaliação e manipulação adequadas de suas propriedades influenciam diretamente na presença da vida humana na terra.

Ainda segundo Coelho et. al. (2013, p.49):

O solo continuará a fornecer e suprir quase tudo o que comemos e vestimos, além de uma grande porcentagem de medicamentos, que podem ser derivados de plantas cultivadas ou que crescem naturalmente sob determinados tipos de solos e de clima.

Ressalta-se, então, a importância que o solo possui em nosso planeta e que cuidados e manipulações adequadas devem ser feitos para que se possa, cada vez mais, tirar proveito desse recurso, sem causar danos e prejuízos tanto para a natureza quanto para os seres humanos.

Além disso, até na geração de energia, o solo possui influência, como o desenvolvimento de plantas com potencial energético elevado, fazendo com que haja uma alternativa em relação aos combustíveis fósseis. Um exemplo disso é a cana de açúcar que produz o etanol muito utilizado como combustível em automóveis.

Delimitando o estudo do solo em suas propriedades físicas que envolvem o escopo desse trabalho, e que são muito utilizadas na área de Engenharia Civil para criação de sistemas de drenagem e fundações, por exemplo. Consideram-se que a textura do solo, que envolve o tamanho das partículas que o compõem e a sua estrutura, definido pelo arranjo das partículas em agregados, são as duas propriedades físicas hierarquicamente mais importantes (REINERT; REICHERT, 2006).

Outra propriedade física importante do solo é a porosidade. Segundo Reinert e Reichert (2006, p.2):

A porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física dos solos, tais como retenção e fluxo de água e ar, e, se analisada conjuntamente com a matriz do solo, gera um grupo de outras propriedades físicas do solo associadas às relações de massa e volume das fases do sistema solo.



Para um bom uso e manejo do solo, é importante mensurar as propriedades deste sistema que irão interferir direta e indiretamente com a aplicação que se deseja trabalhar sobre o solo. Por exemplo, a medição das propriedades físicas como porosidade, textura, estrutura, entre outras, são fundamentais para orientar a irrigação, drenagem, preparo e conservação do solo (REINERT; REICHERT, 2006).

Embora haja um avanço na modernização das mensurações das propriedades do solo, como o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos que realizam essas medições em campo, muitas medidas ainda são realizadas colhendo amostras do solo e levando-as a laboratórios específicos para que seja feita uma análise dessas amostras.

É possível notar que a mensuração das propriedades do solo é de fundamental importância no uso e manejo desse sistema visando sempre melhores resultados nas aplicações, com menores impactos possíveis. Assim, para qualquer aplicação que se deseja realizar com o solo, todas as propriedades envolvidas devem ser levantadas para que sejam mensuradas e, assim, desenvolver a aplicação desejada.

### 2.3 Determinação da permeabilidade do solo

A propriedade física de maior interesse nesse trabalho é o coeficiente de permeabilidade do solo. De maneira geral, a permeabilidade é uma propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento de água através dele, sendo que todos os solos apresentam essa propriedade em maior ou menor intensidade (VARGAS, 2015). O grau dessa propriedade física do solo é expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade (CAPUTO, 1996). Ainda, é definida como possuindo maior ou menor facilidade com que a percolação de água ocorre através do solo.

Observa-se no quadro 1 a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade (cm/s) tanto para solos permeáveis quanto para solos pouco permeáveis.

Permeabilidade	Tipo de solo	k a 20°C (cm/s)
Alta	Pedregulho	$> 10^{-1}$
Média	Areia grossa	$10^{-1}$
Média	Areia média	$10^{-2}$
Média	Areia fina	$10^{-3}$
Média	Areia argilosa	$10^{-5}$
Baixa	Siltes	$10^{-4}$ a $10^{-7}$
Baixa	Argilas	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Muito Baixa	Argilas	$10^{-6}$ a $10^{-7}$
Baixíssima	Argilas	$< 10^{-7}$

QUADRO 1 – ORDEM DE GRANDEZA DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE PARA DIFERENTES TIPOS DE SOLOS

FONTE: Bittencourt (2016).

Há diversos fatores que interferem diretamente na determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos, a se conhecer: índice de vazios que possui uma relação diretamente proporcional à permeabilidade; temperatura da água influenciando na viscosidade desse líquido em que quanto maior for à temperatura, menor é a viscosidade e, conseqüentemente, melhor a água fluirá pelo solo; densidade, significando que quanto mais pesada for à água, pior será o fluxo pelo solo e, os tipos de solo que alteram o coeficiente de permeabilidade (PAZZETTO; BACK, 2009).

Observa-se que para determinar o coeficiente de permeabilidade de maneira confiável, deve-se estimar e conhecer todos os fatores que interferem na mensuração da permeabilidade. Por exemplo, a norma NBR 14545 (ABTN, 2000) informa que a temperatura da água deve ser corrigida para 20°C nos ensaios de laboratório. Além desse ajuste, diversos outros serão analisados com o objetivo de que a mensuração realizada no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR Campus Ecoville seja a mais exata.

A importância da determinação do coeficiente de permeabilidade do solo, principalmente na área de construção civil, é que os problemas mais graves dessa área estão relacionados com a presença de água no solo (TONIN, 2015). Além disso, o dimensionamento de diversas construções, problemas de enchentes e inundações, preparo de uma determinada área para plantações, cultivos e práticas de atividades

esportivas, por exemplo, estão de alguma forma relacionadas ao coeficiente de permeabilidade do solo, sendo que um estudo do local deverá ser feito a fim de evitar prejuízos e tragédias.

Segundo Pazzetto et al. (2009, p.82):

O conhecimento do valor da permeabilidade é muito importante em algumas obras de engenharia, essencialmente, na estimativa da que percolará pelo meio do maciço e da fundação em barragens de terra, em obras de drenagem, rebaixamento do nível de água, adensamento, entre outras aplicações.

Ressalta-se então a importância de mensurar essa propriedade de maneira confiável, uma vez que a sua determinação é aplicada em diversas áreas que envolvem a Engenharia Civil.

#### 2.4 Métodos para determinação do coeficiente de permeabilidade do solo

Segundo Braja (2006, p. 123):

Os solos são permeáveis em função da existência de vazios interconectados pelos quais a água pode fluir de pontos de alta energia para pontos de baixa energia. O estudo do fluxo de água através do solo permeável é importante na mecânica dos solos.

Em outras palavras, a permeabilidade é a facilidade com que um fluido, neste caso a água, é capaz de atravessar um meio poroso, a qual é expressa pelo coeficiente de permeabilidade, ou coeficiente de condutividade hidráulica ( $k$ ). Para determinação desse coeficiente, existem dois tipos de ensaios: o ensaio de permeabilidade à carga constante e à carga variável.

O ensaio de permeabilidade à carga constante é indicado para solos de grossa granulometria, como, por exemplo, areais e soltes. Enquanto o ensaio de permeabilidade à carga variável é recomendado para solos com baixo coeficiente de permeabilidade, como, por exemplo, solos compostos por argilas.

Ambos os ensaios são regidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O método, procedimentos e parâmetros a serem adotados no ensaio de carga constante são normatizados pela NBR 13292:1995 – Solo –

Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Já o método, procedimentos e parâmetros a serem seguidos no ensaio de carga variável é regido pela NBR 14545:2000 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.

#### 2.4.1 Lei de Darcy e a condutividade hidráulica

A determinação do coeficiente de permeabilidade é feita tendo em vista a lei experimental de Darcy. Em 1856, Darcy publicou uma equação simples para a velocidade de percolação de água através de solos saturados, que pode ser expressa por:

$$v = ki \quad (1)$$

Sendo:

$v$  é a velocidade de percolação, que é a quantidade de água fluindo por unidade de tempo por uma área unitária de seção transversal bruta de solo normal à direção de fluxo;

$k$  é a condutividade hidráulica (coeficiente de permeabilidade);

$i$  é o gradiente hidráulico.

Essa equação foi baseada nas observações de Darcy em seu experimento que era constituído de coluna saturada de areia, através da qual foi promovida a percolação da água. Com este arranjo experimental, após atingir a condição de equilíbrio dinâmico, Darcy concluiu que a vazão em escoamento no meio poroso era proporcional à área de sua seção transversal e à diferença entre as cargas hidráulicas que atuam nas extremidades da amostra de solo; e, inversamente proporcional ao comprimento da camada de areia. O arranjo do experimento de Darcy pode ser observado na figura 1.

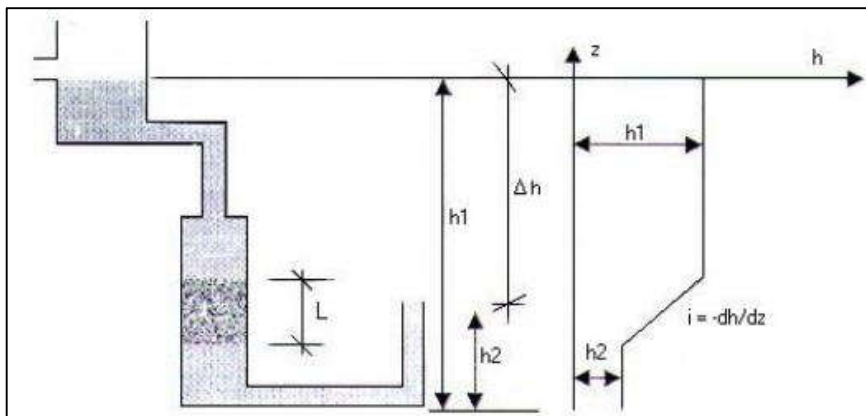


FIGURA 1 – ARRANJO DO EXPERIMENTO DE DARCY

FONTE: Marangon. Unidade 1 – HIDRÁULICA DOS SOLOS. Notas de aula.

Segundo Braja (2006, p. 126):

A condutividade hidráulica dos solos depende de vários fatores: viscosidade do fluido, distribuição de tamanho dos poros, distribuição granulométrica, índice de vazios, rugosidade das partículas minerais e grau de saturação do solo. Em solos argilosos, a estrutura tem um papel importante na condutividade hidráulica. Outros fatores importantes que afetam a permeabilidade das argilas são a concentração iônica e a espessura das camadas de água retida nas partículas de argila.

A condutividade hidráulica ou o coeficiente de permeabilidade é expresso, em geral, em cm/s ou m/s no Sistema Internacional (SI).

## 2.4.2 Ensaio de permeabilidade à carga constante

Um arranjo típico de ensaio de permeabilidade com carga constante pode ser visualizado na figura 2.

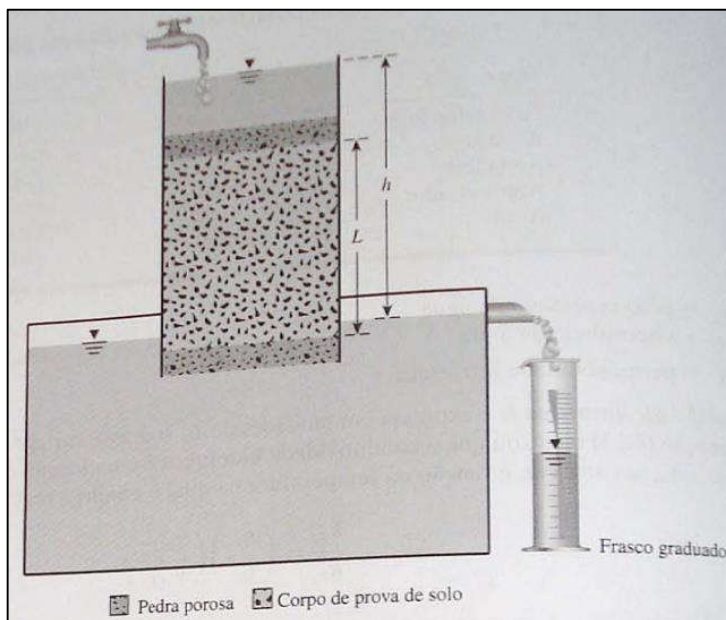


FIGURA 2 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE  
FONTE: Braja (2006).

Nesse ensaio, o fornecimento de água na entrada é ajustado de modo que a diferença de cargas entre a entrada e a saída permaneça constante durante todo o período de execução do ensaio. Depois de estabelecido um fluxo constante de água, a água é coletada em um frasco graduado durante um tempo conhecido.

O volume total de água coletado pode ser expresso por:

$$Q = Avt = A(ki)t \quad (2)$$

Sendo:

$Q$  é o volume de água coletado;

$A$  é a área da seção transversal da amostra de solo;

$t$  é o tempo de coleta de água.

E como:

$$i = \frac{h}{L} \quad (3)$$

Em que:

$L$  é o comprimento do corpo de prova.

Tem-se então, a equação para cálculo do coeficiente de permeabilidade pelo ensaio à carga constante:

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (4)$$

Sendo:

$L$  é o comprimento da amostra na direção do fluxo;

$Q$  é o volume de água percolada;

$A$  é a área da seção transversal da amostra;

$t$  é o tempo de coleta de água;

$h$  é a carga hidráulica.

Posteriormente, o coeficiente encontrado deve ser referenciado para a temperatura padrão de 20°C pela expressão:

$$k_{20} = k \cdot C \quad (5)$$

Sendo:

$k_{20}$  é o coeficiente de permeabilidade a 20°C;

$k$  é o coeficiente de permeabilidade encontrado;

$C$  é o fator de correção.

No quadro 2 pode ser observado os fatores de correção para cada valor de temperatura T do ensaio, variando de 15 a 30°C.

<b>Fator de Correção de Permeabilidade</b>			
<b>TEMPERATURA</b>	<b>FATOR</b>	<b>TEMPERATURA</b>	<b>FATOR</b>
15	1,135	23	0,931
16	1,106	24	0,910
17	1,077	25	0,889
18	1,051	26	0,869
19	1,025	27	0,850
20	1,000	28	0,832
21	0,976	29	0,814
22	0,953	30	0,797

QUADRO 2 – FATOR DE CORREÇÃO DE PERMEABILIDADE  
 FONTE: Adaptado de Braja (2006).

#### 2.4.3 Ensaio de permeabilidade à carga variável

Um arranjo típico de ensaio de permeabilidade com carga variável pode ser visualizado na figura 3.

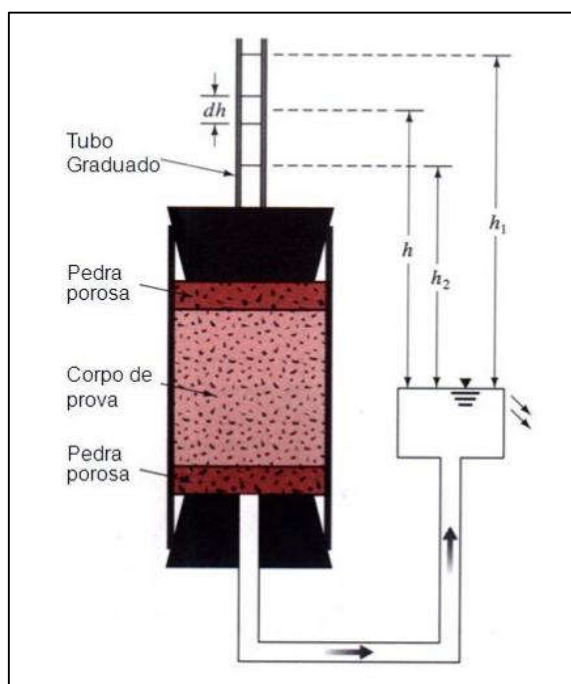


FIGURA 3 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE COM CARGA VARIÁVEL  
 FONTE: Adaptado de Braja (2006).



Segundo Braja (2006, p. 129):

A diferença de carga inicial  $h_1$  no tempo  $t = 0$  é registrada e deixa-se a água fluir através da amostra de solo de modo que a diferença de carga final no tempo  $t = t_2$  é  $h_2$ .

A equação para o cálculo do coeficiente de permeabilidade pelo ensaio à carga variável pode ser expressa como:

$$k = \frac{L \cdot a}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (6)$$

Sendo:

$A$  é a área da seção transversal da amostra;

$L$  é o comprimento da amostra na direção do fluxo;

$a$  é a área da seção transversal do canal;

$h_1$  é a carga hidráulica no começo do ensaio;

$h_2$  é a carga hidráulica no final do ensaio;

$t_1$  é o tempo inicial do ensaio;

$t_2$  é o tempo final do ensaio;

Posteriormente, o coeficiente encontrado deve ser referenciado para a temperatura padrão de 20°C. Os fatores de correção podem ser observados no quadro 2 (ver Capítulo 2, seção 2.4.2).

## 2.5 Especificação dos componentes

Para que o objetivo deste trabalho seja tangível em sua totalidade, é imprescindível a escolha de componentes que atendam aos requisitos do projeto de maneira satisfatória. Estes componentes devem ser escolhidos pensando de maneira tal que, propiciem estabilidade ao projeto, ou seja, que satisfaçam a todos os requisitos elencados anteriormente e permitam a aquisição de dados de maneira precisa. Além disso, os componentes aqui escolhidos devem harmonizar a relação custo x benefício, para que o projeto se torne viável.

Componente vital deste trabalho, o microcontrolador será responsável pela aquisição e armazenamento dos dados adquiridos nos ensaios realizados. Tal componente deve atender à todas as necessidades do projeto. Para isso, optar-se-á por um microcontrolador que permita, com facilidade, o desenvolvimento do protótipo e a possibilidade de adicionar funcionalidades extras, sem necessidade de uma modificação significativa do hardware.

Outros componentes indispensáveis são os sensores de pressão e temperatura. Estes sensores serão responsáveis por captarem as informações durante o ensaio de permeabilidade de solos que serão armazenadas no microcontrolador. Além disso, são necessários os sensores atenderem aos requisitos do projeto, possuindo um range compatível a serem mensurados e, também, sensibilidade e tempo de resposta satisfatórios.

Os sensores de pressão eleitos devem ser compatíveis com as entradas analógicas/digitais (A/D) do microcontrolador escolhido. Eles serão responsáveis por captarem as pressões que indicarão as variações de altura dos tubos manométricos do sistema (carga variável) e a vazão de água (carga constante). Por outro lado, os sensores de temperatura deverão possuir exatidão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para atender as normas do ensaio.

Peça fundamental para a realização dos ensaios de permeabilidade de solos, o corpo-de-prova será fornecido pelo laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sede Ecoville. O corpo de prova possui dimensões menores que as especificadas nas normas. Entretanto, atendem a todos os requisitos das normas NBR 13292 (ABNT, 1995) e NBR 14545 (ABNT, 2000).

Os sensores de pressão e temperatura serão posicionados nos tubos que conectam o permeâmetro a entrada e saída de água, por meio de um suporte confeccionado especialmente para esta função. O sensor de pressão ficará posicionado na entrada do permeâmetro no ensaio de carga variável. Para o ensaio de carga constante, o sensor será posicionado na saída do permeâmetro. Em ambos os ensaios, o sensor de temperatura será posicionado na saída do permeâmetro, cumprindo as determinações da norma. Ressalta-se que o posicionamento dos sensores não influenciará nos resultados do ensaio.

Os demais componentes para idealização deste protótipo, também serão fornecidos pelo laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sede Ecoville. Tais componentes são: equipamento para

compactação do corpo-de-prova, bureta graduada, peneiras, balança, mangueiras e equipamentos diversos.

Após a aquisição das informações, os dados serão transferidos ao computador para processamento e divulgação dos resultados obtidos. A interface de processamento de dados será desenvolvida em linguagem VBA utilizando o programa Microsoft Excel® como base da aplicação. O programa permitirá ao usuário indicar as principais variáveis do corpo-de-prova, tais como, altura e raio assim como dar upload no arquivo gerado pelo microcontrolador.

Após indicados todos os requisitos para a análise do ensaio realizado, a aplicação disponibilizará aos usuários os resultados pertinentes ao experimento bem como gráficos para a avaliação do solo em estudo. O relatório do experimento será disponibilizado segundo as normas que regem os ensaios de determinação do coeficiente de permeabilidade do solo.

### 3 Materiais e Métodos

Essa seção é responsável por descrever a solução prática encontrada para determinar o coeficiente de permeabilidade dos ensaios de carga constante e de carga variável. Primeiramente, será descrito a solução encontrada em nível de hardware, descrevendo as partes constituintes dessa solução como: fonte de alimentação, CPU, sensores e módulo do cartão SD. Ainda, o projeto e a montagem da placa de circuito impresso serão itens constituintes dessa parte.

Em seguida, adentra-se na solução de software explicando os métodos utilizados para realizar a aquisição e o processamento de dados. Ainda, é descrito a maneira como foi integrado o software e o hardware constituindo a solução desenvolvida como um sistema embarcado e como essa integração entre essas partes se tornou um protótipo.

#### 3.1 Hardware

O hardware desenvolvido para determinar o coeficiente de permeabilidade de solos tanto no ensaio de carga constante quanto no ensaio de carga variável possui seis partes que podem ser separadas a nível didático. A fonte de alimentação, que mostra os diagramas esquemáticos das duas maneiras possíveis para energizar o sistema, a CPU, destacando os principais componentes que colheram e gravaram, no cartão SD, os dados necessários advindos dos sensores.

Já, a parte do sensor, explicita as ligações dos sensores de temperatura e pressão e a maneira que se comunicam com o microcontrolador principal do sistema, a parte do cartão SD que mostra a comunicação desse módulo com o microcontrolador ATMEGA 328P-PU do sistema a fim de gravar um arquivo .TXT.

Ainda, o projeto e a montagem da placa de circuito impresso são as partes finais que constituem a solução completa em nível de hardware. As subseções a seguir irão descrever de maneira detalhada todas essas seis partes mencionadas. Ressalta-se que o diagrama esquemático completo, referente às quatro partes iniciais do hardware, (fonte de alimentação, CPU, sensores e cartão SD) se encontra nos apêndices A, B e C.

O software utilizado para realizar todo o processo de desenvolvimento de hardware foi o Altium Designer 16.0. Nele, contém o projeto dos esquemáticos, ligação dos componentes, e o projeto da placa de circuito impresso em que fisicamente foram soldados os componentes eletrônicos. A escolha desse programa deu-se pela familiaridade dos membros da equipe ao mesmo.

### 3.1.1 Fonte de Alimentação

De maneira geral, observa-se na figura 4 o funcionamento básico da alimentação do hardware, representado por de um diagrama de blocos. Nota-se na figura 4, que há duas possibilidades de alimentação do sistema. A primeira, por uma fonte de alimentação externa de 6V a 20V. Essa tensão será regulada para 5V devido à presença do regulador L7805CV. A segunda possibilidade é de se alimentar o hardware pela porta USB de um computador, plugando um cabo ao conector presente na placa. Nesta situação, a tensão de saída já é de 5V, não sendo necessário regular o sinal de tensão.

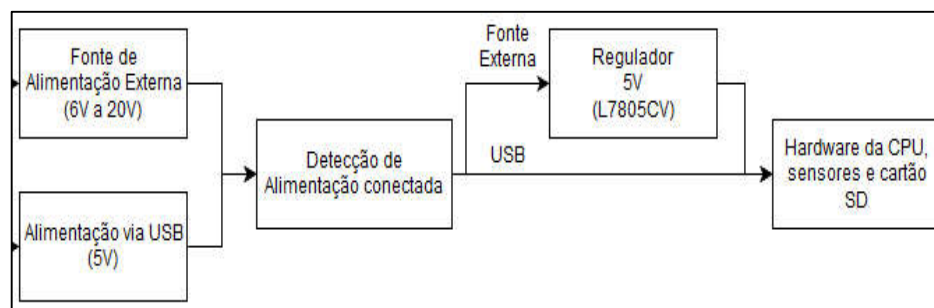


FIGURA 4 – ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA  
 FONTE: Autoria própria.

O circuito, que realiza a comutação da alimentação entre a fonte de alimentação externa e a entrada USB, torna-se necessário para que seja possibilitado transmitir algo do hardware desenvolvido para o computador, como monitorar dados brutos, dos sensores de pressão e temperatura, em tempo real. Esse circuito é apenas um comparador de tensão em que ora deixa passar uma alimentação ora deixa passar a outra possibilidade de alimentação. Então, ao utilizar a USB como transmissão de dados é necessário alimentar o hardware através da fonte de alimentação externa que pode variar de 6V a 20V.

Sobre a fonte de alimentação externa é importante ressaltar que caso a tensão de entrada seja abaixo de 7V, a alimentação do hardware pode ficar instável. Caso a placa seja alimentada com uma tensão acima de 12V, poderá haver sobreaquecimento do regulador de tensão de 5V vindo a danificar trilhas e, conseqüentemente, o funcionamento do circuito e até mesmo a PCI desenvolvida.

Observa-se na figura 5 o diagrama esquemático que envolve a fonte de alimentação externa ressaltando que foram projetadas medidas de segurança para que caso uma fonte de alimentação seja conectada de maneira inversa, o restante do circuito não sofra com esse problema. O componente responsável por realizar essa proteção é o diodo D1 (1N4007), que em sua configuração só deixa passar corrente elétrica no sentido direto, quando a entrada de tensão estiver conectada de maneira correta conforme projetado. Nota-se ainda que o componente X1 (PJ-031C) é o conector da fonte de alimentação externa.

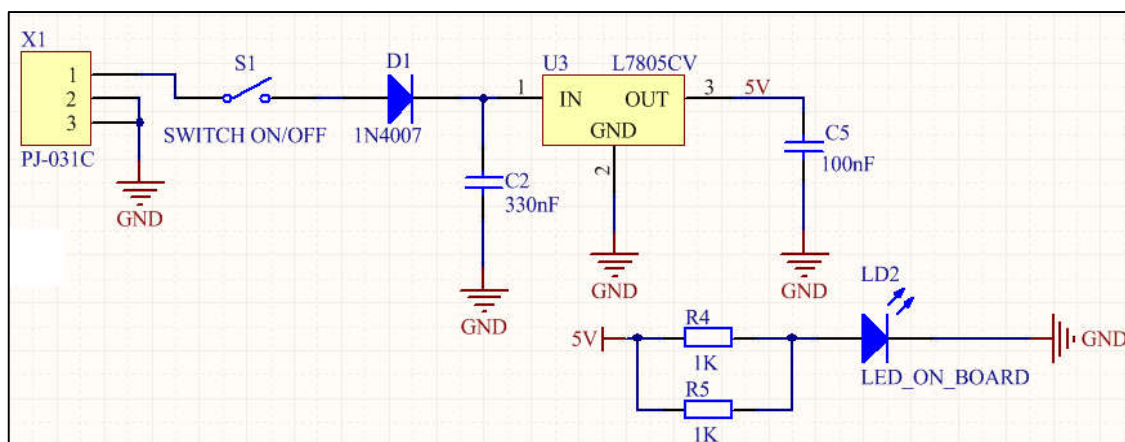


FIGURA 5 – FONTE EXTERNA E REGULADOR DE 5V  
FONTE: Adaptado de Souza (2013).

Observa-se em seguida que a tensão de 5V serve para alimentar os 2 microcontroladores, os sensores (pressão e temperatura) e a shield do cartão SD necessário para gravar os dados em um arquivo texto como será descrito posteriormente. Ainda, ao alimentar o circuito através da fonte de alimentação externa (6V a 20V) está presente uma chave ON/OFF que permite ligar ou não o restante do circuito. Ressalta-se que caso a placa seja energizada por uma porta USB automaticamente a placa se energizará.

Da mesma maneira que há componentes que protegem o circuito caso haja erro na ligação da fonte de alimentação externa, também existem componentes

projetados que protegem tanto o hardware quanto a porta USB utilizada. Na figura 6, observam-se os componentes ligados na porta USB que realizam essa proteção.

Observa-se na figura 6 que os dois varistores Z1 e Z2 (ERZ-E10A431) podem suportar picos elevados de tensão e energias elevadas de transientes que trabalham juntamente com os resistores R6 e R28, ambos de  $22\Omega$ , que limitam uma corrente para proteger os pinos do microcontrolador ATMEGA16U2-UM.

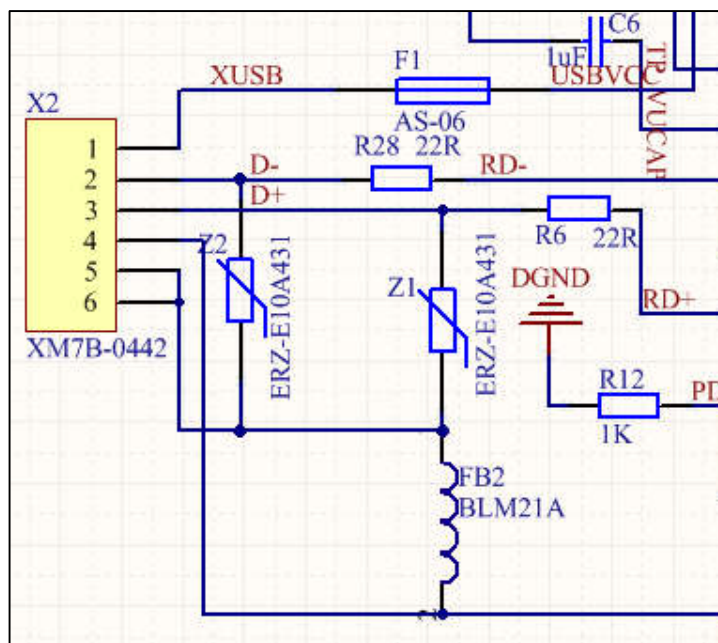


FIGURA 6 – ALIMENTAÇÃO E COMUNICAÇÃO USB  
FONTE: Souza (2013).

Além dos varistores e resistores mencionados no parágrafo anterior, há um fusível de 500mA (F1) que impede que a porta USB, conectada ao hardware, queime devido a uma falha no circuito que ultrapasse a corrente de 500mA. Ainda, o indutor FB2 está presente no projeto do hardware a fim de que não entre ruído externo oriundo da porta USB externo pelo plano terra.

Observam-se através da figura 7 os dois conectores presente na placa de circuito impresso desenvolvida em que o conector destacado por X1 é responsável pela alimentação externa, através de uma fonte de tensão de 6V a 20V e, o conector X2, responsável pela alimentação da placa via USB ou a comunicação de dados, transferindo os dados brutos dos sensores para um computador com IDE arduino a fim de monitorar, momentaneamente, a coleta de dados.

Ainda, nota-se na figura 7 a chave s1 responsável por ligar/desligar a placa de circuito impresso quando está é alimentada pela fonte de alimentação externa.

Caso a posição I da chave s1 for pressionado, o sistema é alimentado e, ao pressionar a posição 0 dessa chave, o sistema será desligado.

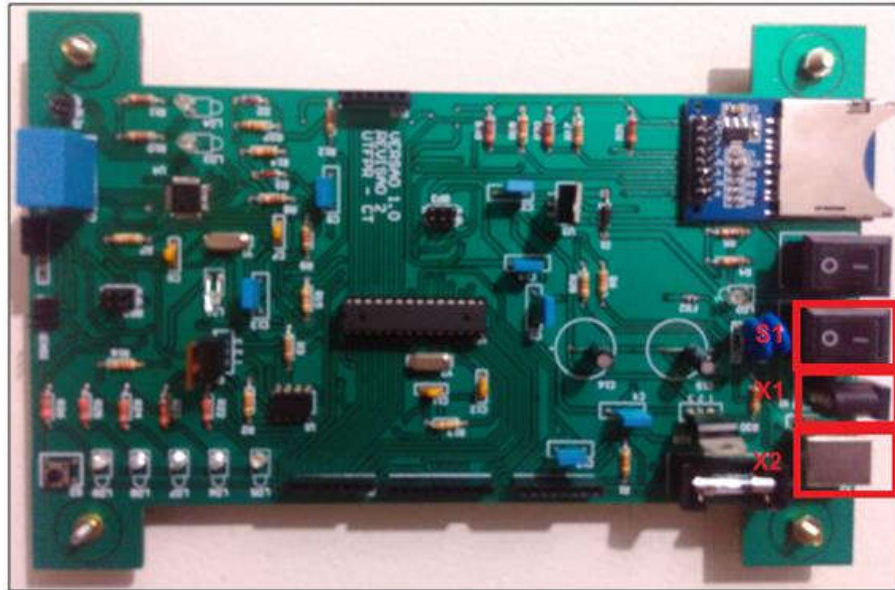


FIGURA 7 – PCI DESENVOLVIDA COM OS DOIS CONECTORES E CHAVE LIGA/DESLIGA

FONTE: Autoria própria.

### 3.1.2 CPU

O hardware desenvolvido para a solução encontrada possui 2 microcontroladores da ATMEL, sendo eles o ATMEGA16U2-UM responsável pela interface com a conexão USB e o ATMEGA328P-PU que é o principal componente do circuito e realiza todo o tratamento de sinais oriundos dos sensores bem como a interface com o cartão SD que armazena todos os dados de pressão e temperatura aferidos durante o experimento.







microcontroladores possui um grau de complexidade em programar muito superior, como a utilização da arquitetura CISC que, mesmo possuindo um conjunto de instruções mais enxuto, dificulta a maneira de programar.

Além disso, o microcontrolador escolhido é capaz de realizar todo o processamento de dados necessários chegando ao resultado esperado, então como a solução é determinar o coeficiente de permeabilidade do solo nos dois experimentos aqui explicitados da área de Engenharia Civil utilizando uma solução que envolva as áreas de Engenharia Elétrica e Eletrônica e, como esse dispositivo é capaz de realizar essa tarefa, ele pode ser aplicado a solução mesmo sendo menos robustos que outros dispositivos encontrados no mercado.

### 3.1.3 Sensores

Como mencionado anteriormente, um dos parâmetros para determinar o coeficiente de permeabilidade do solo é a pressão da água de acordo com uma pressão de referência (ensaio de carga variável) e as diferenças de pressão entre dois pontos (ensaio carga constante). Então, para isso, a solução encontrada consiste no uso de um sensor de pressão diferencial MPX5010DP que foi o sensor utilizado.

Fabricado pela Freescale, o sensor de pressão MPX5010DP é um sensor diferencial, ou seja, mede o valor da diferença de pressão entre suas duas entradas. Esse sensor pode medir a pressão de qualquer fluido (água, óleo, ar etc.). Deixando a entrada de vácuo aberta, o valor da pressão medida é a diferença para a pressão atmosférica sendo esta, sua aplicação mais comum. Além disso, também é possível medir velocidade de fluxo do fluido, usando-se as duas entradas.

Possui como características técnicas principais: 5% de erro máximo, range de pressão de 0 a 10kPa ou de 0 a 1m de coluna d'água, tensão de operação de 5V, range de temperatura de -40°C a 125°C e uma corrente de operação de apenas 5mA, entre outras.

Aplicado ao instrumento digital microcontrolado, o sensor de pressão MPX5010DP exercerá ambas as funções citadas. No experimento de carga constante, o sensor de pressão irá funcionar como um medidor de velocidade de fluxo do fluido. Para o experimento de carga variável, o sensor executará seu papel mais comum, determinará o nível de coluna d'água no tubo do permeâmetro.

A saída de sinal deste sensor é analógica, de 0 a aproximadamente 4,7V, proporcional à pressão aplicada. A leitura do sensor será feita pelo conversor analógico do microcontrolador constituído por 10 bits para, posteriormente, ser convertida para valores reais através do software de processamento de dados.

Observa-se através da figura 10 como é fisicamente o sensor de pressão MPX5010DP.



FIGURA 10 – SENSOR DE PRESSÃO MPX5010DP  
FONTE: Autoria própria.

Já a figura 11 mostra o diagrama esquemático referente a esse sensor presente no sistema desenvolvido. Na figura 11, as entradas 2 e 3 são responsáveis pela alimentação do sensor, e a saída 1 é referente a saída analógica que será enviada a porta de entrada analógica, em que passará pelo conversor A/D de 10 bits, do ATMEGA328P-PU, responsável por realizar o tratamento desse sinal e posteriormente gravar em um arquivo .TXT.

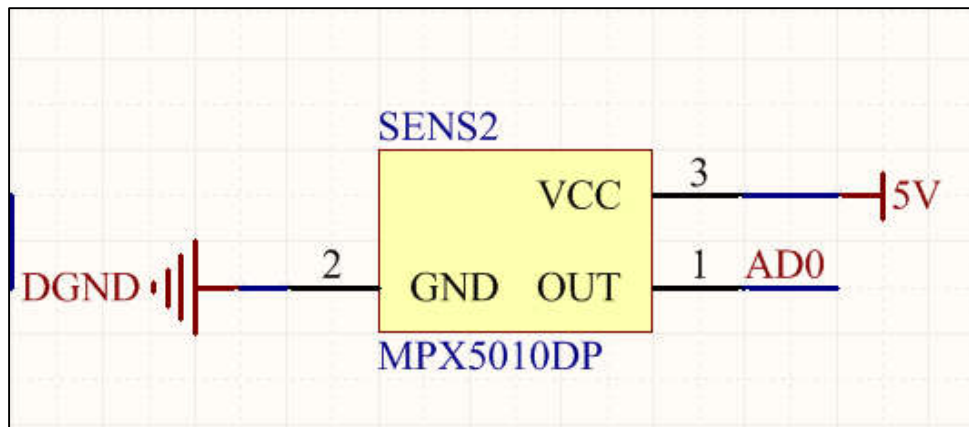


FIGURA 11 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SENSOR DE PRESSÃO  
 FONTE: Autoria própria.

Outro parâmetro que deve ser monitorado pelo sistema é a temperatura que está presente em ambos os ensaios em estudo. A fim de realizar essa tarefa, foi utilizado o sensor de temperatura DS18B20 em que pode ser observada sua estrutura física, pela figura 12.



FIGURA 12 – SENSOR DE TEMPERATURA  
 FONTE: Autoria própria.

Esse sensor possui como principais características técnicas: 0,5% de erro máximo, range de temperatura da água de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ , tensão de operação de 5V, saída digital variável de 9 a 12 bits, entre outras.

A comunicação do sensor DS18B20 com o microcontrolador utiliza o protocolo one-wire em que é realizada uma comunicação direta com o microcontrolador informando-o, além do valor de temperatura, qual é o seu endereço no barramento de comunicação, caso haja mais de um sensor plugado na mesma porta do

microcontrolador. Observa-se através da figura 13 a implementação em nível de hardware desse sensor no sistema desenvolvido.

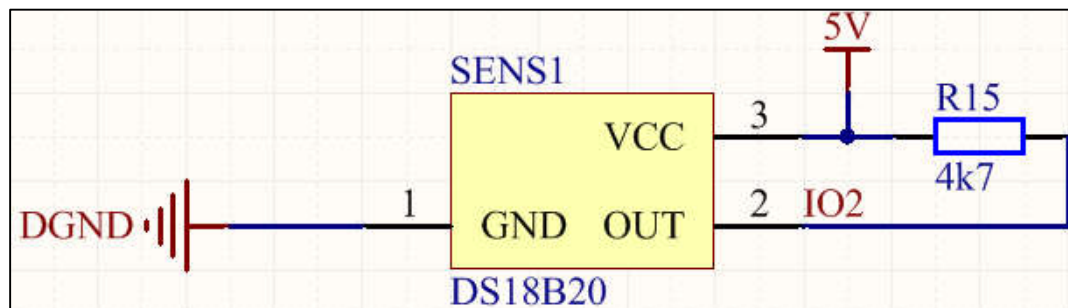


FIGURA 13 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SENSOR DE TEMPERATURA  
 FONTE: Autoria própria.

Na figura 13 é possível notar que os terminais 1 e 3 são relacionados à alimentação desse sensor, e que há, no terminal 3, um resistor de pull-up, necessário para que o microcontrolador ATMEGA328P-PU detecte o sensor e o terminal 2, que é a saída de dados. Estes vão direto para uma entrada digital do microcontrolador para que seja possível identificar qual a temperatura da água que esta percolando a amostra do solo. Recorda-se que a temperatura nesses dois tipos de ensaios tem que estar calibrada em 20°C e, caso essa temperatura não seja identificada no momento de aquisição dos dados, deve-se aplicar uma tabela de correção da temperatura, calibrando-a para 20°C.

#### 3.1.4 Módulo do cartão SD

O instrumento digital microcontrolado para a obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo precisará guardar informações coletadas pelos sensores de pressão e temperatura, por um longo período de tempo, para elaborar gráficos após a coleta de dados. Para isso, o protótipo utilizará um módulo de cartão SD que permite a leitura e escrita em cartão SD. O módulo de cartão SD suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32 e possui alimentação de 5V.

A comunicação do módulo é realizada pela interface SPI (pinos MOSI, SCK, MISO e CS). Sua principal função no projeto é guardar os dados coletados durante todo o experimento em um arquivo .TXT. Observa-se na figura 14 a estrutura física do módulo do cartão SD que foi utilizado no sistema desenvolvido.

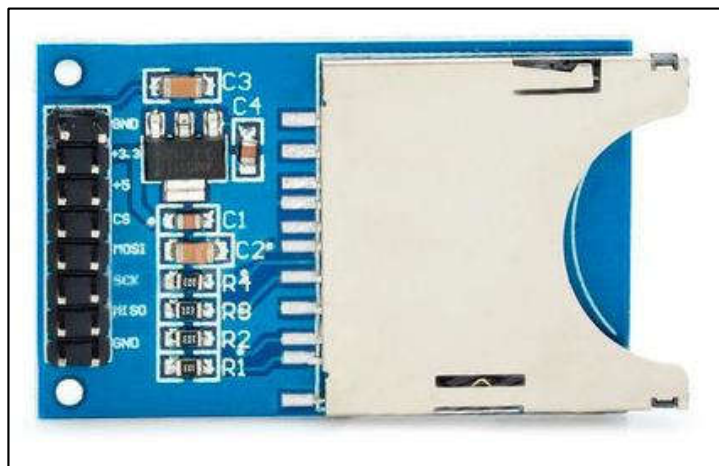


FIGURA 14 – MÓDULO CARTÃO SD  
FONTE: Autoria própria.

Nota-se na figura 15 como ficou o diagrama esquemático do cartão SD em que será conectada uma shield desse cartão, idêntico ao da figura 14, no qual será gravado o arquivo com as informações coletadas nos experimentos. Ao descarregar o arquivo, um programa em VBA será responsável por realizar todos os cálculos, e plotar todos os gráficos necessários a fim de obter um valor do coeficiente de permeabilidade do solo, conciso e seguro.

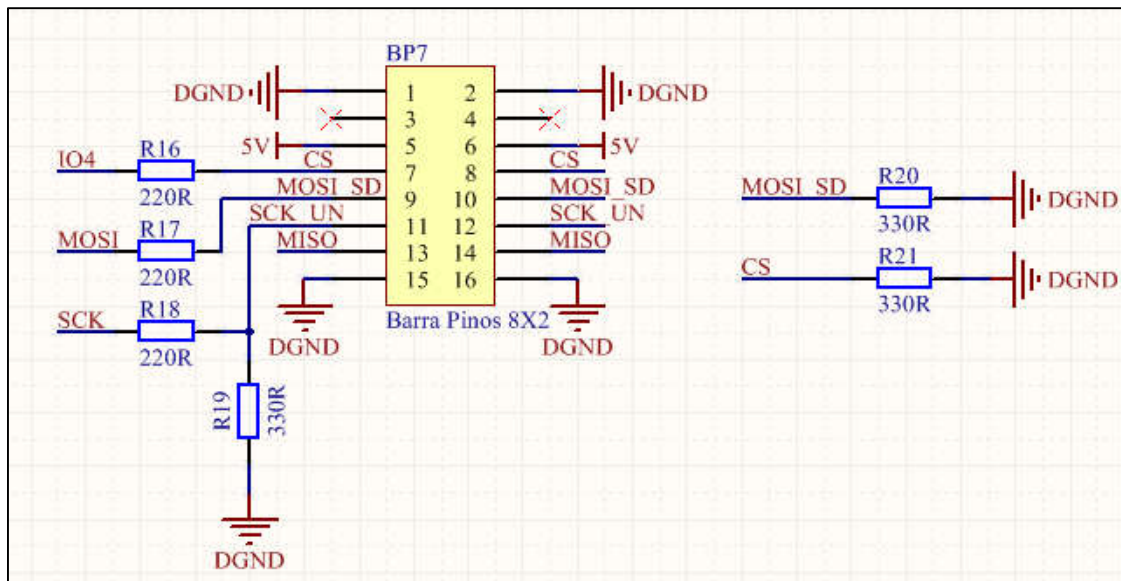


FIGURA 15 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MÓDULO CARTÃO SD  
 FONTE: Autoria própria.

### 3.1.5 Projeto da placa de circuito impresso (PCI)

Como mencionado anteriormente, o software utilizado para todo o desenvolvimento de hardware desse projeto foi o Altium Designer 16.0. Primeiramente, criou-se os esquemáticos dos circuitos contendo as ligações necessárias entre os componentes, atribuindo a cada componente um footprint associado, que nada mais é do que o desenho desse componente na placa.

Os componentes utilizados no projeto são praticamente todos through-hole pela alta dificuldade de encontrar componentes SMD's no Brasil e, principalmente, na cidade de Curitiba. O ponto negativo da utilização desses componentes é que o tamanho da placa será bem maior comparada com a utilização de componentes SMD's

Ao concluir toda a parte do diagrama esquemático, importou-se esses arquivos para um arquivo de PCB em que os componentes foram posicionados de acordo com as recomendações dos fabricantes e conhecimentos técnicos para que não houvesse problema de interferência, perda de sinal, entre outros, facilitando o roteamento da placa.

Após o posicionamento de todos os componentes, iniciou-se o procedimento de roteamento em que foram utilizadas trilhas de 18 mil a 40 mil de comprimento de



acordo com o componente e a quantidade de corrente necessária para o correto funcionamento do circuito. Ao término desse processo, cotou e fabricou a placa na própria instituição de ensino. Observa-se nas figuras 16 e 17 como ficou o projeto final da placa de circuito impresso.

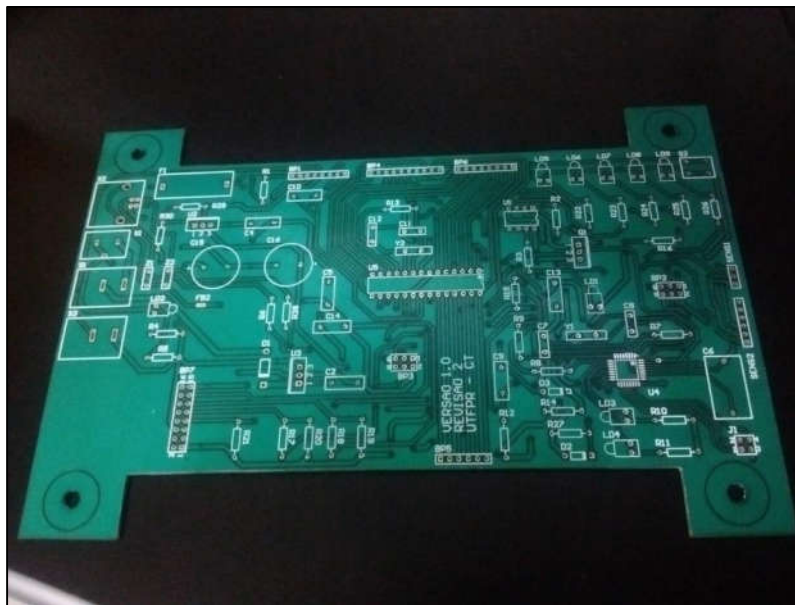


FIGURA 16 – TOP LAYER  
FONTE: Autoria própria.

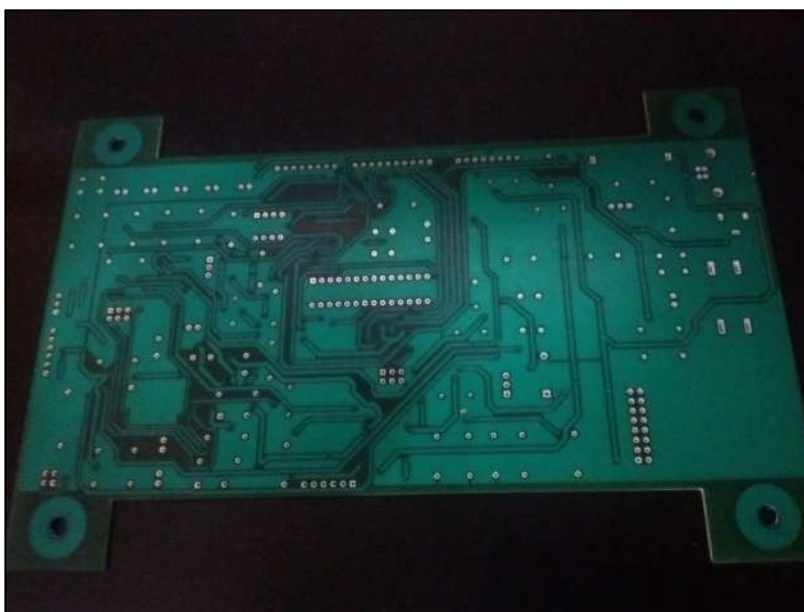


FIGURA 17 – BOTTOM LAYER  
FONTE: Autoria própria.

### 3.1.6 Montagem da placa de circuito impresso

Buscou-se desenvolver a placa de circuito impresso com a finalidade de facilidade de manuseio na bancada do Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR, com a fonte de alimentação e a porta USB em um dos extremos da placa e, no outro extremo, os chicotes para os sensores. Além disso, a chave liga/desliga e a chave play/pause, utilizada, esta, principalmente no ensaio de carga variável para o reenchimento do tubo, estão lado a lado na placa facilitando o uso do sistema.

Além disso, há led's indicadores de alerta presente na placa, indicando se o sistema está energizado, se o sensor de temperatura e o módulo do cartão SD estão conectados, se houve problema na gravação do arquivo .TXT, se a chave play está acionada e se está havendo coleta de dados. Ainda, na extremidade da placa opostas as chaves mencionadas no parágrafo anterior, está presente os chicotes dos sensores de temperatura e pressão para serem inseridos nos experimentos em estudo.

Nota-se na figura 18 como ficou a montagem da placa de circuito impresso, com todos os periféricos e componentes presentes.



FIGURA 18 – VERSÃO FINAL DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO  
FONTE: Autoria própria.

## 3.2 Software

Com base na definição do hardware a ser utilizado para solucionar o problema proposto por este trabalho, optou-se pela criação de dois softwares distintos para a determinação do coeficiente de permeabilidade de solos por um instrumento digital microcontrolado.

O primeiro software, programado especialmente para o microcontrolador ATMEGA328, tem por objetivo realizar a aquisição de dados do experimento em campo para posterior processamento dos resultados. Já o segundo software arquitetado irá processar os dados obtidos em campo e fornecerá os resultados do experimento em um gráfico (Coeficiente de Permeabilidade x Tempo) e, também, disponibilizará a base de dados para posterior consulta.

A seguir, as subseções 3.2.1 e 3.2.2 descrevem a construção de ambos os softwares. O primeiro software foi idealizado com base na famosa plataforma de prototipação eletrônica Arduino, pois esta fornece todos os recursos necessários para a automação do problema proposto. O segundo software foi idealizado a partir do Microsoft Excel®, utilizando a linguagem de programação VBA.

### 3.2.1 Aquisição de dados

Como visto anteriormente, o projeto do instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo foi baseado na plataforma Arduino. Tendo em vista as facilidades apresentadas pela plataforma, o software para o hardware projetado foi programado no ambiente de desenvolvimento Arduino IDE.

De acordo com a pesquisa Embedded Market Survey, realizada anualmente pela UBM Electronics (2012), desde 2008, 62% dos projetos de Sistemas Embarcados consomem mais recursos no desenvolvimento do software do que do hardware. Esse número reforça a importância do desenvolvimento de um software mais assertivo, preciso e que atenda às necessidades da aplicação da melhor forma possível, porém que seja otimizado e envolva o menor tempo de desenvolvimento e o menor custo possível.

O código de programação arquitetado para o microcontrolador ATMEGA328 tem por objetivo a aquisição de dados para posterior processamento. A determinação

correta das prioridades das tarefas é essencial para que o processador não seja inteiramente consumido pela execução de poucas tarefas. Ao mesmo tempo, se faz necessário integrar os sensores de pressão e temperatura utilizados, além de um módulo de cartão SD para salvar os dados coletados.

Além disso, foi programado diversos LED's com o intuito de orientar o usuário caso ocorra algum problema durante o experimento ou, simplesmente, caso queira saber se o hardware está adquirindo os dados no momento do experimento. Também foi adicionada à programação uma chave para que o usuário possa pausar o experimento, corrigir possíveis falhas, e depois continuar com a coleta de dados.

O funcionamento do programa pode ser compreendido pela imagem da figura 19. Ainda, o código-fonte do programa encontra-se no Apêndice D.

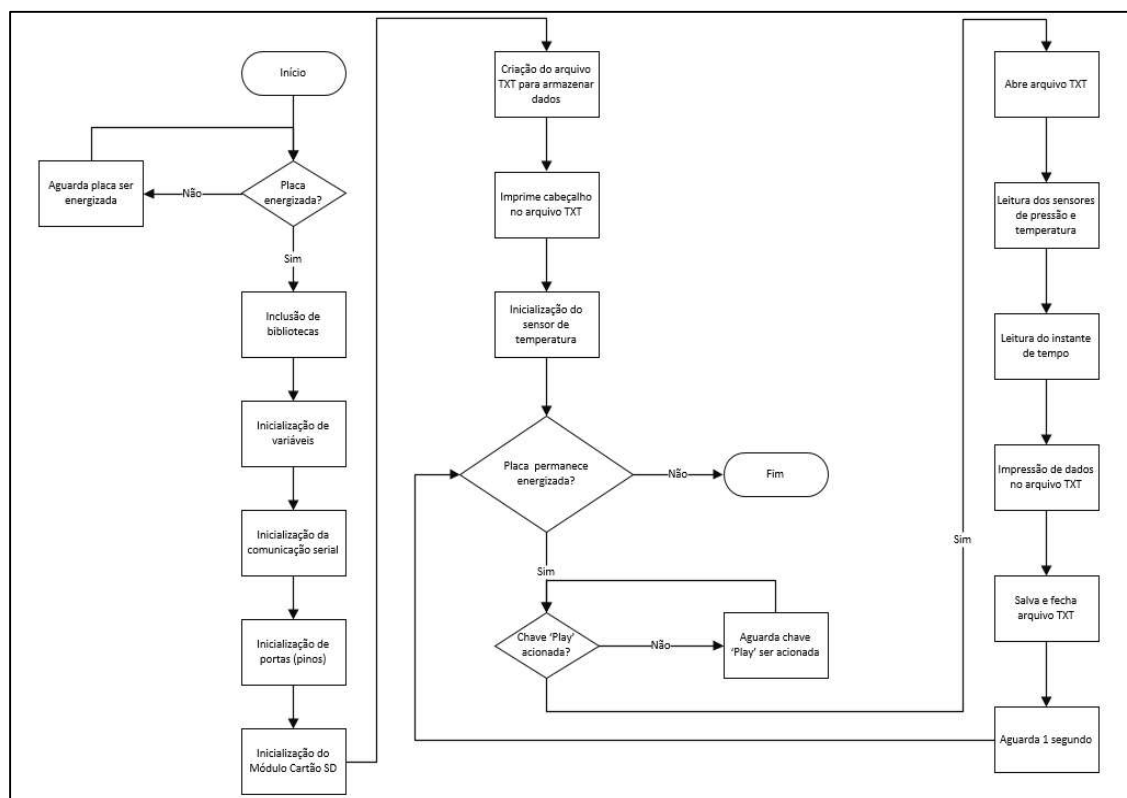


FIGURA 19 – FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS  
 FONTE: Autoria própria.

### 3.2.2 Processamento de dados

Para realizar o processamento dos dados obtidos pelo instrumento digital microcontrolado, optou-se pelo desenvolvimento de um software no Microsoft Excel® utilizando a linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA). A escolha da programação do aplicativo pela plataforma Excel, se deve a sua popularidade e a facilidade de interface com o usuário uma vez que, após o processamento de dados, a base de dados ficará disponível aos usuários para posterior consultas e confecção de relatórios pertinentes conforme o usuário desejar.

O programa desenvolvido tem por finalidade captar os resultados do experimento realizado no permeâmetro com base no referencial teórico apresentado no capítulo 2. O software possui interface simples e intuitiva, fornecendo o passo a passo que o usuário deve executar para obter os resultados do experimento. O primeiro passo consiste em carregar a base de dados gerada pelo instrumento digital microcontrolado, como pode ser observado pela figura 20.

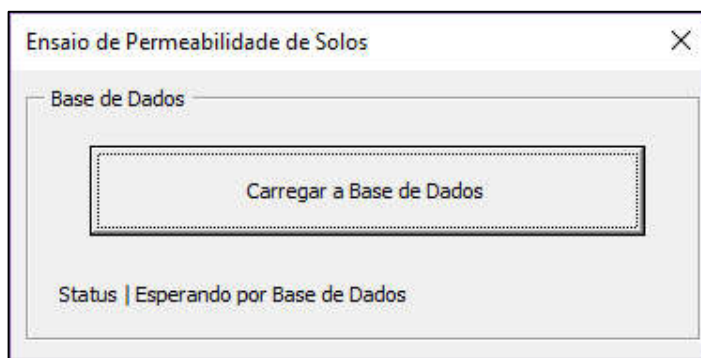


FIGURA 20 – TELA PARA CARREGAR A BASE DE DADOS  
FONTE: Autoria própria.

A base de dados aceita pelo programa desenvolvido consiste em um arquivo de extensão .TXT que possui cinco colunas com os dados na seguinte ordem: amostra, tempo, temperatura, pressão 1, pressão 2. A quantidade de linhas apresentadas pelo arquivo texto depende exclusivamente da duração do experimento, quanto maior a duração do experimento, maior será a quantidade de dados coletados.

Ao carregar a base de dados no programa, os dados são organizados em uma planilha excel denominada Base de Dados. A cada nova base de dados carregada pelo usuário, a base de dados antiga é descartada para que não haja conflito de informações. Após este primeiro passo, o usuário deverá informar o tipo de

experimento realizado pelo permeâmetro. Essa caixa de seleção pode ser observada pela figura 21.

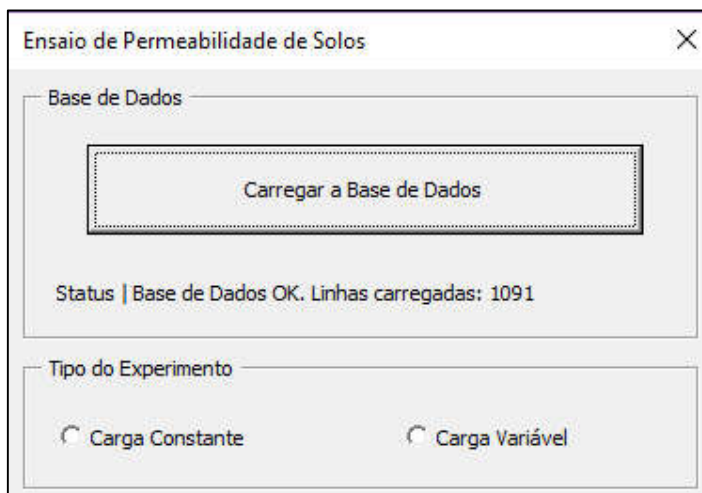


FIGURA 21 – SELEÇÃO DO TIPO DO EXPERIMENTO  
FONTE: Autoria própria.

Ao selecionar o tipo do experimento realizado, a base de dados é copiada imediatamente para a sua respectiva planilha de cálculo. Ou seja, o programa desenvolvido possui duas planilhas de cálculo, uma para o experimento de carga constante e outra para o experimento de carga variável. É necessário possuir ambas as planilhas, pois cada experimento possui suas próprias fórmulas de cálculo do coeficiente de permeabilidade porque as entradas dos dados são diferentes. Além disso, a conversão do sensor de pressão é diferente para cada tipo de experimento, enquanto o experimento de carga constante necessita do volume de água percolada pelo solo, o experimento de carga variável precisa da carga hidráulica sobre a amostra durante um intervalo de tempo.

Após a seleção do tipo do experimento realizado, é necessário fornecer os dados de entrada do mesmo. Para o experimento de carga constante o usuário deverá fornecer o comprimento da amostra, em centímetros, o diâmetro da amostra em centímetros, e a carga hidráulica aplicada, em centímetros. Já para o experimento de carga variável deverá ser fornecido o comprimento da amostra, em centímetros, o diâmetro da amostra, em centímetros, e o diâmetro do canal, em centímetros. Além disso, foram adicionados dois campos para preencher a altura máxima de coluna d'água e altura de referência do experimento.

Pode ser observado na figura 22 a seleção e parâmetros do experimento de carga constante.

The screenshot shows a software window titled "Ensaio de Permeabilidade de Solos". It is divided into three main sections:

- Base de Dados:** Contains a button labeled "Carregar a Base de Dados" and a status message: "Status | Base de Dados OK. Linhas carregadas: 844".
- Tipo do Experimento:** Features two radio buttons. "Carga Constante" is selected (indicated by a filled circle), while "Carga Variável" is unselected (indicated by an empty circle).
- Dados de Entrada:** Includes three input fields: "Comprimento da amostra [cm]", "Diametro da amostra [cm]", and "Carga hidráulica [cm]". A "Gerar Resultados" button is located at the bottom of this section.

FIGURA 22 – CARGA CONSTANTE  
FONTE: Autoria própria.

Na figura 23, nota-se a seleção e parâmetros do experimento de carga variável.

The screenshot shows the same software window as Figure 22, but with the "Carga Variável" radio button selected. The "Dados de Entrada" section now includes four input fields: "Comprimento da amostra [cm]", "Diametro da amostra [cm]", "Diâmetro do canal [cm]", and "Altura máxima [cm]". The "Altura de referência [cm]" field is also present. The "Gerar Resultados" button remains at the bottom.

FIGURA 23 – CARGA VARIÁVEL  
FONTE: Autoria própria.

Uma vez fornecido todos os dados de entrada necessários para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, cabe ao usuário clicar em “Gerar Resultados”. A rotina do botão “Gerar Resultados” consiste em aplicar as fórmulas programadas na planilha de cálculo a toda a base de dados fornecida pelo usuário levando em consideração o tipo do experimento realizado e os dados de entrada do mesmo.

Depois de calculado o coeficiente de permeabilidade, já corrigido para 20°C, para todos os instantes de tempo em que foram obtidos dados durante o experimento, o programa se encarrega de gerar um gráfico “Coeficiente de Permeabilidade x Tempo” que é mostrado ao usuário no Microsoft Excel®. Juntamente ao gráfico gerado também é fornecida a planilha de cálculo do experimento para que o usuário possa conferir os resultados e gerar relatórios pertinentes ao ensaio.

O funcionamento do software de processamento de dados pode ser simplificado pelo diagrama de caso de uso da figura 24.

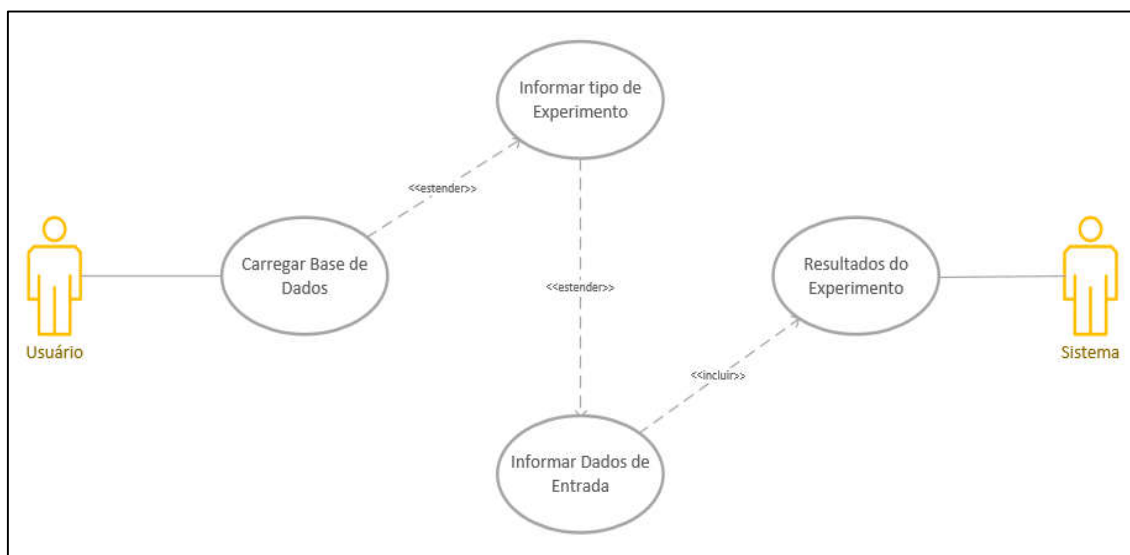


FIGURA 24 – DIAGRAMA DE CASO DE USO DO SOFTWARE PROJETADO  
 FONTE: Autoria própria.

O código-fonte do programa encontra-se no Apêndice F, com todas as rotinas e funções utilizadas para a confecção do mesmo.



### 3.3 Integração hardware e software

Como visto anteriormente, o desenvolvimento de hardware e software foram realizados em paralelo. Porém, ambos foram projetados em conjunto para que a integração fosse feita de forma simples e prática. A placa projetada possui comunicação serial que pode ser plugada em um computador por uma porta USB.

Através da comunicação serial via USB a placa pode ser programada pela interface Arduino IDE. Sendo assim, o programa arquitetado para a obtenção de dados foi carregado para a placa do instrumento digital microcontrolado para determinação do coeficiente de permeabilidade de solo. Uma vez programado o hardware desenvolvido, o mesmo tem autonomia para trabalhar independentemente de estar conectado a um computador.

Durante os ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade de solo, todos os dados obtidos durante o experimento são salvos pelo módulo de cartão SD conectado ao hardware desenvolvido. Após os experimentos, basta o usuário retirar o cartão SD do módulo e conectá-lo ao seu computador. Em seguida, através do software de processamento de dados, o usuário poderá obter os resultados de seu ensaio juntamente com a base de dados gerada.

### 3.4 Protótipo

A montagem do protótipo que envolve o sistema digital microcontrolado, com toda a integração de software e hardware, foi dividida basicamente em duas etapas: Testes iniciais e testes finais. Além dessas duas etapas, que foram necessárias para validar todo o sistema desenvolvido, foi necessário desenvolver dois suportes de peças aço-carbono para cada tipo de ensaio em estudo. Esses suportes foram utilizados tanto nos testes iniciais quanto nos testes finais.

As 3 subseções a seguir irão descrever como foram confeccionados os dois suportes de aço-carbono, necessário para inserir de forma correta o sensor de pressão nos experimentos, a forma que foram executados os testes iniciais, em que foi integrado o software desenvolvido com um hardware da plataforma Arduino e, os testes finais que envolve tanto o software quanto o hardware, apresentado nas seções 3.1 e 3.2, a fim de validar o sistema projetado.

### 3.4.1 Suporte – peças de aço carbono

Para realizar o acoplamento entre o sensor de pressão e o permeâmetro do Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR foi necessário elaborar duas peças em aço-carbono (AISI 1020). Estas peças têm por finalidade servir de suporte para o sensor de pressão nos locais de medição.

Foram confeccionados duas peças, uma para o experimento de carga constante e outra para o experimento de carga variável. A primeira possui suporte para as duas entradas do sensor de pressão, pois o sensor funcionará como um medidor de velocidade de fluxo. Sendo assim, esta peça possui uma placa de orifício no centro, como pode ser observado na figura 25. A segunda, possui suporte para apenas uma das entradas do sensor de pressão, pois esse determinará o nível de coluna d'água no tubo do permeâmetro, presente no experimento, como é notado na figura 26. Sua geometria é mais simples, um tubo por onde passará a água e um tubo anexo para a tomada de pressão.

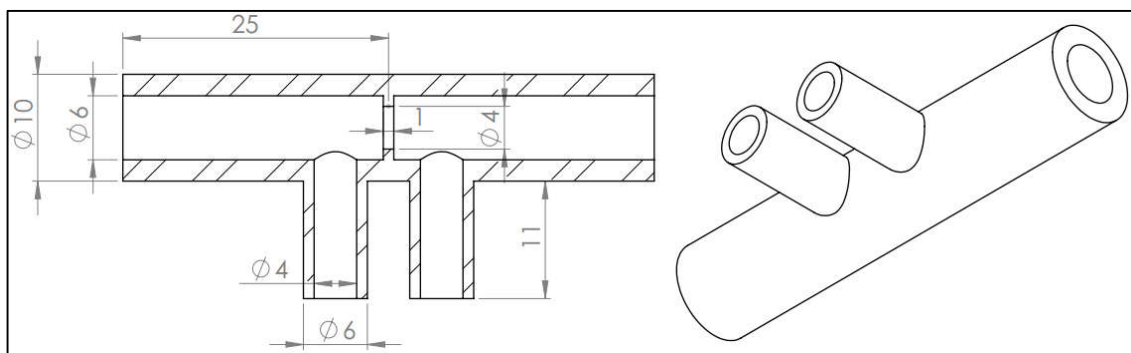


FIGURA 25 – SUPORTE PARA SENSOR DE PRESSÃO – CARGA CONSTANTE  
FONTE: Autoria própria.

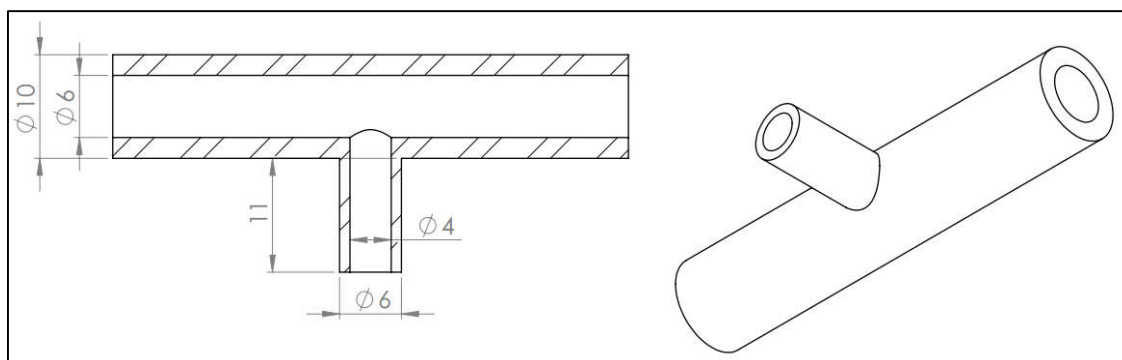


FIGURA 26 – SUPORTE PARA SENSOR DE PRESSÃO – CARGA VARIÁVEL  
FONTE: Autoria própria.

### 3.4.2 Testes Iniciais

Inicialmente, o protótipo foi modelado em uma placa de Arduino Uno. Nesta placa foram conectados os sensores necessários para a realização dos experimentos de determinação do coeficiente de permeabilidade e inserido todo o sistema de alertas utilizando led's nas portas I/O. Juntamente à placa do Arduino Uno, também foi conectado o módulo de cartão SD para salvar os dados obtidos durante os ensaios. Este conjunto é ilustrado na figura 27 quando foram realizados os primeiros testes do protótipo em laboratório.

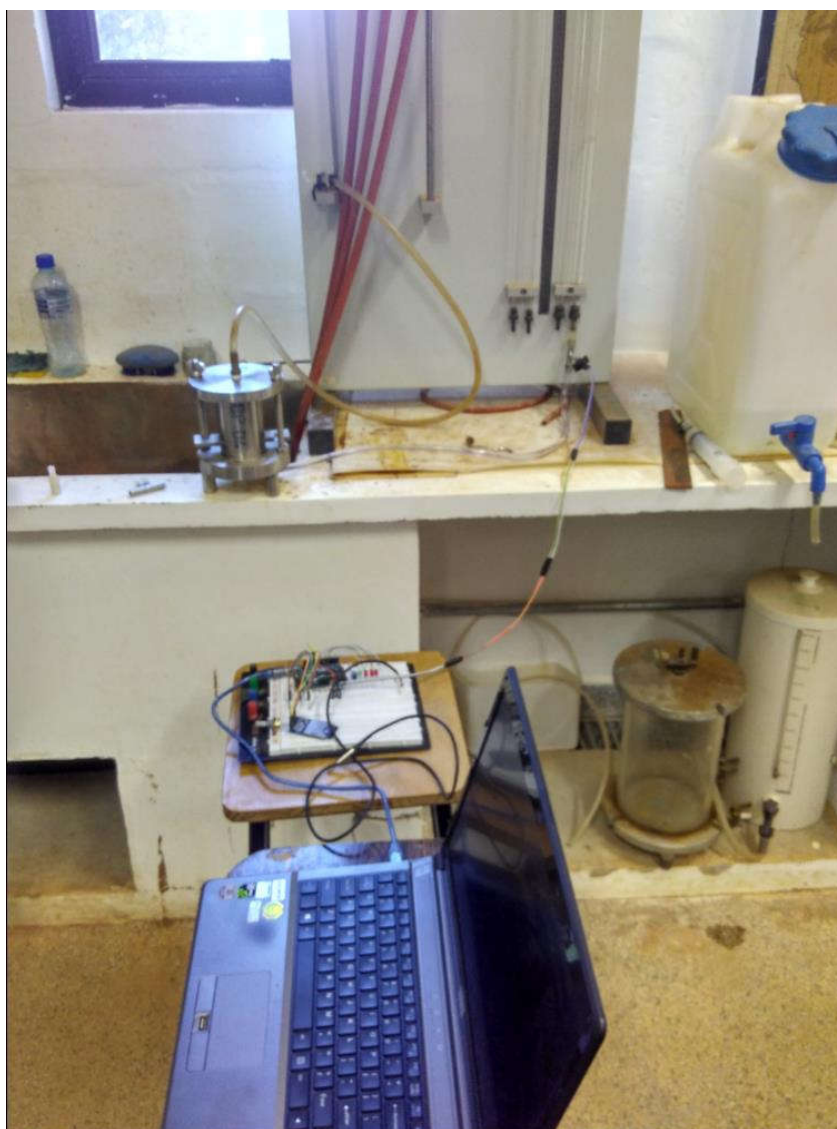


FIGURA 27 – TESTES INICIAIS DO PROTÓTIPO EM LABORATÓRIO  
FONTE: Autoria própria.

Ressalta-se que nesses testes iniciais todo o software desenvolvido apresentado na seção 3.2 estava implementado no hardware da plataforma Arduino Uno. Além disso, esses testes foram necessários para que os Prof. Dr. Ronaldo Izzo e Prof. Dr. Juliana Rose validassem todos os requisitos de cada experimento.

### 3.4.3 Testes Finais

Integrando o software com o hardware projetado, pode-se considerar a montagem do instrumento digital microcontrolado para automação de permeômetros como um kit de montagem simples em que basta o usuário conectar a fonte de alimentação à placa de circuito impresso e conectar o sensor de pressão ao chicote disponível. Além disso, é necessário conectar o sensor de pressão ao seu respectivo suporte, de acordo com o experimento a ser realizado. Após esta montagem simples do kit, as mangueiras do permeômetro podem ser acopladas ao suporte e o usuário pode iniciar os experimentos.

Com todos os requisitos, tanto do experimento de carga constante, quanto do experimento de carga variável, validados nos testes iniciais, e, seguindo os procedimentos de montagem presentes no parágrafo anterior, partiu-se para a validação do sistema desenvolvido acoplando todo software ao hardware presente na seção 3.1. Os resultados obtidos com esse sistema estão presentes no capítulo 4 em que pode ser observado que o sistema microcontrolado para a obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos foi validado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o protótipo desenvolvido, integrando as partes de software e hardware, iniciou-se a coleta de dados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, sede Ecoville, a fim de determinar, de maneira automatizada, o coeficiente de permeabilidade das amostras de solos disponíveis para validação do protótipo.

### 4.1 Ensaio de carga constante

O primeiro ensaio a ser validado foi o ensaio de carga constante. A amostra de solo para determinação do coeficiente de permeabilidade foi uma areia grossa. Observa-se no quadro 1 (ver capítulo 2, seção 2.3), a ordem de grandeza esperada do coeficiente de permeabilidade de diversos tipos de solo, incluindo a areia grossa.

O sistema desenvolvido foi conectado ao tubo de saída do permeâmetro. O sensor de pressão, juntamente com o suporte, foi interligado na mangueira de saída de água do permeâmetro, monitorando a diferença de pressão entre os pontos do suporte para, posteriormente, determinar a vazão de água e, conseqüentemente, a permeabilidade da amostra em estudo. O sensor de temperatura ficou em contato com a saída de água, logo após o sensor de pressão. Deste modo, foi possível monitorar a temperatura de saída da água para referenciar o coeficiente de permeabilidade a 20°C.

Após o preparo e saturação do corpo de prova, verificou-se o sistema de alimentação do reservatório de água e iniciou o ensaio. O experimento durou apenas 4 minutos e 30 segundos sendo amostrados 260 pontos. Ressalta-se que o protótipo possui uma taxa de amostragem de 1 linha de dados por segundo.

Após a coleta de dados, salvos no arquivo texto do módulo de cartão SD, utilizou-se o software desenvolvido para processar os dados obtidos. Os parâmetros de entrada para o experimento de carga constante foram: comprimento da amostra de 10 cm, diâmetro da amostra 5 cm e carga hidráulica de 79,5 cm. Ilustra a figura 28 o gráfico “Coeficiente de permeabilidade x Tempo” deste experimento. Foi realizado o cálculo do coeficiente de permeabilidade para cada linha de dados coletados e, posteriormente, referenciado a temperatura de 20°C.

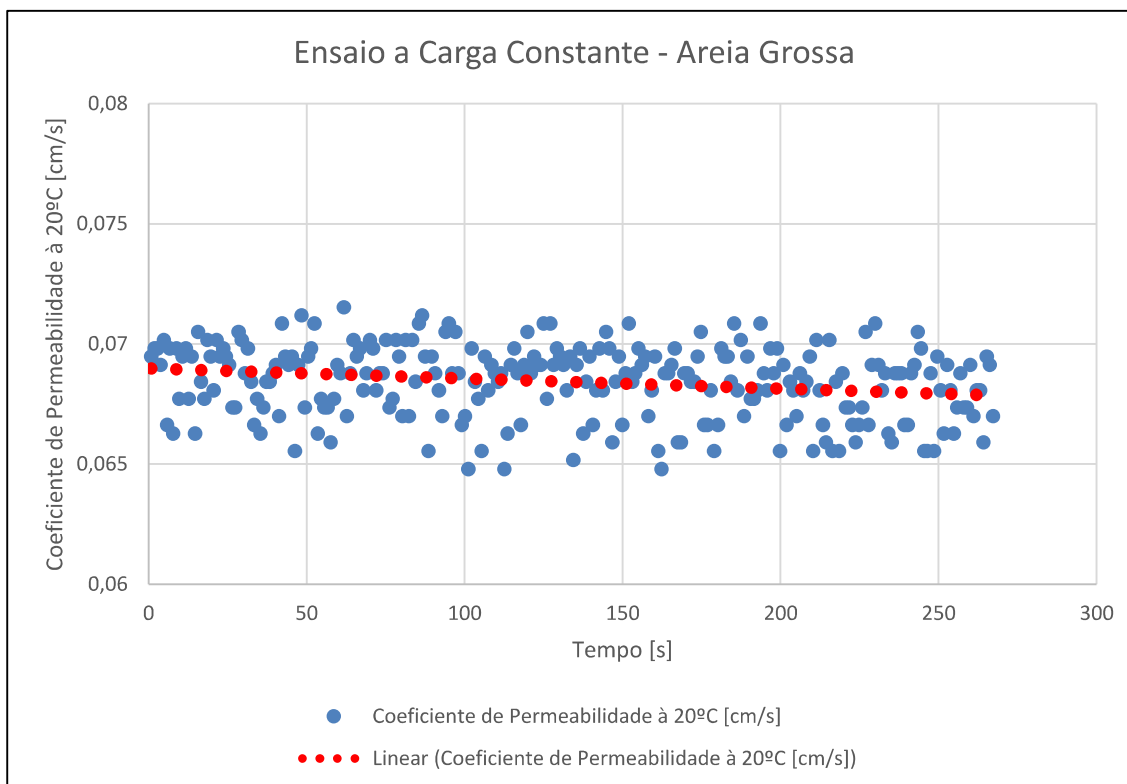


FIGURA 28 – ENSAIO DE CARGA CONSTANTE – AREIA GROSSA  
 FONTE: Autoria própria.

Como pode-se observar na figura 28, chegou-se ao valor médio de coeficiente de permeabilidade da amostra em estudo de  $6,8419 \cdot 10^{-2}$  cm/s. Após o término da coleta de dados de forma digital, foi realizado a determinação do coeficiente de permeabilidade da maneira tradicional, em que o valor encontrado de permeabilidade foi de  $6,1985 \cdot 10^{-2}$  cm/s.

Ao compararmos os resultados obtidos pelo instrumento digital microcontrolado e pelo método tradicional, podemos perceber que os valores estão bem próximos. Além disso, a ordem de grandeza, encontrada em ambos os métodos, está de acordo com o quadro 2, ou seja, valores teóricos típicos da literatura sobre

mecânica dos solos. Com isso, pode-se dizer que o sistema digital desenvolvido para o experimento de carga constante traz valores coerentes com a realidade e, portanto, conclui-se que o mesmo é funcional e eficaz.

#### 4.2 Ensaio de carga variável

Após o ensaio de carga constante, foi realizado o ensaio de carga variável. A amostra de solo, disponibilizada para este ensaio pelo Laboratório de Mecânica dos Solos foi uma areia fina. O coeficiente de permeabilidade desse tipo de solo é menor do que a areia grossa, de acordo com o quadro 1 (ver Capítulo 2, seção 2.3). Novamente, o objetivo desse experimento é comprovar a eficácia do sistema desenvolvido. Espera-se, pelo ensaio realizado, obter um valor muito próximo aos valores obtidos pelos métodos tradicionais de determinação do coeficiente de permeabilidade de solos.

Para este experimento, os sensores foram conectados em diferentes posições. O sensor de pressão, utilizado para monitorar a altura da coluna d'água, foi posicionado logo após a bureta e conectado ao permeâmetro por uma mangueira. O sensor de temperatura ficou mergulhado, durante todo o ensaio, no frasco de água utilizado para preencher a bureta.

Com o sistema todo conectado, encheu-se a bureta com água até a sua extremidade e verificou-se se havia existência de bolhas de ar no sistema. Iniciou-se a coleta de dados por meio da chave play do protótipo e retirou-se uma presilha que estava estrangulando a mangueira de passagem de água. O experimento durou apenas 6 minutos e 40 segundos sendo amostrados 356 pontos.

Após a coleta de dados, salvos no arquivo texto pelo módulo de cartão SD, utilizou-se o software desenvolvido para processar os dados obtidos. Os parâmetros de entrada para o experimento de carga constante foram: comprimento da amostra de 10 cm, diâmetro da amostra 5 cm e diâmetro da bureta de 0,77 cm. Além disso, também foram inseridas, para efeito de registro, as alturas limites: altura de referência: 79,5 cm e altura máxima: 0 cm. Ilustra a figura 29 o gráfico “Coeficiente de permeabilidade x Tempo” deste experimento.

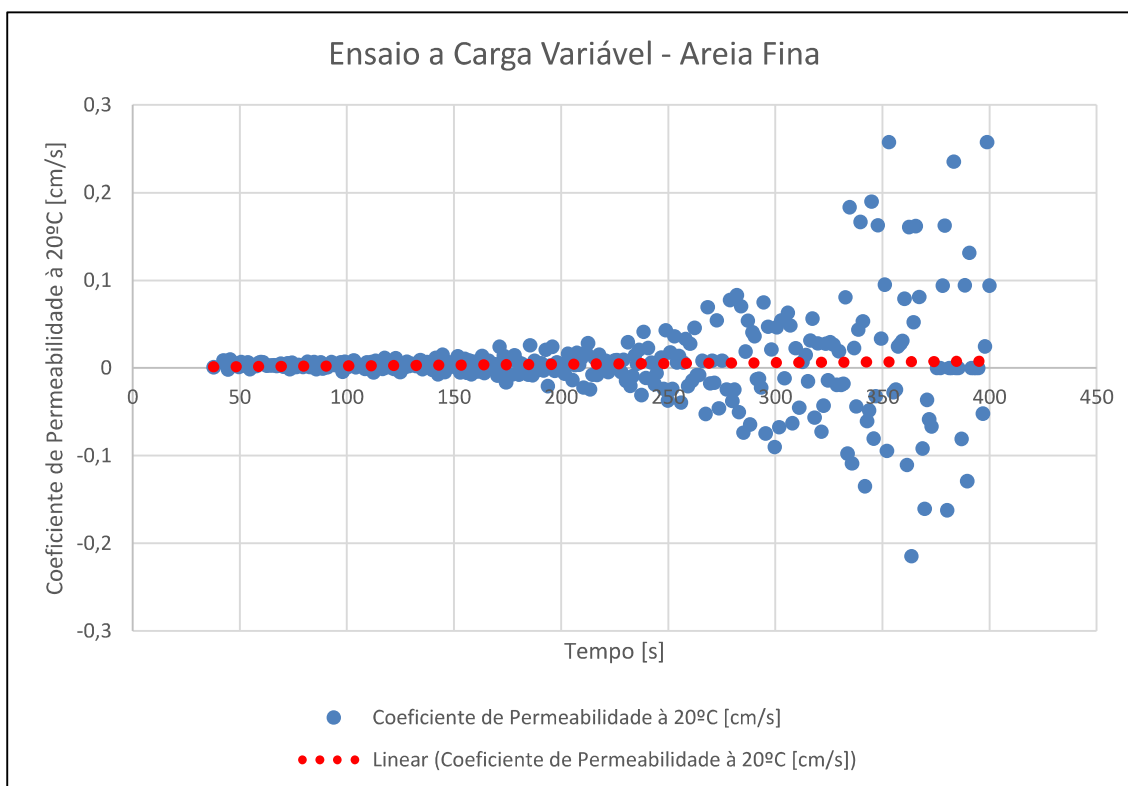


FIGURA 29 – ENSAIO DE CARGA VARIÁVEL – AREIA FINA  
 FONTE: Autoria própria.

Como se pode observar na figura 29, chegou-se ao valor médio de coeficiente de permeabilidade da amostra em estudo de  $3,2126 \cdot 10^{-3}$  cm/s. Após do término da coleta de dados de forma digital, foi realizado a determinação do coeficiente de permeabilidade da maneira tradicional, em que o valor encontrado de permeabilidade foi de  $1,34 \cdot 10^{-3}$  cm/s.

Ao compararmos os resultados obtidos pelo instrumento digital microcontrolado e pelo método tradicional, podemos perceber que os valores possuem certa diferença. No entanto, a ordem de grandeza, encontrada em ambos os métodos, está de acordo com o quadro 2, ou seja, valores teóricos típicos da



literatura sobre mecânica dos solos. A diferença entre os resultados, método digital confrontado ao método manual, pode ser explicada por diversos fatores. O primeiro deles pode estar relacionado aos erros do operador no método convencional, tal como o erro de paralaxe e o delay ao pressionar o botão do cronômetro.

Ainda, essa diferença pode estar relacionada ao sistema digital microcontrolado que, durante o experimento, detectou algumas variações de pressão inconsistentes a realidade. Este fato ocorreu, principalmente, quando os operadores aferiram a altura de referência, durante o experimento, perturbando o sistema. Isso pode ser observado na figura 29 a partir do segundo 250, momento em que os operadores aferiram a altura de referência.

Outro motivo, que pode ter influenciado nos resultados, é o algoritmo adotado para organizar a base de dados do experimento. Para este experimento, é necessário excluir os pontos de valor de pressão iguais, transformando a base de dados em uma lista decrescente de valores de pressão. Como podemos observar, a partir do segundo 250, momento da aferição da altura de referência pelos operadores, os valores de pressão sofreram grandes variações entre dois pontos subsequentes. O algoritmo desenvolvido para esta aplicação não levou em consideração a premissa de perturbação do sistema.

Embora esses detalhes tenham influenciado, mesmo que de forma mínima, nos resultados obtidos no experimento de carga variável, certamente o sistema desenvolvido para este ensaio atendeu as expectativas devido à ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade estar de acordo com a literatura técnica.

## 5 Conclusões

Este trabalho contemplou o desenvolvimento de um sistema digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos. O projeto, iniciado através da observação das dificuldades encontradas durante o procedimento manual para obtenção do coeficiente de permeabilidade, teve como objetivo minimizar os erros do operador durante o experimento.

Várias opções em relação à tecnologia foram estudadas na busca por um sistema que fosse eficiente, robusto e principalmente possuísse uma boa relação entre custo x benefício. Escolheu-se o microcontrolador ATMEGA328P-PU por ser de fácil acesso ao usuário e desenvolvedores além de atender à todas as especificações do projeto. Além disso, optou-se por utilizar sensores de pressão e temperatura para realizar a coleta de dados e, posteriormente, realizar o cálculo do coeficiente de permeabilidade.

A placa de aquisição de dados e os softwares desenvolvidos atenderam a todas as especificações técnicas. O hardware confeccionado é de fácil montagem e adaptação ao permeâmetro do laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR. Os softwares arquitetados possuem interface amigável ao usuário e são facilmente adaptáveis as necessidades de seus usuários.

Quanto aos resultados do instrumento digital microcontrolado, pode-se concluir que os resultados obtidos para o coeficiente de permeabilidade, em ambas as amostras, estão coerentes com a realidade. Os valores obtidos estão de acordo com a literatura técnica da área de mecânica dos solos, ou seja, encontram-se dentro da ordem de grandeza esperada para ambos os tipos de solos.

Por último, destaca-se que o projeto desenvolvido atendeu à um de seus principais objetivos, que era a geração de tecnologia para a universidade, particularmente para o Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR.

## 6 PLANO DE NEGÓCIOS

Nesta seção em diante serão abordados temas relacionados ao planejamento das atividades financeiras para a transformação deste projeto em um produto final e a possível criação de uma empresa para revenda do sistema desenvolvido. Para isso será descrito nas próximas páginas uma análise do mercado, e para tal será necessário primeiramente estabelecer os valores e a missão da empresa, tal como o posicionamento do produto, indicando os objetivos de curto e médio prazo da empresa.

Será necessário identificar os principais players do mercado, realizando um levantamento de clientes, fornecedores e concorrentes em potencial; destacando as vantagens competitivas que a empresa possui com o sistema desenvolvido.

Serão abordados também quais os segmentos de mercado possíveis de serem atingidos. Para tal, serão descritas quais estratégias a empresa necessitara criar para garantir seu market share. Estas serão descritas pela campanha de marketing a ser realizada, valores dos serviços e produtos. As questões sobre a distribuição dos serviços e produtos também serão abordadas.

Por último, serão expressas as expectativas de vendas, quadro de funcionários necessários para atender a demanda e um plano financeiro.

### 6.1 Sumário executivo

Fundada no ano de 2017, a Automalabs atuará na área de instrumentação geotécnica. Esta empresa fornecerá soluções de alta qualidade, proporcionando a seus clientes confiabilidade, precisão e repetibilidade a seus resultados. Em primeiro momento, a empresa disponibilizará seus produtos e soluções a toda a região Sul do país por questões que envolvem área de atendimento ao cliente, logística e maior potencial de possíveis clientes.

O primeiro produto a ser comercializado é o instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo. Trata-se de um kit de instrumentação para permeâmetros afim de obter o coeficiente de permeabilidade de diversos tipos de solos evitando erros do operador, principalmente os erros de paralaxe.

Como objetivos iniciais, a Automalabs comercializará o kit básico para automação de permeâmetros, em um primeiro momento. Além disso, buscará clientes e parceiros por toda a região Sul do país durante seus 3 primeiros anos. Por outro lado, ao longo destes primeiros anos, também procurará aprimorar o software fornecido e desenvolver outros tipos de kits para serem fornecidos. Para tal realização, serão apresentadas as estratégias que deverão ser adotadas durante o processo inicial de criação da empresa, bem como as expectativas de vendas dos produtos e serviços oferecidos pela Automalabs.

## 6.2 Definição do negócio

### 6.2.1 Visão

Ser referência no mercado nacional de instrumentação geotécnica para instituições de pesquisa e afins, buscando melhorias contínuas.

### 6.2.2 Missão

Desenvolvimento de equipamentos de alta qualidade que forneçam serviços diferenciados, proporcionando a seus clientes confiabilidade, precisão e repetibilidade.

### 6.2.3 Valores

A Automalabs orientará suas ações com base nos seus valores de fundação:

- Pessoas fazem a diferença;
- Energia;
- Austeridade;
- Inovação;

- Transparência;

#### 6.2.4 Descrição do negócio

A Automalabs será uma empresa de tecnologia voltada, em primeira instância, ao mercado de automação para permeômetros. Terá o objetivo de auxiliar instituições de pesquisas a melhorar os seus métodos de análises trazendo confiabilidade, precisão e repetibilidade aos seus resultados. O primeiro produto da Automalabs, o instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo, deverá ser reconhecido pelo mercado por conta da facilidade de implantação, adaptação e de uso pelos seus usuários.

### 6.3 Objetivos

#### 6.3.1 Objetivos principais

Ser referência no mercado nacional de automação para permeômetros, ficando reconhecida pela qualidade nos produtos ofertados, conquistando a confiança de seus clientes.

Durante este período, é pretendido desenvolver novos kits para automação bem como fornecer melhorias constantes em seus softwares. Além disso, buscará fornecer os seus serviços por toda a região sul do país.

#### 6.3.2 Objetivos intermediários

Para realizar o objetivo principal da empresa são traçados objetivos intermediários, os quais definem o percurso da empresa para atingir o seu objetivo principal.

Em seu primeiro ano de atividade (2017), o instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo será vendido

a todas as instituições de ensino superior do estado do Paraná. Ao mesmo tempo, visando a demanda crescente e necessidade por parte de seus clientes, pretende-se alcançar 30% das instituições de pesquisa do estado do Paraná em seu primeiro ano de atividade.

Em 3 anos de atividades, a Automalabs deverá fornecer melhorias contínuas aos seus softwares, bem como desenvolver novos kits de permeâmetros automatizados para serem comercializados. Ao longo destes anos iniciais, buscará adentrar nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Por serem mais simples, esses objetivos facilitam para atingir o objetivo maior da Automalabs.

## 6.4 Produtos e serviços

### 6.4.1 Descrição dos produtos e serviços

O primeiro produto desenvolvido é um instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo. O projeto consiste em fornecer a automação necessária para permeâmetros em instituições de ensino e pesquisa. Deste modo, o produto visa proporcionar a seus clientes, confiabilidade, repetibilidade e precisão nos ensaios de determinação do coeficiente de permeabilidade tanto para ensaios a carga constante quanto para ensaios de carga variável.

Em conjunto ao kit instalado ao permeâmetro, será fornecido um software de processamento de dados para obtenção dos resultados do experimento. Neste software o usuário carregará a base de dados obtida com o instrumento digital microcontrolado e fornecerá os dados de entrada do experimento. Como resultado final, o software fornecerá um gráfico do coeficiente de permeabilidade pelo tempo, também ficando disponível a base de dados para eventuais consultas e confecção de relatórios posteriores ao experimento.

#### 6.4.2 Análise Comparativa

O produto se propõe a disponibilizar ao cliente uma maneira simples de automação dos ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade. A automação do experimento visa evitar os erros do operador, como por exemplo, o erro de paralaxe. Além disso, o produto poupará tempo de seus operadores, pois não será necessário acompanhar o processo durante todo o ensaio

A proposta deste produto é então trazer confiabilidade e precisão aos resultados do experimento. Com o produto desenvolvido é possível analisar os resultados da aplicação e adapta-lo aos locais de trabalho de cada cliente visando sempre a agilidade e facilidade.

#### 6.4.3 Tecnologia

A tecnologia para desenvolvimento de sistemas automatizados com base na plataforma de prototipação eletrônica Arduino permite alta flexibilização dos projetos, o que caracteriza uma vantagem competitiva a empresa. Além disso, a plataforma base possui baixo custo e um alto benefício diante das demais.

Mesmo utilizando uma plataforma de prototipagem de desenvolvimento comum no mercado, os projetos desenvolvidos com o mesmo se tornam exclusivos, pois a Automalabs fornecerá em seus produtos um kit especializado para cada solução proposta. Transformando o sistema no mais simples possível sem perder a sua eficácia.

#### 6.4.4 Produtos e serviços futuros

A Automalabs planeja formalizar parcerias com institutos de pesquisa e ensino em todo o território nacional com o objetivo de diversificação do portfólio de produtos e serviços ofertados pela empresa.

Durante os primeiros anos de atividade, a empresa buscará fornecer para seus clientes, além do kit básico para automação de permeômetros, um kit completo para a realização de ensaios de determinação do coeficiente de permeabilidade de

solo sendo composto pelo permeâmetro já acoplado dos sensores para a automação dos experimentos.

Outro produto a ser fornecido pela Automalabs, nos próximos anos, será um software mais completo para determinação do coeficiente de permeabilidade de solo contando, inclusive, com o processamento de dados online e acompanhamento do coeficiente de permeabilidade através de um gráfico em tempo real.

## 6.5 Análise de mercado resumida

O kit para automação dos ensaios de obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo é uma novidade no mercado. Por este motivo não há concorrentes diretos no fornecimento de um produto similar ao mercado. Entretanto, a partir do lançamento do kit de automação para permeâmetro, a Automalabs imagina que novos concorrentes possam surgir no mercado. Sendo assim, a empresa se prepara para se tornar uma empresa competitiva e dominar a tecnologia desenvolvida.

### 6.5.1 Segmentação de mercado

O público alvo se caracteriza por institutos de pesquisa, instituições de ensino superior e laboratórios privados de mecânica dos solos que forneçam estudos sobre o coeficiente de permeabilidade de solo.

### 6.5.2 Segmento alvo de mercado

O segmento alvo serão principalmente os institutos de pesquisa e instituições de ensino superior visto que são os locais que mais se adaptam ao produto. Existe um grande foco na precisão e exatidão dos experimentos, fator fundamental para pesquisas e estudos sobre o coeficiente de permeabilidade de solo.



### 6.5.3 Necessidade do mercado

No ramo desejado, percebeu-se vários problemas relacionados a baixa precisão dos resultados obtidos pelo método tradicional de obtenção do coeficiente de permeabilidade. Além disso, o método manual exige muita atenção de seus operadores e provoca certo desgaste no operador.

É de interesse dos institutos de pesquisa e instituições de ensino superior melhorar seus resultados obtidos, principalmente se fornecidos com precisão e exatidão.

### 6.5.4 Tendências do mercado

Com o avanço da tecnologia, muitos processos manuais têm se tornado cada vez mais automatizados. A automação do ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade demonstra que este ramo de mercado está em constante evolução e pode ser aplicado a diversos ramos do mercado.

### 6.5.5 Crescimento do mercado

O ramo da automação está em constante expansão, principalmente os ramos da automação residencial e industrial. A automação do experimento de determinação do coeficiente de permeabilidade demonstra que este ramo da engenharia pode ser aplicado a diversos mercados e gerar novas tecnologias para o mesmo.

### 6.5.6 Análise da indústria

O objetivo principal da automação industrial é criar mecanismos que sejam capazes de produzir o melhor produto com o menor custo. Ou seja, visa melhorar a produtividade de uma empresa e realiza operações que seriam impossíveis de controlar manualmente.

O instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade tem por finalidade eliminar os possíveis erros de operação ao se realizar os experimentos de carga constante e/ou carga variável. Logo, espera-se por um produto que traga maior confiabilidade nos resultados.

#### 6.5.7 Players

A seguir, foi realizada uma análise dos players do ramo, ou seja, os envolvidos, fornecedores, clientes, parceiros e concorrentes.

O kit básico de automação para permeômetros é constituído por hardware e software desenvolvidos especialmente para determinada aplicação. Tendo em vista este fato, os principais fornecedores para realizar a produção deste kit seriam os fornecedores de placas de circuito impressos e componentes eletrônicos. Além disso, também serão necessários computadores de alto desempenho para desenvolvimento e testes dos softwares projetados.

Quanto aos clientes, o produto será ofertado a qualquer instituto de pesquisa ou instituição de ensino superior que pesquisem a permeabilidade de solo. Além disso, outros potenciais clientes são os laboratórios de mecânica dos solos privados que prestam serviços ao ramo da construção civil.

Parcerias seriam formadas com os mesmos institutos de pesquisa e/ou universidades afim de efetuar constantes melhorias ao produto e atender as demandas do mercado.

Por se tratar de um produto novo no mercado, o qual ainda não existe qualquer tipo de comercialização, o kit para automação de permeômetros não possui concorrentes diretos, caracterizando uma ótima vantagem competitiva para a empresa.

#### 6.5.8 Modelo de distribuição

Os produtos produzidos pela Automalabs serão comercializados em vendas diretas, ou seja, diretamente do fabricante ao cliente. Esta interface garante

proximidade ao cliente e novas parcerias, principalmente para oferecer novos serviços e identificar oportunidades de negócio.

#### 6.5.9 Modelo de competitividade

O instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo é um produto totalmente novo no mercado. Não existindo nenhum produto semelhante no mercado. Por não possuir concorrentes que ofereçam produto semelhante, a Automalabs não vislumbra uma potencial competitividade que a ameace.

Entretanto será necessário o constante monitoramento do mercado para que sejam tomadas atitudes em caso de serem lançados produtos semelhantes no mercado de forma a garantir o market share.

#### 6.5.10 Principais players

De acordo com a pesquisa de mercado realizada, na atualidade a Automalabs terá os seguintes players em seu escopo de mercado:

- Fornecedor de componentes eletrônicos:
  - Farnell Newark;
  - Digikey;
  - Mouser Electronics.
  
- Fornecedores de placas de circuito impresso:
  - Circuibras;
  - Circuitel;
  - Micropress.
  
- Fornecedores de computadores de alto desempenho:
  - Dell;
  - Avell;

- Powernote.
  
- Clientes:
  - Universidade Tecnológica Federal do Paraná;
  - Universidade Federal do Paraná;
  - Universidade Federal de Santa Catarina;
  - Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
  - Universidade de São Paulo;
  - Outras universidades;
  - Laboratórios privados.

## 6.6 Definição da oferta e da proposta de valor

Conforme apresentado no decorrer deste plano de negócios, o mercado no qual a Automalabs pretende se inserir não possui outros players com produtos similares. Sabendo deste fato, pretende-se tirar vantagem de adquirir e firmar o monopólio neste segmento do mercado de automação de experimentos para obtenção do coeficiente de permeabilidade, para isso serão ofertados os serviços de confecção dos kits de automação para permeômetros, instalação, manutenção, suporte técnico e capacitação de seus clientes.

O instrumento digital microcontrolado possui como atrativo precisão, exatidão e confiabilidade nos resultados processados pelos seus softwares. Outro fator interessante é que com o decorrer do tempo, pela Automalabs deter a tecnologia de automação, é muito mais fácil incorporar cada vez mais funcionalidades ao seu produto.

## 6.7 Estratégia e implementação

Para garantir o sucesso do negócio é necessário um planejamento de implementação e do lançamento do produto, para conquistar os clientes e garantir que este negócio seja rentável. Uma forma de conseguir novos clientes é através do

marketing. Além disso, para continuar a parceria realizada com estes clientes é necessário um produto confiável e um atendimento pós-venda de qualidade.

## 6.8 Estratégia de marketing

A estratégia de marketing engloba a prática de preços competitivos, tal como o serviço que será ofertado aos usuários. Serão também feitos projetos pilotos em clientes para futura utilização como cases de sucesso que fornecerão de respaldo a Automalabs na prospecção de novos clientes.

### 6.8.1 Estratégia de preços

Para a estipulação do preço de venda do produto foram levados em consideração os custos de matéria prima para confecção do kit básico tais como placa de circuito impresso, componentes eletrônicos, sensores, peças de suporte e fonte de alimentação para o produto. Além disso, levou-se em consideração a mão de obra utilizada para desenvolver todo o produto.

Também deve-se acrescentar ao custo final do produto outros tipos de despesas como, por exemplo, despesas administrativas, despesas comerciais e despesas financeiras. Estima-se em torno de R\$ 200,00 o custo de produção de um kit para automação de um permeâmetro.

O método utilizado para o cálculo de preço final foi o mark-up multiplicador, utilizando uma margem de contribuição de 54,9%

Custo			R\$ 200,00
Mark-up multiplicador		5	
Preço de venda	100,00%		R\$ 1.000,00
Despesas Administrativas	5,00%		R\$ 50,00
Despesas Comerciais	5,00%		R\$ 50,00
Despesas Financeiras	5,00%		R\$ 50,00
ICMS	1,25%		R\$ 12,50
IPI	1,25%		R\$ 12,50
Alíquota	7,60%		R\$ 76,00
Margem de contribuição	54,90%		R\$ 549,00
Soma	80,00%		R\$ 800,00
Custo	20,00%		R\$ 200,00

QUADRO 3 – PREÇO DO PRODUTO

FONTE: A autoria própria.

O preço obtido pelo mark-up multiplicador foi de R\$ 1.000,00.

### 6.8.2 Estratégias de promoção

Para a promoção do produto foram definidos como estratégias de marketing: preços competitivos, abordagem de representantes e utilização de projetos pilotos em clientes como cases de sucesso para fornecer respaldo na prospecção de novos clientes.

Serão realizadas abordagens pessoais com os representantes de venda, além de fornecimento de materiais como flyers explicativos sobre a nova tecnologia. Os potenciais clientes receberão visitas em suas instituições para demonstração do produto e adaptação a seus locais de trabalho. Além do mais, a empresa buscará divulgar seus produtos e novas tecnologias através das mídias sociais tais como facebook e twitter e através de um website exclusivo da companhia. Todos os canais de comunicação fornecerão informações sobre o produto e a tecnologia utilizada, bem como textos e curiosidades sobre o estudo de solos.

### 6.8.3 Estratégias de distribuição

Os kit's para automação de permeômetros serão produzidos na sede em Curitiba, sendo instalados em todo o estado do Paraná, inicialmente. Será realizado um trabalho de gestão da produção para averiguar a demanda de produtos e definir a quantidade de colaboradores necessários.

A empresa ofertará o instrumento digital microcontrolado a seus clientes através de seu website. Ou seja, toda a experiência de compra será através do website e a entrega dos produtos se dará através de transportadoras e/ou via correios.

### 6.8.4 Estratégia de vendas

#### 6.8.4.1 Projeção de vendas

O número de produtos vendidos foi designado tendo em mente o número de potenciais clientes a aceitarem esta nova tecnologia.

Ano	2017	2018	2019
Número de produtos vendidos	200	350	500

QUADRO 4 – PROJEÇÃO DE VENDAS  
 FONTE: Autoria própria.

#### 6.8.4.2 Plano de vendas

Conforme comentado anteriormente, as vendas serão realizadas através do website da Automalabs tendo como principais clientes as universidades e institutos de pesquisa. Aos poucos serão expandidas as vendas para laboratório privados de Mecânica dos Solos que forneçam serviços a empresas da área da construção civil.

## 6.9 Equipe

A equipe será inicialmente composta por quatro profissionais sendo eles um técnico em eletrônica, um representante de vendas e seus dois sócios majoritários, dois engenheiros com experiência em P&D nas áreas de software e hardware.

O representante de vendas ficará responsável por todo o processo de vendas da companhia, sendo encarregado na prospecção de novos clientes e parcerias, comercialização do instrumento digital microcontrolado e gerenciamento de vendas.

O técnico em eletrônica será responsável pela montagem dos kit's a serem comercializados. Também será responsável por realizar o suporte técnico aos clientes, quando necessário.

Os sócios majoritários serão responsáveis por todo o desenvolvimento de novas tecnologias e melhorias de produto. Além disso cuidarão dos departamentos de administração e marketing da companhia.

## 6.10 Plano operacional

### 6.10.1 Processos operacionais

Conforme comentado anteriormente, a produção dos kits para automação de permeômetros será realizada pelo técnico em eletrônica contratado pela empresa. Além disso, esta mesma pessoa dará todo o suporte técnico, quando necessário a seus clientes.

Os processos de melhoria de produto e desenvolvimento de novas tecnologias e produtos serão realizados pelos seus sócios majoritários, sendo repassados, posteriormente, para as áreas de produção e vendas.



## 6.11 Plano financeiro

### 6.11.1 Considerações

A boa administração financeira, realizada através de um bom planejamento, irá assegurar a saúde econômica e financeira, reduzindo os riscos e aumentando o valor da empresa Automalabs. Por meio dessa ferramenta irá se criar um mapeamento financeiro, mostrando os locais que deverão ser aplicados os recursos, evitando desperdícios, e os compromissos a serem honrados pela empresa.

Para alcançar esses objetivos, irá se projetar o fluxo de caixa da empresa levando em consideração os fatores mais relevantes, que certamente afetarão a saúde econômica e financeira da empresa Automalabs.

Em primeiro momento, o capital de investimentos iniciais, para constituir as atividades da empresa, é de R\$50.000,00. O valor é obtido através de dinheiro dos próprios sócios fundadores da empresa.

### 6.11.2 Análise do break-even

Ponto de equilíbrio calculado a partir dos dados da Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) 2017 que serão demonstrados na seção 6.12.3.

Pela fórmula do ponto de equilíbrio:

$$PE = \frac{\text{Custos fixos} + \text{Despesas fixas}}{\text{Margem de contribuição}}$$

$$PE = \frac{R\$ 125.300,00}{0,549} = R\$ 228.233,15$$

Ou seja, o ponto de equilíbrio é 228,23 unidades.

## 6.12.3 Projeção do resultado

## Demonstração do Resultado

	2017	2018	2019
Vendas	R\$200.000,00	R\$350.000,00	R\$500.000,00
Impostos sobre Vendas	R\$20.200,00	R\$35.350,00	R\$50.500,00
Custo das Vendas	R\$70.000,00	R\$122.500,00	R\$175.000,00
Outros Custos	R\$0	R\$0	R\$0
	-----	-----	-----
Custos Total das Vendas	R\$90.200,00	R\$160.850,00	R\$225.500,00
Margem Bruta	R\$109.800,00	R\$189.150,00	R\$274.500,00
Margem Bruta %	55%	54%	55%
Despesas Operacionais:			
Despesas de Marketing e Vendas			
Pessoal Marketing e Vendas	R\$300,00	R\$300,00	R\$300,00
Publicidade/Promoção	R\$200,00	R\$200,00	R\$200,00
Viagens	R\$1.200,00	R\$1.200,00	R\$1.200,00
Diversos	R\$100,00	R\$100,00	R\$100,00
	-----	-----	-----
Total Despesas Marketing e Vendas	R\$1.800,00	R\$1.800,00	R\$1.800,00
Marketing e Vendas %	3,3%	3%	3%
Despesas Gerais e Administrativas			
Folha Gerais e Administrativas	R\$50.500,00	R\$55.550,00	R\$61.105,00
Depreciação	R\$600,00	R\$600,00	R\$600,00
Aluguéis	R\$900,00	R\$990,00	R\$1.089,00
Seguro	R\$500,00	R\$550,00	R\$605,00
	-----	-----	-----
Total Desp. Gerais e Administrativas	R\$52.500,00	R\$57.690,00	R\$63.399,00
Gerais e Administrativas %	95%	95,5%	96%
Outras Despesas			
Outras Gastos com Pessoal	R\$1.000,00	R\$1.000,00	R\$1.000,00
	-----	-----	-----
Total Outras Despesas	R\$1.000,00	R\$1.000,00	R\$1.000,00
Outras %	1,8%	1,5%	1%
	-----	-----	-----
Total Despesas Operacionais	R\$55.300,00	R\$60.390,00	R\$66.199,00
Resultados Antes de Juros e Impostos	R\$54.500,00	R\$128.760,00	R\$208.301,00
Impostos Incidentes	R\$10.100,00	R\$17.675,00	R\$25.250,00

Lucro Líquido	R\$44.400,00	R\$111.085,00	R\$183.051,00
Lucro Líquido/Vendas	22,2%	32%	36,6%

#### 6.12.4 Projeção do fluxo de caixa

##### Fluxo de Caixa

	2017	2018	2019
Recebimentos	R\$200.000,00	R\$350.000,00	R\$500.000,00
Pagamentos	R\$125.300,00	R\$182.890,00	R\$241.199,00
Superávit (Déficit) Operacional	R\$74.700,00	R\$167.110,00	R\$258.801,00
Saldo Inicial de Caixa	-R\$50.000,00	-R\$5.300,00	R\$61.810,00
Saldo Final de Caixa	R\$24.700,00	R\$161.810,00	R\$320.611,00

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14545: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13292: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 1995.

BITTENCOURT, Douglas: Permeabilidade e Fluxo Unidimensional em Solos. Notas de Aula. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/GEO\\_II\\_01\\_Percolacao%20e%20Fluxo%201D\\_1-2.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/GEO_II_01_Percolacao%20e%20Fluxo%201D_1-2.pdf)>. Acesso em: 12 de outubro 2016.

DAS, BRAJA M. Fundamentos de engenharia geotécnica. São Paulo: Thomson Learning, 6ª edição, 2006, p. 123-129.

CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1996, 234p.

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS H. G.; BREFIN, M. L. M. S.; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, cap. 3, p. 49-50, 2013.

EMBRAPA, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/solos.htm>>. Acesso em: 14 de maio de 2015.

HEWLETT, J. D.; NUTTER, A. R. Principles of Forest Hidrology. Ed. Forest Hidrology, Georgia, p. 183-187, 1983.

JOSÉ J. V.; REZENDE R.; MARQUES P. A. A.; FREITAS P. S. L.; ALVES D. S.; Determinação da velocidade de infiltração básica de água em dois solos do noroeste do estado do Paraná. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 6, n. 1, p. 155-170, 2013.

LIMA, V. C. G. R.; Análise experimental e numérica de trincheiras de infiltração em meio saturado; 2009. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, 2009.

LIMA, Valmiqui Costa; LIMA, Marcelo Ricardo de; MELO, Vander de Freitas (Eds.). O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. 130 p.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. de. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2311-2320, 1999.

MARANGON, M. Unidade 1 – Hidráulica dos Solos. Mecânica dos Solos II. Notas de aula. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/9/92/Ms2\\_unid01.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/9/92/Ms2_unid01.pdf)>. Acesso em: 31 de outubro de 2016.

PAZZETTO, Morgane Brogni; BACK, Alvaro José. Estudo da permeabilidade de solos argilosos disponíveis para recuperação de áreas degradadas {e:a mineração de carvão no sul de santa catarina. Disponível em: <[www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00003E/00003EA7.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00003E/00003EA7.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em: 15 de novembro de 2015.

POTT, C. A.; Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de Permeômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo; Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 77p. Dissertação Mestrado.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Propriedades físicas do solo. Disponível em: <[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An\\_lise\\_da\\_zona\\_n\\_o\\_saturada\\_do\\_solo\\_\\_texto.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf)>. Acesso em: 14 de novembro de 2015.

RICHARDS, L. A. Report of the Subcommittee on Permeability and Infiltration, Committee on Terminology, Soil Science Society of America. Soil Science Society Proceedings 1952.p 85-88.

SOUZA, Fábio. 2013. Pinout ATMEGA328P-PU. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 30 de setembro de 2016.

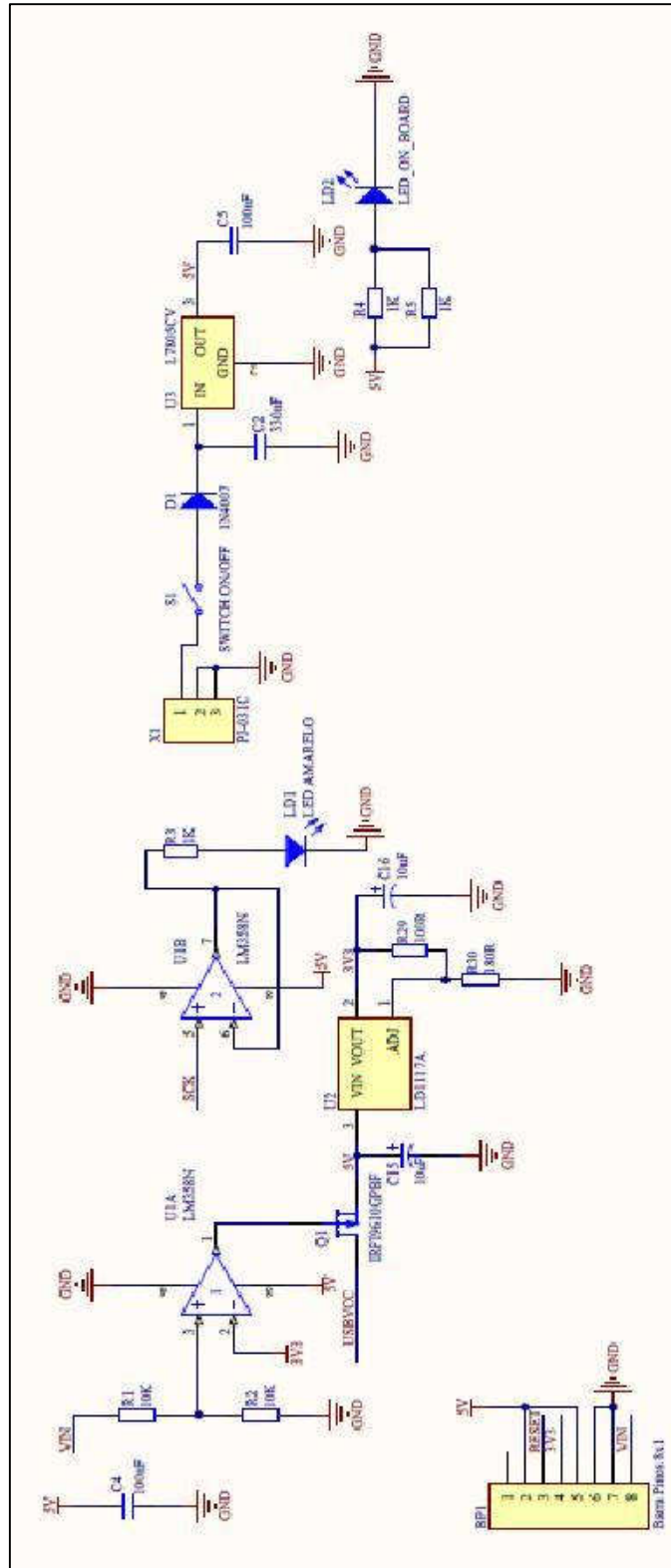
VARGAS, Rosane. Mecânica dos solos. Notas de Aula. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/mecanica-dos-solos-profa-rosane-vargas-permeabilidade-dos-solos.html#>>. Acesso em: 14 de novembro de 2015.

TONIN, Fábio. Permeabilidade dos solos: Mecânica de solos. Notas de Aula. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2012/04/aula-7-e-8-permeabilidade-dos-solos.pdf>>. Acesso em: 14 de novembro de 2015.

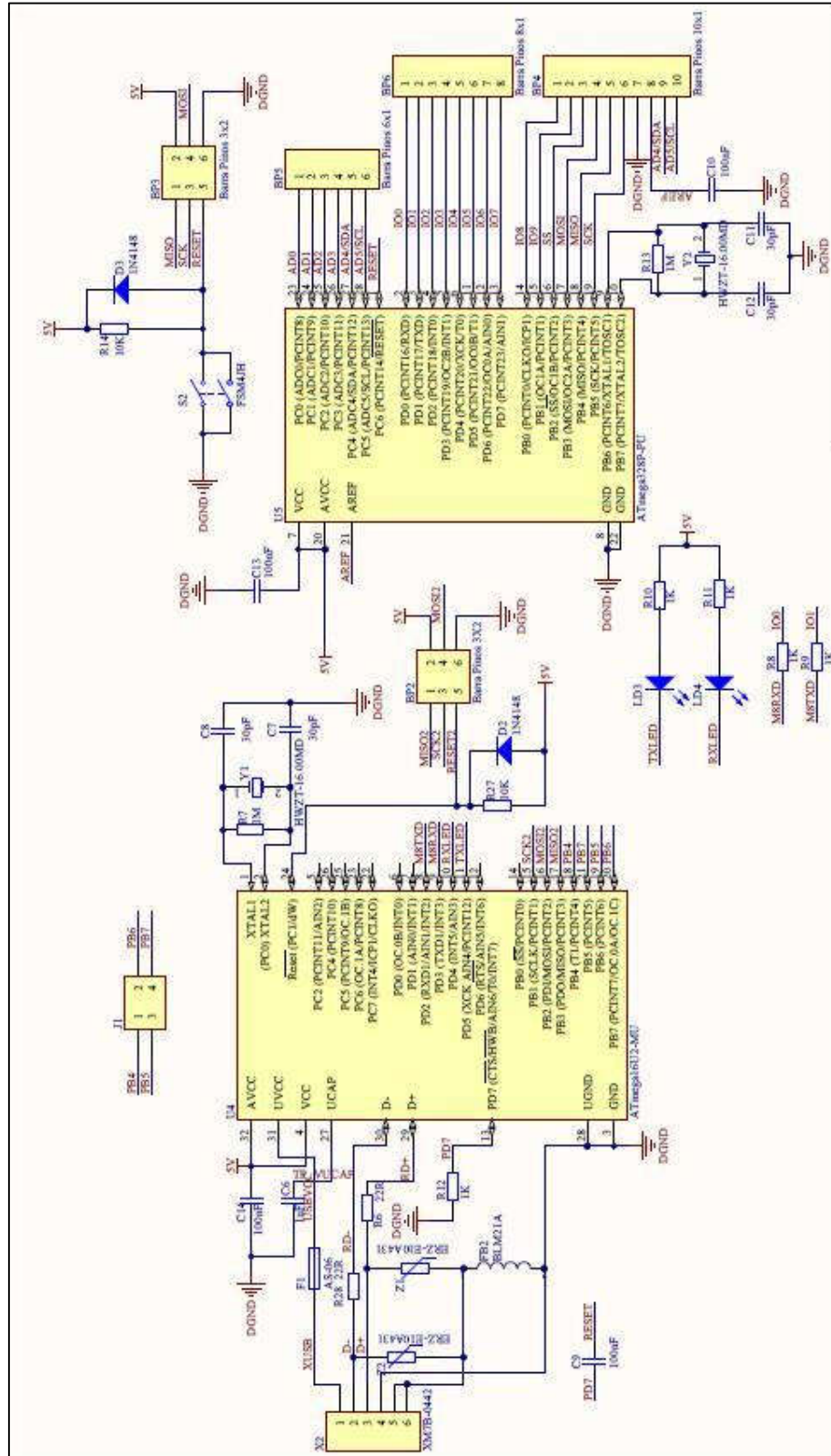
UBM ELECTRONICS, 2012. Embedded Market Survey, [s,1], UBM Electronics, 2012.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A – HARDWARE – FONTE DE ALIMENTAÇÃO

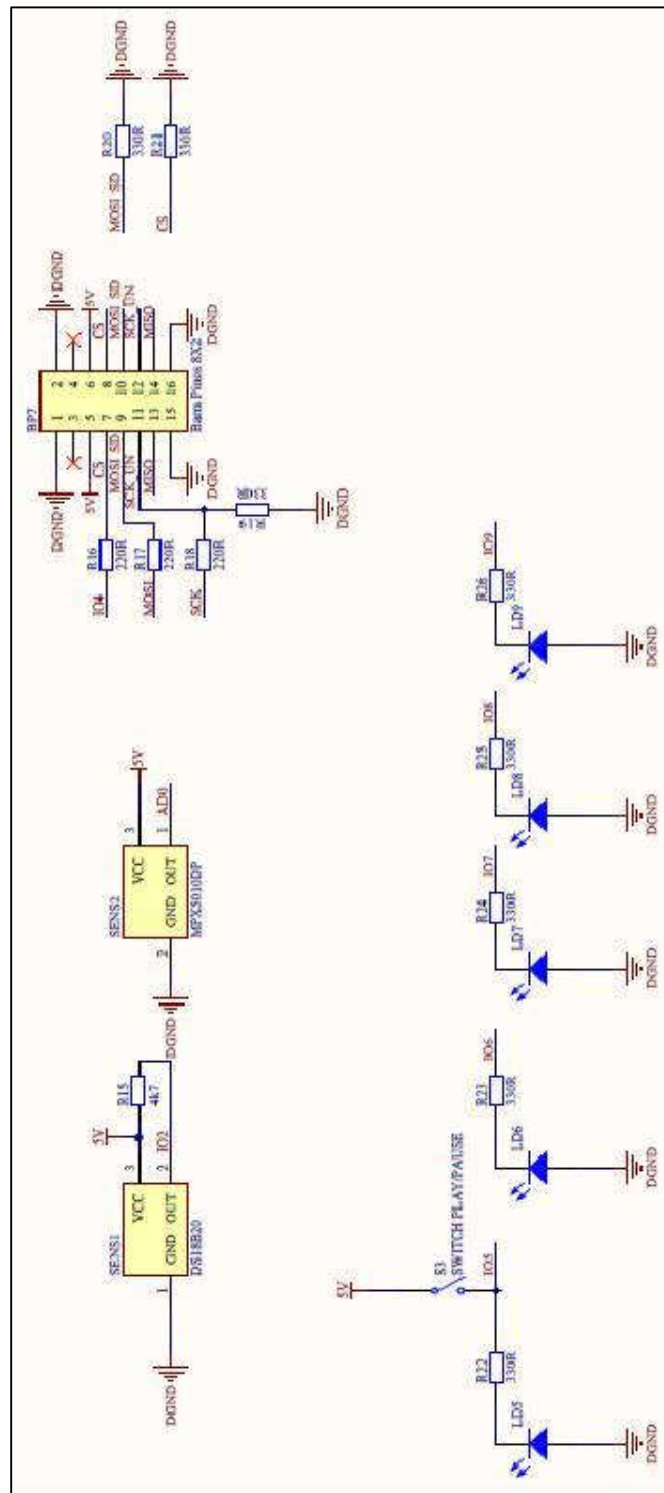


APÊNDICE B – HARDWARE – CPU





APÊNDICE C – HARDWARE – SENSORES E CARTÃO SD



## APÊNDICE D – Código para coleta de dados

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SdFat.h>

// Porta do pino de sinal do DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 2

// Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensor1;

// PORTAS UTILIZADAS - ENTRADAS E SAIDAS
const int analogInPin = A0; // Entrada Analógica - Sensor de Pressão 1
const int analogOutPin = 9; // Analog output pin that the LED is attached to
const int chipSelect = 4; // Entrada Digital - Módulo Cartão SD
const int Play = 5; // Entrada Digital - Chave Play/Resume
const int LedSD = 6; // Saída Digital - Led Caso de problema na leitura do SD
const int LedOp = 7; // Saída Digital - Led Caso de problema na inicialização do TXT
const int LedTp = 8; // Saída Digital - Led Caso de problema na inicialização do Sensor de Temperatura
const int LedWr = 9; // Saída Digital - Led para sinalizar escrita no TXT

// VARIÁVEIS A SEREM UTILIZADAS

// Variáveis SD Card
SdFat sdCard;
SdFile meuArquivo;

// Variáveis diversas
int cont1 = 0; // Contador 1
int cont2 = 0; // Contador 2

// Valores de temperatura
float temperatura = 0;

// Valores de pressão
int SensorPressureValue = 0; // Valor do sensor de Pressão - 0 a 1023
int PressureOutValue = 0; // Valor do sensor de Pressão - 0 a 255

// Valores de Tempo
unsigned long time; // Contador de tempo do Arduino

//SimPlot

int buffer[20]; // Buffer needed to store data packet for transmission
int data1; // Coeficiente de permeabilidade do solo x1000

void setup(void)
{
  // Inicialização da comunicação serial - 9600 bps
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial

  // Inicialização dos Pinos
  pinMode(Play, INPUT); // Saída Digital - Led Caso de problema na leitura do SD

  pinMode(LedSD, OUTPUT); // Saída Digital - Led Caso de problema na inicialização do TXT
  digitalWrite(LedSD, LOW);

  pinMode(LedOp, OUTPUT); // Saída Digital - Led Caso de problema na inicialização do TXT
  digitalWrite(LedOp, LOW);

  pinMode(LedTp, OUTPUT); // Saída Digital - Led Caso de problema na inicialização do Sensor de Temperatura
  digitalWrite(LedTp, LOW);

  pinMode(LedWr, OUTPUT); // Saída Digital - Led para sinalizar escrita no TXT
  digitalWrite(LedWr, LOW);
}

```

```

// Inicialização do Módulo Cartão SD
if(!sdCard.begin(chipSelect,SPI_HALF_SPEED))
{
    digitalWrite(LedSD, HIGH);
    sdCard.initErrorHalt();
}

sdCard.remove("Dados.txt");

// Inicialização do TXT
if (!meuArquivo.open("Dados.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END))
{
    digitalWrite(LedOp, HIGH);
    sdCard.errorHalt("Erro na abertura do arquivo DADOS.TXT!");
}

// Impressão das Colunas no Arquivo TXT
meuArquivo.println("Contador,Tempo,Temperatura °C,Pressão 1023,Pressão 255"); //Nomeia as colunas

meuArquivo.close();

// Inicialização do sensor de Temperatura
sensors.begin();
if (!sensors.getAddress(sensor1, 0))
{
    digitalWrite(LedTp, HIGH);
}
}

void loop()
{
    while (digitalRead(Play) == HIGH)
    {
        if (!meuArquivo.open("Dados.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END))
        {
            digitalWrite(LedOp, HIGH);
        }
        // Leitura do Sensor de Pressão
        SensorPressureValue = analogRead(analogInPin);
        // Conversão do Sensor de Pressão de 1023 para 255
        PressureOutValue = map(SensorPressureValue, 0, 1023, 0, 255);
        // change the analog out value:
        analogWrite(analogOutPin, PressureOutValue);

        // Leitura do Sensor de Temperatura
        sensors.requestTemperatures();
        temperatura = sensors.getTempC(sensor1);

        // Leitura do Tempo
        time = millis();

        // Plot
        data1 = SensorPressureValue;
        plot(data1);

        cont1 = cont1 + 1;

        //Impressão dos Dados - Serial Monitor & Cartão SD
        digitalWrite(LedWr, HIGH);

        meuArquivo.print(cont1);
        meuArquivo.print(",");
        meuArquivo.print(time);
        meuArquivo.print(",");
        meuArquivo.print(temperatura);
        meuArquivo.print(",");
        meuArquivo.print(SensorPressureValue);
        meuArquivo.print(",");
        meuArquivo.println(PressureOutValue);
    }
}

```

```
meuArquivo.close();
digitalWrite(LedWr, LOW);

delay(900);

// wait 900 milliseconds before the next loop
}
}

//Function that takes 1 integer value and generates a packet to be sent to SimPlot.
void plot(int data1)
{
    int pktSize;

    buffer[0] = 0xCDAB;           //SimPlot packet header. Indicates start of data packet
    buffer[1] = 1*sizeof(int);    //Size of data in bytes. Does not include the header and size fields
    buffer[2] = data1;

    pktSize = 2 + 2 + (1*sizeof(int)); //Header bytes + size field bytes + data

    //IMPORTANT: Change to serial port that is connected to PC
    Serial.write((uint8_t *)buffer, pktSize);
}
```

## APÊNDICE E – UserForm Ensaio de Permeabilidade de Solos

The image shows a software UserForm window titled "Ensaio de Permeabilidade de Solos". The window is divided into three main sections:

- Base de Dados:** Contains a button labeled "Carregar a Base de Dados" and a status indicator that reads "Status | Esperando por Base de Dados".
- Tipo do Experimento:** Features two radio button options: "Carga Constante" and "Carga Variável".
- Dados de Entrada:** Includes four input fields for the following parameters:
  - Comprimento da amostra [cm]:
  - Diametro da amostra [cm]:
  - Altura máxima [cm]:
  - Altura de referência [cm]:

At the bottom of the form is a button labeled "Gerar Resultados".

## APÊNDICE F – Código para processamento de dados

```

Private Sub UserForm_Initialize()

    'Esconde Botões, Labels e TextBox
    UserForm1.TextBox1.Visible = False
    UserForm1.TextBox2.Visible = False
    UserForm1.TextBox3.Visible = False
    UserForm1.TextBox4.Visible = False
    UserForm1.TextBox5.Visible = False

    UserForm1.Comprimento.Visible = False
    UserForm1.Diametro.Visible = False
    UserForm1.Label4.Visible = False
    UserForm1.Label5.Visible = False
    UserForm1.Label6.Visible = False

    UserForm1.GerarR.Visible = False
    UserForm1.Frame3.Visible = False

    UserForm1.Height = 144
    UserForm1.Width = 294

    'Apaga quaisquer dados que estejam salvos
    Sheets("Carga Constante").Select
    [A:E].ClearContents
    [G3:M10800].ClearContents
    [P2:P3].ClearContents
    [P5:P5].ClearContents

    Sheets("Carga Variável").Select
    [A:E].ClearContents
    [G3:O10800].ClearContents
    [R2:R3].ClearContents
    [R5:R5].ClearContents
    [U2:U4].ClearContents

    Sheets("Base de Dados").Select
    [A:E].ClearContents

End Sub

Private Sub CarregarBD_Click()

    'Limpar dados das Planilhas de Cálculo
    Windows("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Activate
    Sheets("Carga Constante").Select
    [A:E].ClearContents

    Sheets("Carga Variável").Select
    [A:E].ClearContents

    'Importar Dados
    'Public Sub ImportarArqTextoGrandes()

    Dim ultimaFila, fila, contador As Long
    Dim linha, NomeArquivo As String
    Dim Ficheiro As String
    Dim S As String, N As Integer, X As Variant
    Dim Linha As String
    Dim Rg As Range
    Dim Delimitador As String
    Dim Vetor

    Delimitador = ","

    Sheets("Base de Dados").Select

    'Deletar base de dados da planilha
    [A:E].ClearContents

    Set Rg = Range("A1")

    'Calcula a última linha da planilha
    Selection.End(xlDown).Select
    ultimaFila = Selection.Row

    'Seleciona a primeira vazia
    Selection.End(xlUp).Select

    'Abre a Cx de Dialogo ABRIR
    ArquivoTxt = Application.GetOpenFilename("Arquivos Texto(*.txt), *.txt")

```

```

'Abre a Cx de Dialogo ABRIR
ArquivoTxt = Application.GetOpenFilename("Arquivos Texto(*.txt), *.txt")

'Se nenhum arquivo for selecionado sai da rotina
If ArquivoTxt = False Or ArquivoTxt = "False" Then Exit Sub

    Ficheiro = ArquivoTxt

    'Abre o arquivo texto selecionado
    Open Ficheiro For Input As #1

    'Variaveis de linhas e colunas
    fila = 1
    contador = 1

'Enquanto o arq texto contiver linhas preenchidas
Do Until EOF(1)
    Line Input #1, Linha

    'Substitui somente o caracter de Tabulação
    X = Split(Linha, Delimitador)

    For N = 0 To UBound(X)
        Rg.Offset(0, N) = X(N)
    Next N

    'Mensagem na barra de status
    Application.StatusBar = "Lendo linha número = " & contador
    Status.Caption = "Status | Carregando linha " & contador
    UserForm1.Repaint

    'Atualiza as Variáveis e coluna e linhas
    fila = fila + 1
    contador = contador + 1

    'Cria nova planilha quando planilha atual estiver cheia
    If fila > ultimaFila Then
        'Aplica formatação na aba atual
        ActiveSheet.Range("A:O").Columns.AutoFit
        ActiveSheet.Range("A1:$O$" & contador - 1).Font.Size = 11

        'Adiciona uma nova Aba
        Worksheets.Add After:=ActiveSheet

        'Reinicia as Variáveis
        fila = 1
        contador = 1

        'Redefine os Ranges
        Set Rg = Range("A1")
        Set Rg = Rg.Offset(0, 0)

        'Força o Reinicio
        GoTo sReiniciar

    End If

    Set Rg = Rg.Offset(1, 0)

sReiniciar:

    Loop

    'Fecha o arquivo Texto
    Close #1

    ActiveSheet.Range("A:O").Columns.AutoFit
    ActiveSheet.Range("A1:$O$" & contador).Font.Size = 11

    'Excluir linhas com valores menores que 42

    Call ExcluirLinhas

    Status.Caption = "Status | Base de Dados OK. Linhas carregadas: " & contador
    UserForm1.Repaint

    UserForm1.Height = 201

End Sub

```

```

Private Sub CargaV_Click()

    If Status.Caption = "Status | Esperando por Base de Dados" Then

        MsgBox ("Por favor, carregue a Base de Dados.")
        CargaV.Value = False

    Else

        'Limpar dados do Outro Experimento
        Windows("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Activate
        Sheets("Carga Constante").Select
        [A:E].ClearContents
        [G3:M10800].ClearContents
        [P2:P3].ClearContents
        [P5:P5].ClearContents

        'Cópia dos Dados para a Planilha Auxiliar
        Sheets("Base de Dados").Select
        Range("A:E").Select
        Selection.Copy

        Sheets("Auxiliar").Select
        Range("A1").Select

        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
            :=False, Transpose:=False
        Application.CutCopyMode = False

        'Função para excluir as leituras do sensor repetidas
        Call ExcluirLinhas2
        Call ExcluirLinhas2
        Call ExcluirLinhas2

        'Cópia da base de dados para a planilha de cálculo
        Range("A:E").Select
        Selection.Copy

        Sheets("Carga Variável").Select
        Range("A1").Select

        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
            :=False, Transpose:=False
        Application.CutCopyMode = False

        'Setar valor de referência para Carga Variável - célula U4
        Call ValorReferencia
        Range("A1").Select

        'Atualizar UserForm
        UserForm1.Frame3.Visible = True
        UserForm1.Frame3.Height = 204

        UserForm1.TextBox1.Value = ""
        UserForm1.TextBox2.Value = ""
        UserForm1.TextBox3.Value = ""
        UserForm1.TextBox4.Value = ""
        UserForm1.TextBox5.Value = ""

        UserForm1.TextBox1.Visible = True
        UserForm1.TextBox2.Visible = True
        UserForm1.TextBox3.Visible = True
        UserForm1.TextBox4.Visible = True
        UserForm1.TextBox5.Visible = True

        UserForm1.Comprimento.Visible = True
        UserForm1.Diametro.Visible = True
        UserForm1.Label4.Visible = True
        Label4.Caption = "Diâmetro do canal [cm]:"
        UserForm1.Label5.Visible = True
        UserForm1.Label6.Visible = True

        UserForm1.GerarR.Visible = True
        UserForm1.GerarR.Top = 162

        UserForm1.Height = 414

    End If

End Sub

```



```

Private Sub CargaC_Click()

    If Status.Caption = "Status | Esperando por Base de Dados" Then

        MsgBox ("Por favor, carregue a Base de Dados.")
        CargaC.Value = False

    Else

        'Limpar dados do Outro Experimento
        Windows("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Activate
        Sheets("Carga Variável").Select
        [A:E].ClearContents
        [G3:O10800].ClearContents
        [R2:R3].ClearContents
        [R5:R5].ClearContents
        [U2:U4].ClearContents

        'Cópia dos Dados para a Planilha de Cálculo
        Sheets("Base de Dados").Select
        Range("A:E").Select
        Selection.Copy

        Sheets("Carga Constante").Select
        Range("A1").Select

        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
            :=False, Transpose:=False

        Application.CutCopyMode = False
        Range("A1").Select

        UserForm1.Frame3.Visible = True
        UserForm1.Frame3.Height = 144

        UserForm1.TextBox1.Value = ""
        UserForm1.TextBox2.Value = ""
        UserForm1.TextBox3.Value = ""
        UserForm1.TextBox4.Value = ""
        UserForm1.TextBox5.Value = ""

        UserForm1.TextBox1.Visible = True
        UserForm1.TextBox2.Visible = True
        UserForm1.TextBox3.Visible = True
        UserForm1.TextBox4.Visible = False
        UserForm1.TextBox5.Visible = False

        UserForm1.Comprimento.Visible = True
        UserForm1.Diametro.Visible = True
        UserForm1.Label4.Visible = True
        Label4.Caption = "Carga hidráulica [cm]:"
        UserForm1.Label5.Visible = False
        UserForm1.Label6.Visible = False

        UserForm1.GerarR.Visible = True
        UserForm1.GerarR.Top = 102

        UserForm1.Height = 354

    End If

End Sub

```

```

Private Sub GerarR_Click()

    Windows("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Activate

    If CargaC.Value = False And CargaV.Value = False Then

        MsgBox ("Selecione o tipo do experimento.")

    End If

    If CargaV.Value = True Then

        Sheets("Carga Variável").Select

        If TextBox1.Value = "" Then
            MsgBox ("Por favor, insira o comprimento da amostra.")
            GoTo Vazei
        Else
            Range("R2") = TextBox1.Value
            If TextBox2.Value = "" Then
                MsgBox ("Por favor, insira o diâmetro da amostra.")
                GoTo Vazei
            Else
                Range("R3") = TextBox2.Value
                If TextBox3.Value = "" Then
                    MsgBox ("Por favor, insira o diâmetro do canal.")
                    GoTo Vazei
                Else
                    Range("R5") = TextBox3.Value
                    If TextBox4.Value = "" Then
                        MsgBox ("Por favor, insira a altura máxima.")
                        GoTo Vazei
                    Else
                        Range("U2") = TextBox4.Value
                        If TextBox5.Value = "" Then
                            MsgBox ("Por favor, insira a altura de referência.")
                            GoTo Vazei
                        Else
                            Range("U3") = TextBox5.Value
                        End If
                    End If
                End If
            End If
        End If
    End If

    End If

    If CargaC.Value = True Then

        Sheets("Carga Constante").Select

        If TextBox1.Value = "" Then
            MsgBox ("Por favor, insira o comprimento da amostra.")
            GoTo Vazei
        Else
            Range("P2") = TextBox1.Value
            If TextBox2.Value = "" Then
                MsgBox ("Por favor, insira o diâmetro da amostra.")
                GoTo Vazei
            Else
                Range("P3") = TextBox2.Value
                If TextBox3.Value = "" Then
                    MsgBox ("Por favor, insira a carga hidráulica.")
                    GoTo Vazei
                Else
                    Range("P5") = TextBox3.Value
                End If
            End If
        End If
    End If

End If

```

```

If TextBox1.Value <> "" And TextBox2.Value <> "" And TextBox3.Value <> "" Then

    If CargaV.Value = True Then

        'Puxar fórmula para as linhas de dados
        Sheets("Carga Variável").Select
        Range("G2:O2").Select
        Selection.AutoFill Destination:=Range("G2:O10800")

    End If

    If CargaC.Value = True Then

        'Puxar fórmula para as linhas de dados
        Sheets("Carga Constante").Select
        Range("G2:M2").Select
        Selection.AutoFill Destination:=Range("G2:M10800")

    End If

End If

.....
'COPIAR DADOS PARA GRAFICOS

'Abrir arquivo Graficos - Permeametro
Workbooks.Open ("C:\Ensaio de Permeabilidade de Solos\Graficos - Permeametro.xlsm")
Windows("Graficos - Permeametro.xlsm").Activate

'Limpar dados existentes e formatar bordas
Sheets("Base de Dados").Select

Range("A1:Z10800").Select
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
With Selection.Interior
    .Pattern = xlNone
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
[A:Z].ClearContents

'Voltar para o Processamento para copiar os dados
Windows("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Activate

If CargaV.Value = True Then

    Workbooks("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Worksheets("Carga Variável").Select

End If

If CargaC.Value = True Then

    Workbooks("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Worksheets("Carga Constante").Select

End If

Range("A1:Z1").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Copy

'Ativa Planilha Graficos para colar os dados
Windows("Graficos - Permeametro.xlsm").Activate
Workbooks("Graficos - Permeametro.xlsm").Worksheets("Base de Dados").Select

Sheets("Base de Dados").Select
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste

Cells.Select
Cells.EntireColumn.AutoFit

Application.CutCopyMode = False
Range("A1").Select

```

```

.....
'criação do gráfico

If CargaC.Value = True Then

Dim LastRow As Long
Dim Rng1 As Range

With ActiveSheet
    LastRow = .Range("H" & .Rows.Count).End(xlUp).Row
    Set Rng1 = .Range("H2:H" & LastRow & ", M2:M" & LastRow)
End With

'Gráfico Estilo XY Scatter
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatter).Select
ActiveChart.SetSourceData Source:=Rng1

'Gráfico em uma nova Planilha
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:="Carga Constante"

'Edição do Gráfico
ActiveChart.ChartTitle.Text = "Ensaio a Carga Constante"
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryCategoryAxisTitleAdjacentToAxis)
ActiveChart.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = "Tempo [s]"
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Tempo [s]"
With Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters(1, 9).ParagraphFormat
    .TextDirection = msoTextDirectionLeftToRight
    .Alignment = msoAlignCenter
End With
With Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters(1, 9).Font
    .BaselineOffset = 0
    .Bold = msoFalse
    .NameComplexScript = "+mn-cs"
    .NameFarEast = "+mn-ea"
    .Fill.Visible = msoTrue
    .Fill.ForeColor.RGB = RGB(89, 89, 89)
    .Fill.Transparency = 0
    .Fill.Solid
    .Size = 10
    .Italic = msoFalse
    .Kerning = 12
    .Name = "+mn-lt"
    .UnderlineStyle = msoNoUnderline
    .Strike = msoNoStrike
End With

ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = _
    ""Coeeficiente de Permeabilidade à 20°C [cm/s]""

End If

```

```

If CargaV.Value = True Then

Dim LastRow1 As Long
Dim Rng2 As Range

With ActiveSheet
    LastRow1 = .Range("K" & .Rows.Count).End(xlUp).Row
    Set Rng2 = .Range("K2:K" & LastRow1 & ", O2:O" & LastRow1)
End With

'Gráfico Estilo XY Scatter
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatter).Select
ActiveChart.SetSourceData Source:=Rng2

'Gráfico em uma nova Planilha
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:="Carga Variável"

'Edição do Gráfico
ActiveChart.ChartTitle.Text = "Ensaio a Carga Variável"
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryCategoryAxisTitleAdjacentToAxis)
ActiveChart.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = "Tempo [s]"
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Tempo [s]"
With Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters(1, 9).ParagraphFormat
    .TextDirection = msoTextDirectionLeftToRight
    .Alignment = msoAlignCenter
End With
With Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters(1, 9).Font
    .BaselineOffset = 0
    .Bold = msoFalse
    .NameComplexScript = "+mn-cs"
    .NameFarEast = "+mn-ea"
    .Fill.Visible = msoTrue
    .Fill.ForeColor.RGB = RGB(89, 89, 89)
    .Fill.Transparency = 0
    .Fill.Solid
    .Size = 10
    .Italic = msoFalse
    .Kerning = 12
    .Name = "+mn-lt"
    .UnderlineStyle = msoNoUnderline
    .Strike = msoNoStrike
End With
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name =
    "=""Coeficiente de Permeabilidade à 20°C [cm/s]""

End If

Unload Me
Workbooks("Processamento de Dados - Permeametro.xlsm").Close False

Vazei:

End Sub

Public Sub ExcluirLinhas()

    Const sColuna = "D"

    Dim lRow As Long
    Dim lLast As Long
    Dim ws As Worksheet

    Sheets("Base de Dados").Select
    Set ws = ActiveSheet

    With ws
        lLast = .Cells(.Rows.Count, sColuna).End(xlUp).Row
        'Considerando uma linha de cabeçalho
        For lRow = lLast To 2 Step -1
            If .Cells(lRow, sColuna) < 42 Then .Rows(lRow).Delete
        Next lRow
    End With

End Sub

```

```

Public Sub ExcluirLinhas2()

    Const sColuna = "D"

    Dim lRow As Long
    Dim lRow2 As Long
    Dim lLast As Long
    Dim ws As Worksheet

    Sheets("Auxiliar").Select
    Set ws = ActiveSheet

    With ws
        lLast = .Cells(.Rows.Count, sColuna).End(xlUp).Row
        'Considerando uma linha de cabeçalho
        For lRow = lLast To 2 Step -1

            lRow2 = lRow - 1

            If .Cells(lRow, sColuna) = .Cells(lRow2, sColuna) Then .Rows(lRow).Delete

        Next lRow
    End With

End Sub

Public Sub ValorReferencia()

    Const sColuna = "D"

    Dim lRow As Long
    Dim lLast As Long
    Dim Aux As Long
    Dim ws As Worksheet

    Sheets("Carga Variável").Select
    Set ws = ActiveSheet

    With ws
        lLast = .Cells(.Rows.Count, sColuna).End(xlUp).Row
        Aux = .Cells(lLast, sColuna)

        'Considerando uma linha de cabeçalho
        For lRow = lLast To 2 Step -1

            If .Cells(lRow, sColuna) < Aux Then

                Aux = .Cells(lRow, sColuna)

            End If

        Next lRow

        Range("U4").Value = Aux

    End With

End Sub

Private Sub Workbook_Open()

    Application.Visible = False
    UserForm1.Show

End Sub

```