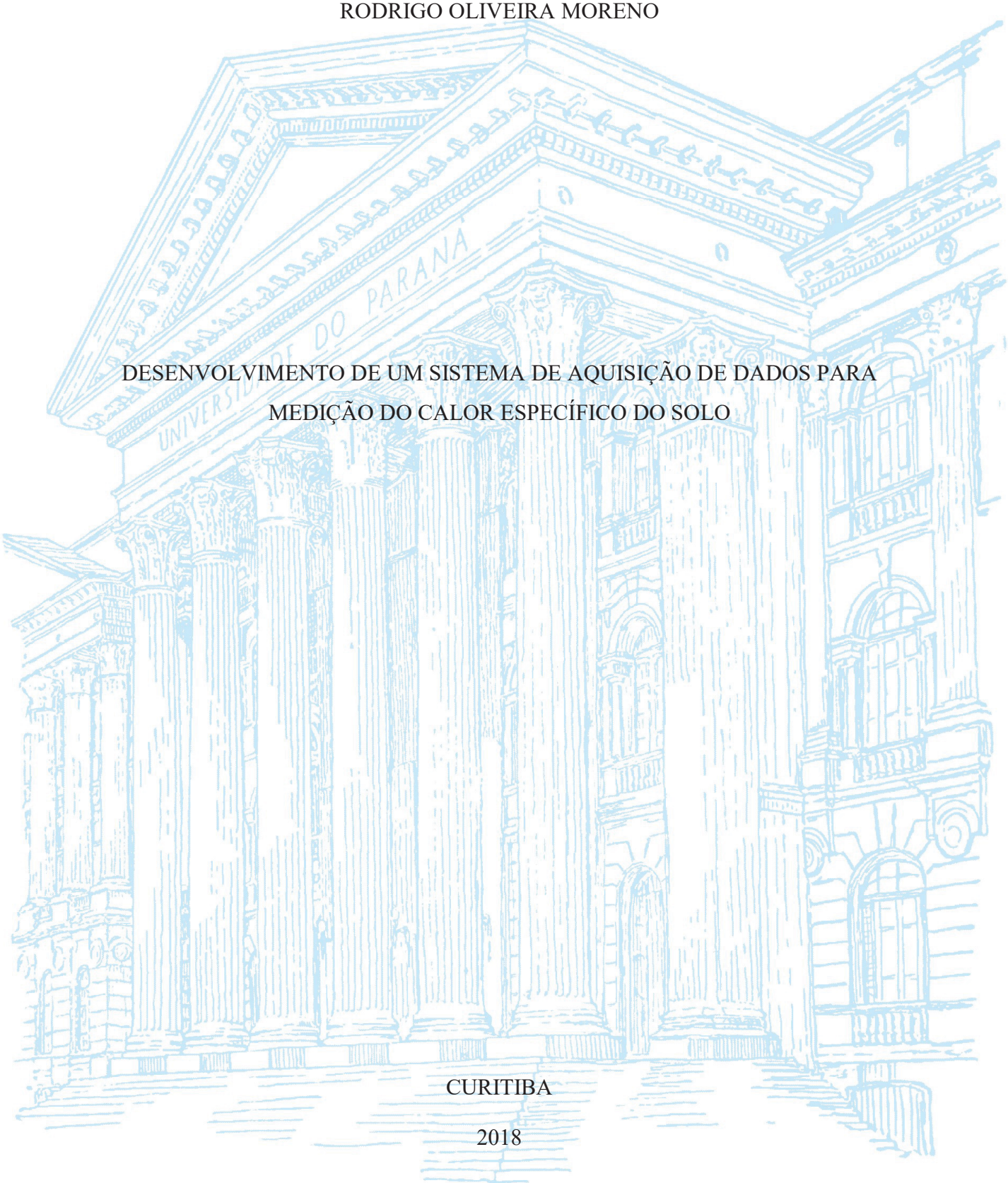
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO OLIVEIRA MORENO



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MEDIÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO DO SOLO

CURITIBA

2018

RODRIGO OLIVEIRA MORENO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MEDIÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO DO SOLO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, setor de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. D.Sc. Robson André Armindo

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR
BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

M843d Moreno, Rodrigo Oliveira
Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para medição do calor específico do solo / Rodrigo Oliveira Moreno. – Curitiba, 2018.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2018.

Orientador: Robson André Armindo.

1. Propriedades térmicas do solo. 2. Calor específico. 3. Microcontroladores. I. Universidade Federal do Paraná. II. Armindo, Robson André. III. Título.

CDD: 536

Bibliotecária: Romilda Santos - CRB-9/1214

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RODRIGO OLIVEIRA MORENO** intitulada: **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para medição do calor específico do solo**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 29 de Maio de 2018.

ROBSON ANDRÉ ARMINDO
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

VITOLDO SWINKA FILHO
Avaliador Externo (UFPR)

MICHAEL MANNICH
Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Robson André Armindo, pelo acompanhamento, orientação e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de crescimento pessoal e pelo apoio recebido.

À Fundação CAPES pelo apoio financeiro recebido, sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Eletrônica da Universidade Federal de Itajubá, Anderson e Nedson, pela ajuda com seus conhecimentos de eletrônica e na construção do equipamento relatada neste trabalho.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Leonildo, estar sempre pronto a cooperar, nunca deixando de ser gentil e simpático.

Aos amigos (e colegas de curso) Kelly, Diogo, Maria Eliza, Laís e João pela companhia, risadas e por tornarem especiais algumas lembranças da nova cidade.

Ao velho amigo Rafael (SOD) pela companhia mesmo à distância e por sua ajuda no brainstorming de algumas partes deste trabalho.

Ao Eliomar, fabricante de Resistências, que foi muito solícito quando entrei em contato, ao contrário de todas outras empresas. Sem a sua modesta ajuda este trabalho seria muito dificultado.

Aos meus pais, por não desistirem de acreditar em mim, mesmo quando eu mesmo não o fazia.

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

RESUMO

Neste trabalho foi realizado o desenvolvimento de um calorímetro automatizado para determinação de calor específico gravimétrico de amostras de solo. Um protótipo de vaso calorimétrico isoperibólico foi construído com material de baixo custo e o sistema de aquisição de dados é baseado em um microcontrolador Arduino e sensores modulares. Foram realizadas determinações de calor específico para três amostras de solo com diferentes umidades volumétricas e para uma amostra de solo com diferentes teores de matéria orgânica. Nos testes com variação de umidade, foram determinados resultados entre 945 e 1876 J kg^{-1} K^{-1} para amostra Franco Argilo Arenosa, entre 736 e 1154 J kg^{-1} K^{-1} para amostra Arenosa e entre 1099 e 2296 J kg^{-1} K^{-1} para amostra Argila Arenosa. Para os testes com variação de teores de matéria orgânica, determinou-se o calor específico apenas para amostra Argila Arenosa, encontrado resultados entre 1105 e 1793 J kg^{-1} K^{-1}. Para verificação de confiabilidade dos resultados gerados, medidas com equipamentos calibrados foram realizadas simultaneamente confirmando os resultados do aparelho desenvolvido.

Palavras-chave: Propriedades térmicas do solo; automação; protótipo.

ABSTRACT

This paper describes the development of an automated calorimeter for measuring the specific heat of soil samples. An isoperibolic calorimeter prototype was developed with low cost material and the data acquisition system is based on an Arduino microcontroller paired with modular sensors. Specific heat determinations were performed for three soil samples varying soil moisture and for one soil sample varying organic matter content. For the tests with moisture variation, results were found between 945 and 1876 J kg^{-1} K^{-1} for Sandy Clay Loam sample, between 736 and 1154 J kg^{-1} K^{-1} for Sandy sample and between 1099 and 2296 J kg^{-1} K^{-1} for Sandy Clay sample. For the tests with organic matter content variations, specific heat determinations were performed only for Sandy Clay sample, finding results between 1105 and 1793 J kg^{-1} K^{-1}. To assess reliability of the results, measurements with calibrated equipment were performed simultaneously, confirming the results of the developed prototype.

Keywords: Soil thermal properties; automation; prototype.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem do vaso calorimétrico (a) e da resistência elétrica (b) desenvolvidos para utilização no equipamento..... 23

Figura 2 – Imagem do Microcontrolador Arduino Uno R3 (Arduino Store, 2017) (a), do módulo para medição de temperatura com sensores termopar (Circuitar, 2017a) (b), do módulo para acionamento por rede elétrica com TRIAC (Circuitar, 2017b) (c) e do termopar Minipa tipo K - MTK 02 (d). 23

Figura 3 – Diagrama com o circuito utilizado no protótipo. 24

Figura 4 – Caixa de ligações elétricas e porta-fusível (a), vista detalhada do *hardware* desenvolvido - microcontrolador e módulos acoplados (b) e bancada com o equipamento desenvolvido (c). 25

Figura 5 – Vaso calorimétrico preenchido com areia de quartzo para os testes durante fase de desenvolvimento. 26

Figura 6 – Monitoramento da temperatura no sistema durante as fases de aquecimento, pré-aquecimento e pós-aquecimento do solo no vaso calorimétrico. 28

Figura 7 – Fluxograma de funcionamento do sistema de aquisição de dados desenvolvido. 29

Figura 8 – Amostras de três tipos de solo utilizadas nas análises com classes texturais (a) arenosa, (b) franco argilo-arenosa e (c) argilo-arenosa. 30

Figura 9 – Imagem da amostra de textura argilo-arenosa utilizada nas análises (a) após primeiro teste sem adição de água (umidade inicial) e após cada adição de água e respectiva homogeneização (b, c, d, e); sub-amostras retiradas para anterior e posterior determinação de umidade gravimétrica (f). 32

Figura 10 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função da umidade volumétrica para amostra de textura franco argilo-arenosa (a) e resultados medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para amostra franco argilo-arenosa (b). 34

Figura 11 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função da umidade volumétrica para amostra de solo de textura arenosa (a) e medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para amostra arenosa (b). 35

Figura 12 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função da umidade volumétrica para amostra de textura argilo-arenosa (a) e medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para amostra argilo-arenosa (b). 36

Figura 13 – Resultados medidos de calor específico volumétrico em função da umidade volumétrica para todas as amostras em conjunto (a) e medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para todas as amostras em conjunto (b). 36

Figura 14 – Resultados de umidade volumétrica medidos antes e logo após as medições do calor específico do solo no sistema desenvolvido. 37

Figura 15 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função dos teores de matéria orgânica adicionada para amostra de textura argilo-arenosa (a) e medidos de calor específico volumétrico em função dos teores de carbono orgânico total para amostra de textura argilo-arenosa (b). 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios aproximados dos calores específicos gravimétricos (c_g) das frações constituintes do solo. 15

Tabela 2 – Estudos com temática de calor específico e suas características. 21

Tabela 3 – Valores do teste preliminar com sílica gel inseridos no algoritmo. 28

Tabela 4 – Caracterização textural das 3 amostras de solos avaliadas. 30

Tabela 5 – Caracterização do carbono orgânico total das 3 amostras de solos avaliadas. 33

Tabela 6 – Classificação do coeficiente de correlação de Pearson (r) segundo Ratner (2009) ... 33

Tabela 7 − Estudos com temática de calor específico e suas características, com inclusão de resultados deste trabalho. 38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14

2.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS 14

2.1.1 Calor Específico 14

2.1.1.1 Método de Estimativa do Calor Específico 15

2.1.1.2 Método de Determinação do Calor Específico 16

2.1.1.2.1 Classificação dos Calorímetros 16

2.1.2 Condutividade Térmica 18

2.1.2.1 Método de Determinação da Condutividade Térmica 18

2.1.3 Difusividade Térmica 18

2.2 MICROCONTROLADORES 18

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20

4. MATERIAL E MÉTODOS 22

4.1 PLANEJAMENTO, CONSTRUÇÃO E TESTE DO EQUIPAMENTO..22

4.1.1 Planejamento e construção do equipamento 22

4.1.2 Teste Do Sistema 25

4.1.3 Software desenvolvido - aquisição de dados, controle do hardware e tratamento de dados 27

4.2 ANÁLISES EM AMOSTRAS DE SOLO 29

4.2.1 Caracterização das amostras 30

4.2.2 Procedimento para determinação do calor específico do solo 30

4.2.3 Determinação de Carbono Orgânico Total 32

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 34

5.1 VARIAÇÃO DE C_v EM FUNÇÃO DA UMIDADE DO SOLO 34

5.2 VARIAÇÃO DE C_v EM FUNÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO 38

6. CONCLUSÕES 40

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS 40

7. REFERÊNCIAS 42

8. APÊNDICE – TABELAS ADICIONAIS 45

8.1 ANÁLISES DE VARIAÇÃO DE UMIDADE 46

8.1.1 Amostra franco argilo-arenosa 46

8.1.2 Amostra arenosa 47

8.1.3 Amostra argilo-arenosa 48

8.2 ANÁLISES DE VARIAÇÃO DE TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA.... 49

9. ANEXO - Documentos com especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes dos componentes utilizados 50

1. INTRODUÇÃO

As propriedades térmicas dos corpos e materiais denotam como eles interagem com a energia térmica (calor). Nas ciências ambientais e na agricultura, essas propriedades são importantes para o estudo das condições térmicas do solo, bem como para os processos de armazenamento e movimento de água, solutos e gases, cruciais para o desenvolvimento de plantas e da biota do solo (Jury e Gardner, 1991 apud Colabone, 2002). Na engenharia, as propriedades térmicas são fundamentais para o estudo de inércia térmica (capacidade de contrariar as variações exteriores de temperatura) e em estudos de gases para turbinas (Straffaci Neto *et al.*, 2015). Adicionalmente, elas podem ser aplicadas em estudos de segurança e viabilidade de implantação de linhas de condução de energia elétrica, gases e petróleo (Oladunjoye e Sanuade, 2012) e também no projeto de sistemas geotérmicos, onde o solo troca energia com o sistema (Vilela, 2004).

Apesar de serem importantes e aplicacáveis em diversas áreas, a mensuração das propriedades térmicas ainda não constitui as análises de rotina do solo (Bristow *et al.*, 1994). Assim, o desenvolvimento de metodologias alternativas com sensores digitais para determinação das propriedades térmicas vem ganhando destaque com a popularização e redução do custo de *hardware*s (Campbell *et al*., 1991; Mori *et al*., 2003).

O calor específico é uma propriedade térmica que expressa a energia específica (energia por unidade de massa) para que a variação de um grau de temperatura ocorra em uma substância (Sandler, 2006). Valores entre 685 J kg^{-1} K^{-1} (solo franco siltoso de Fairbanks, Alaska - Kersten, 1949) e 1630 J kg^{-1} K^{-1} (solo dos arredores do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - Vilela, 2004) são apresentados na literatura e frequentemente utilizados na modelagem do balanço energético de ecossistemas. Entretanto, diversos fatores como composição das partículas sólidas minerais e orgânicas, estrutura, umidade, uso e manejo do solo podem alterar a constante *c* desse meio poroso (Prevedello e Armindo, 2015).

A automatização da medida do calor específico do solo surge como uma solução viável e relevante, otimizando o tempo, a precisão e a exatidão das medidas. Nesse processo, transdutores que convertem as grandezas físicas em elétricas são utilizados, sendo essas grandezas elétricas tratadas por microcontroladores com recursos para aquisição de dados e automatização de medidas (Arduino, 2017b).

Visando o desenvolvimento de novas metodologias para mensuração de propriedades térmicas e, uma vez que o calor específico é uma propriedade de destaque para o estudo do comportamento térmico do solo, objetivou-se neste trabalho o desenvolvimento de um calorímetro automatizado e um sistema de aquisição de dados para determinação dessa propriedade. Adicionalmente, investigou-se a hipótese da variação dos valores do calor específico do solo em função da adição de umidade e matéria orgânica em diferentes texturas de solo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS

A descrição das propriedades térmicas do solo decorre de duas capacidades básicas do solo: a de transmissão e de retenção de calor. Assim, três propriedades térmicas do solo, relacionadas com as duas capacidades, são descritas a seguir: condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica.

2.1.1 Calor Específico

Ao fornecer em temperatura ambiente uma quantidade de calor (energia térmica) a algum material líquido ou sólido de massa conhecida, há um aumento de temperatura. Esse aumento é proporcional à energia fornecida, à massa do material e também depende da natureza do material analisado. Assim, de acordo com Young e Freedman (2008) pode dizer-se que:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \,, \tag{1}$$

em que Q é a energia térmica cedida ao material (J), m é a massa de material utilizada (kg), c é o calor específico do material analisado (J kg^{-1} K^{-1}) e ΔT a variação de temperatura ocasionada pela adição de energia térmica (K).

Assim, o calor específico é expresso como a constante de proporcionalidade que representa a quantidade de energia térmica (calor) necessária para que certa massa ou volume de solo aumente sua temperatura em 1 Kelvin (Prevedello e Armindo, 2015). Quando correspondente a energia para que uma massa aumente sua temperatura, é chamado de calor específico gravimétrico (c_g) e sua unidade padrão no Sistema Internacional é J kg^{-1} K^{-1}; quando correspondente ao volume, é denominado calor específico volumétrico (c_v) e a unidade utilizada é J m^{-3} K^{-1}.

No solo, por ser um material poroso, o calor específico varia com a umidade, com os componentes da fase sólida e com a quantidade de ar no solo (Kersten, 1949). Por fim, c tem uma relação linear com a temperatura do solo, dado que c aumenta com o aumento da temperatura (Kersten, 1949; Duarte, 2004 e Damfeu *et al.,* 2016). Incrementos de aproximadamente 11% no calor específico para aumentos de 56 K de temperatura foram encontrados por Kersten (1949).

2.1.1.1 Método de Estimativa do Calor Específico

Sabendo-se que o solo pode ser representado por um material poroso trifásico (sólida, líquida e gasosa) e que c é influenciado pelas frações gravimétricas dessas fases (Prevedello e Armindo, 2015; DeVries e van Wijk, 1963), tem-se que

$$c_g = c_{gm} f_{gm} + c_{go} f_{go} + c_{gag} f_{gag} + c_{gar} f_{gar}, \quad (2)$$

em que c_g é o calor específico gravimétrico do solo (J kg^{-1} K^{-1}), c_{gm}, c_{go}, c_{gag} e c_{gar} são, respectivamente, os calores específicos gravimétricos da matéria mineral, da matéria orgânica, da água e do ar do solo (J kg^{-1} K^{-1}); f_{gm}, f_{go}, f_{gag} e f_{gar} são, respectivamente, as frações gravimétricas da matéria mineral, da matéria orgânica, da água e do ar do solo (kg kg^{-1}). Na Tabela 1 são apresentados os valores médios aproximados de c_g para as frações do solo.

Tabela 1 – Valores médios aproximados dos calores específicos gravimétricos (c_g) das frações constituintes do solo.

Fração do solo	c_g (J kg^{-1} K^{-1})
Mineral	712
Orgânica	1926
Água	4186
Ar	1005

Fonte: Adaptado de Vilela (2004) e Prevedello e Armindo (2015)

Caso a avaliação do calor específico volumétrico do solo seja almejada, a eq. (2) pode ser transformada em

$$c_{v(solo)} = c_{gm} f_{vm} \rho_{pm} + c_{go} f_{vo} \rho_{po} + c_{gag} f_{vag} \rho_{ag} + c_{gar} f_{\mathrm{var}} \rho_{ar}, \quad (3)$$

em que c_v é o calor específico volumétrico do solo (J m^{-3} K^{-1}), ρ_{pm}, ρ_{po} ρ_{ag} e ρ_{ar} são, respectivamente, os as massas específicas das partículas minerais, das partículas orgânicas, da água e do ar do solo (kg m^{-3}); e f_{vm}, f_{vo}, f_{ag} e f_{ar} são, respectivamente, os as frações volumétricas das partículas minerais, das partículas orgânicas, da água e do ar do solo (m^3 m^{-3}).

Em termos práticos, a última parcela das equações (2) e (3) são desprezadas, já que a fração gravimétrica do ar no solo é ínfima (seu valor tende a zero quando comparado aos outros componentes na eq. (1)), assim como a massa específica do ar quando comparada a de partículas minerais e da água ($\rho_{ar} \approx 1{,}3$ kg m^{-3}; $\rho_{ag} \approx 1000$ kg m^{-3} e $\rho_{pm} \approx 2650$ kg m^{-3}). Aplicando-se os valores da Tabela 1 na eq. (3), obtém-se uma forma alternativa para estimar c_v por

$$c_{v(solo)} \approx 1,89 f_{vm} + 2,7 f_{vo} + 4,19 f_{vag}. \quad (4)$$

em que c_v é o calor específico volumétrico do solo (MJ m^{-3} K^{-1}) e f_{vm} , f_{vo} , f_{ag} e f_{ar} são, respectivamente, os as frações volumétricas das partículas minerais, das partículas orgânicas, da água e do ar do solo (m^3 m^{-3}).

Opcionalmente, o calor específico do solo pode também ser estimado por meio de uma função de pedotransferência inserindo-se dados de fração granulométrica do solo (Mori *et al.*, 2003). Indiretamente, *c* pode ser obtido pelo método da fonte linear transiente, como citado por Campbell *et al.* (1991) e Bristow *et al.* (1994), relacionando-se as medições de difusividade e condutividade térmica.

2.1.1.2 Método de Determinação do Calor Específico

A mensuração do calor específico é geralmente realizada com aparelhos denominados calorímetros. Calorímetros são, numa definição simplista, aparelhos que medem variação de energia em situações onde há variação de temperatura (Ciampi, 1992; Simoni e Jorge, 1990). Já numa definição mais ampla, como a descrita por Silva (1994), calorímetros são instrumentos utilizados na medição do fluxo de calor envolvido na mudança de estado em um sistema, onde tal mudança pode envolver temperatura, pressão, composição, fase ou qualquer propriedade associada a trocas de calor. Dada tal variedade, Ciampi (1992) relata a existência de grande variedade de calorímetros. Esses equipamentos são frequentemente desenvolvidos e adequados por pesquisadores ao propósito de estudo, considerando a disponibilidade do equipamento e a qualificação de pessoal.

2.1.1.2.1 Classificação dos Calorímetros

Os calorímetros podem ser classificados de diversas maneiras, como cita Silva (1994), sendo as mais utilizadas as classificações quanto à propriedade característica ou função do calorímetro (microcalorímetro, calorímetro de fluxo, calorímetro de combustão, entre outros) e quanto à propriedade física constante na utilização (calorímetros exploratórios diferenciais, adiabáticos, isotérmicos, isoperibol). Uma vez que o primeiro sistema de classificação tem inúmeras possibilidades intrínsecas a cada aplicação, aqui descrevem-se a seguir apenas os critérios da segunda classificação. Silva (1994) ressalta que nessa classificação, os termos adiabático e isotérmico são utilizados para idealizar o funcionamento do equipamento e que

não são usados em perfeito acordo com as teorias termodinâmicas, devido a impossibilidade de conseguir na prática tais condições.

Nos calorímetros adiabáticos idealmente não há trocas de calor com a vizinhança do sistema, independentemente de reações/transformações que ocorram no interior do equipamento. Assim, eles são projetados para que haja grande resistência térmica entre a vizinhança e o calorímetro, utilizando o melhor isolamento possível. Ademais, há o controle de temperatura da vizinhança a fim de que ela seja sempre igual a do calorímetro, contribuindo assim para que as fugas tendam a zero.

Já nos calorímetros isotérmicos, a temperatura no calorímetro é mantida constante ao longo do experimento. Deste modo, em um experimento ideal, a resistência térmica da vizinhança deve ser nula e sua capacidade calorífica infinita. Utiliza-se frequentemente uma mudança de fase para manter a temperatura constante (apesar da troca de energia no sistema). Como exemplo, utiliza-se no calorímetro de gelo a variação de volume de gelo/água como medida da quantidade de energia transferida no sistema. Em outros métodos, pode-se ter a utilização de arrefecimento (por efeito de Peltier) ou aquecimento (por efeito Joule) para compensar flutuações da temperatura nos processos.

Os calorímetros exploratórios diferenciais, também comumente denotados pela sigla DSC (*Differential Scanning Calorimeter*), são projetados para que a temperatura das vizinhanças do sistema calorimétrico seja mantida constante. O sistema propriamente dito é composto por 2 células idênticas de aquecimento, sendo uma para a amostra e outra para a referência. Ambas são aquecidas a taxas controladas por meio de resistências elétricas individuais, assim o calor específico é obtido com base na diferença de energia fornecida às duas células.

Por fim, os calorímetros isoperibólicos são aqueles em que a temperatura das vizinhanças é mantida constante ainda que haja mudanças na temperatura no interior do sistema calorimétrico. Tenta-se, no entanto, fazer com que a diferença seja a menor possível para diminuir a perda de energia no sistema. As trocas de calor entre o sistema e o meio existem, mas são quantificáveis e proporcionais à diferença de temperatura entre eles. No presente estudo, o protótipo desenvolvido se encaixa nesta categoria de calorímetro, por ser construído objetivando o melhor isolamento térmico possível do sistema, mesmo sabendo das perdas de energia térmica do sistema para a vizinhança.

2.1.2 Condutividade Térmica

A condutividade térmica (*K*) representa a quantidade de energia que um solo é capaz de conduzir à uma certa distância, dado que há uma diferença de temperatura entre os pontos avaliados, sendo a unidade padrão no sistema internacional J m^{-1} s^{-1} K^{-1} , W m^{-1} K^{-1} ou ainda kg m s^{-3} K^{-1} (Prevedello e Armindo, 2015; Young e Freedman, 2008).

2.1.2.1 Método de Determinação da Condutividade Térmica

Como discutido por Souza *et al.* (1999), a determinação da condutividade térmica geralmente é feita em experimentos de laboratório, sendo o método da fonte linear transiente o mais comumente utilizado. Nele, a equação de transferência de calor é utilizada para calcular *K*. Assim, segundo Colabone (2002), mantendo-se uma transmissão de fluxo de calor constante e conhecido com uma fonte, medindo-se a variação de temperatura próximo à fonte e, valendo-se da inclinação da curva de temperatura em função do logaritmo do tempo, determina-se a condutividade térmica *K*.

Determinações realizadas em campo geram maiores valores de *K* do que os obtidos com a técnica padrão uma vez que os materiais porosos têm sua condutividade térmica afetada pela umidade (Tarara e Ham, 1997; Campbell *et al.*, 1991).

2.1.3 Difusividade Térmica

Além das propriedades térmicas do solo *c* e *K*, há ainda outra que as relaciona, denominada difusividade térmica (*D*). Como citado por Duarte (2004), a difusividade pode ser obtida por meio das seguintes relações

$$D = \frac{K}{c_v} = \frac{K}{c_g \ \rho_{su}} \ , \tag{5}$$

em que *K* é a condutividade térmica do solo (J s^{-1} m^{-1} K^{-1}), c_v é o calor específico volumétrico (J m^{-3} K^{-1}), c_g é o calor específico gravimétrico (J kg^{-1} K^{-1}) e ρ_{su} é a densidade de solo úmido (kg m^{-3}).

2.2 MICROCONTROLADORES

Um problema encontrado na concepção de novos equipamentos e experimentos práticos é a complexidade envolvida no desenvolvimento da infraestrutura do projeto,

demandando experiência com *hardware* do desenvolvedor. No caso de falta de experiência, contorna-se esse problema com a utilização de plataformas de desenvolvimento – *hardwares* projetados para flexibilidade e fácil integração a sistemas computacionais. Entre estas plataformas de desenvolvimento encontra-se a plataforma de computação física Arduino. Nela há um microcontrolador ligado a sensores capaz de medir variáveis no ambiente, realizar cálculos e tomar decisões lógicas no ambiente computacional. Neste caso, entende-se microcontrolador como um microprocessador associado a sistemas de aquisição, comunicação e temporização (Arduino, 2017; Fonseca e Vega, 2011).

Para o gerenciamento da plataforma utiliza-se o *software* disponibilizado pelo fabricante – *Integrated Development Enviroment* (IDE) Arduino, onde se pode programar, compilar, transferir o código para a memória do microcontrolador e visualizar comunicação serial com o dispositivo (funciona como interface). A programação é realizada em uma linguagem baseada em C/C++ e existem diversas bibliotecas nativas, além da possibilidade de acesso à outras desenvolvidas por programadores mais experientes no formato conhecido como "código aberto" (*Open Source*) (Arduino, 2017; Fonseca e Vega, 2011).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizada uma revisão sobre trabalhos relacionados com a medição de calor específico de amostras de solo. Nestes estudos são tratados tanto a determinação como a estimativa desta propriedade térmica.

Entre os primeiros registros encontrados tem-se Kersten (1949), que fez a construção de um calorímetro experimental para solos. Descrevendo-se de uma maneira simples, seu experimento consiste em adicionar uma dada quantidade de solo seco à uma temperatura conhecida dentro de um vaso calorimétrico contendo uma quantidade de água a uma temperatura diferente, também conhecida. Quando ocorria o equilibro térmico, de posse da variação de temperatura ocorrida ao solo se calculava o calor específico. Com o equipamento Kersten fez medições em solos dos EUA e registrou resultados de calor específico entre 735 e 765 J kg^{-1} K^{-1} para solos franco siltosos e entre 685 e 825 J kg^{-1} K^{-1}para solos arenosos.

O estudo de Bristow (1994) utilizou uma sonda DPHP (Dual Probe Heat Pulse) para avaliar em laboratório a precisão do sensor e seu potencial de aplicação. Como citado na seção anterior, este sensor estima o calor específico pelo método da fonte linear transiente, após determinação da condutividade térmica. Entre os resultados, é apresentada a medida de calor específico para areia da praia de Sandfly Creek (Austrália), de 800 J kg^{-1} K^{-1}.

Em outro estudo, Alvalá *et al.* (2002) estudam propriedades térmicas de solos de floresta e pasto em Roraima, abrangendo tanto as estações seca e úmida. Neste estudo, o calor específico é estimado através da equação de Campbell (1985), similar a eq. (3), e foram encontrados resultados na faixa de 1520 a 2230 kJ m^{-3} K^{-1}.

Fazendo uso da mesma equação de estimação utilizada por Alvalá *et al.* (2002), Verhoef *et al.* (1995) e Verhoef (2004) estimaram o calor específico volumétrico de solos sob vinhedos em Tomelloso (Espanha), sob savana em Niamey (Nigéria) e de um terraço do rio Tâmisa (Inglaterra). Foram encontrados resultados entre 1,1 e 1,6 MJ m^{-3} K^{-1} para os solos sob vinhedos, entre 1,2 e 1,7 MJ m^{-3} K^{-1} para os solos sob savana e entre 1,6 e 2,0 MJ m^{-3} K^{-1} para os solos de terraços do Tâmisa.

Similarmente, Oladunjoye e Sanuade (2012) utilizam o equipamento KD2 Pro, que também é baseado no método da fonte linear transiente, para avaliar as propriedades térmicas de dez amostras de solos ao redor da usina Olorunsogo no Sudoeste da Nigéria. Entre os

resultados, apresentam-se as medidas de calor específico com valores entre 1,152 e 3,361 MJ m^{-3} K^{-1}.

Também pode ser relacionado o estudo de Vilela (2004), que investigou propriedades térmicas do solo ao redor do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, visando determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica em baixa profundidade. Utilizando um calorímetro construído experimentalmente, o autor encontrou resultados entre 1615 e 1635 J kg^{-1} K^{-1}.

Por fim, relaciona-se o estudo Damfeu *et al*. (2016), que busca avaliar as propriedades térmicas de solos de Camarões para estimar efusividade térmica visando aplicação em construção civil. Para a determinação do calor específico, o estudo utiliza um calorímetro diferencial (DSC), encontrando resultados de 768 J kg^{-1} K^{-1} para areia do rio Sanaga, 847 J kg^{-1} K^{-1} para solos lateríticos e entre 760 e 770 J kg^{-1} K^{-1} para pó de Pouzzolan.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo de valores de *c* dos solos encontradas nos estudos citados. Em alguns estudos a análise de mais de um tipo de solo foi realizada observando-se a determinação de *c* em três deles bem como a estimativa em cinco estudos. Uma vez que a maioria dos estudos apenas estima essa propriedade e que, dos estudos de determinação, nenhum realiza procedimento automatizado, surge a oportunidade de desenvolvimento de um instrumento que realize a determinação automatizada do calor específico. Assim, neste trabalho apresenta-se a proposta de uma solução de baixo custo e que permita a determinação de *c* valendo-se de sensores eletrônicos e microcontrolador.

Tabela 2 – Resumo de resultados do calor específico do solo para alguns estudos.

Estudo	Determinação ou Estimativa	Classe textural	c_v ou c_g	c_g (J kg^{-1} K^{-1}) e c_v (MJ m^{-3} K^{-1})
Kersten (1949)	determinação	franco siltosa	c_g	735 – 765
		arenosa	c_g	685 – 825
Vilela (2004)	determinação	-	c_g	1615–1635
Damfeu *et al.* (2016)	determinação	arenosa	c_g	768
		franco arenosa	c_g	847
Bristow (1994)	estimativa	arenosa	c_g	800
Alvalá *et al.* (2002)	estimativa	areia franca	c_v	1,5 – 2,2
Verhoeff *et al.* (1995)	estimativa	areia franca	c_v	1,2 – 1,7
		franco siltosa	c_v	1,1 – 1,6
Verhoeff (2002)	estimativa	franco arenosa	c_v	1,6 – 2,0
Oladunjoye e Sanuade (2012)	estimativa	franco arenosa	c_v	1,1 – 3,3

4. MATERIAL E MÉTODOS

Nesse capitulo é apresentado o desenvolvimento do protótipo do calorímetro e do sistema de aquisição de dados. O desenvolvimento foi realizado em duas fases, sendo a primeira de planejamento, construção e teste do equipamento e a segunda de análises de amostras.

4.1 PLANEJAMENTO, CONSTRUÇÃO E TESTE DO EQUIPAMENTO

4.1.1 Planejamento e construção do equipamento

Na etapa de planejamento, definiu-se o modo de operação do equipamento a fim de que fossem selecionados os componentes necessários. Optou-se pelo calorímetro isoperibólico, sendo usados em sua construção materiais isolantes térmicos no vaso calorimétrico e uma resistência de baixa potência, com o objetivo de realizar um pequeno aquecimento (por consequência fazendo com que a diferença de temperatura entre o interior e o exterior do calorímetro fosse pequena, diminuindo perda de energia).

Considera-se, no funcionamento do sistema, um regime de pressão constante (atmosférica) e com variações de temperatura suficientemente grandes para não ocasionar transição de fase na amostra. Segundo Silva (1994), isso implica que todo o calor envolvido no processo seja refletido em variação de temperatura. Optou-se também pela utilização de tensão alternada fornecida pela rede elétrica como fonte de alimentação do equipamento, uma vez que a energia elétrica pode ser medida com maior precisão e exatidão do que outras formas de energia (Silva, 1994).

O equipamento foi dividido em duas partes: o sistema de aquisição de dados e o vaso calorimétrico (lugar onde é realizado o aquecimento da amostra). Para a construção do vaso calorimétrico foi utilizado um recipiente de poliuretano com 11,1 cm de altura e 9,5 cm de diâmetro, obtendo-se o isolamento térmico da amostra. A tampa foi confeccionada em poliestireno devido a necessidade de inserção dos sensores de medida de temperatura (Figura 1a). O material utilizado visa diminuir a perda de calor para o ambiente. Para a dissipação de energia térmica na amostra foi construída uma resistência elétrica do tipo coleira de 35 W de potência, sendo inserida diretamente na amostra de solo (Figura 1b).

O funcionamento do calorímetro ocorre com a inserção de uma determinada amostra no vaso calorimétrico, na qual é aplicada uma quantidade de energia (por efeito Joule – transformação de energia elétrica em térmica) e, devido às pressuposições supracitadas, esse efeito causa apenas uma elevação na temperatura da amostra.



Figura 1 – Imagem do vaso calorimétrico (a) e da resistência elétrica (b) desenvolvidos para utilização no equipamento.

O sistema de aquisição de dados é composto por um microcontrolador Arduino UNO R3 e módulos que realizam aquisição de dados. O sistema utiliza módulos de leitura de temperatura em sensores termopar, de leitura de tensão, corrente e de controle de TRIAC (chave eletrônica para permitir ou não a passagem de corrente elétrica no resistor de aquecimento). Além dos componentes descritos, utilizou-se um fusível de 0,5 A para proteção contra sobrecarga no sistema e um sensor Termopar tipo K MINIPA MTK02. Na Figura 2 são apresentados o microcontrolador utilizado, bem como o sensor Termopar e os módulos ligados ao Arduino.

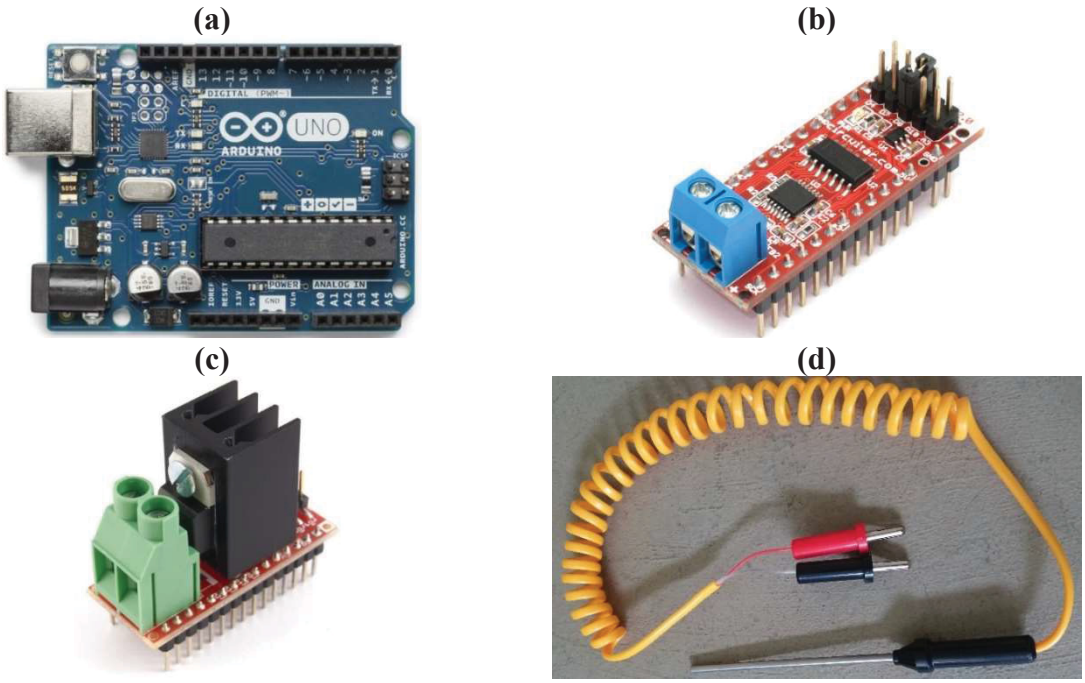


Figura 2 – Imagem do Microcontrolador Arduino Uno R3 (Arduino Store, 2017) (a), do módulo para medição de temperatura com sensores termopar (Circuitar, 2017a) (b), do módulo para acionamento por rede elétrica com TRIAC (Circuitar, 2017b) (c) e do termopar Minipa tipo K - MTK 02 (d).

Visando verificar a consistência das medidas de temperatura, tensão e corrente realizadas pelos módulos do Arduino são utilizados em conjunto com o sistema um termômetro digital tipo Espeto Simpla TE07 e dois multímetros *True RMS*: um deles Amprobe 34XR-A e o outro Fluke 115, os quais passaram por processo de calibração em laboratórios certificados.

Com o transcorrer do tempo, o fornecimento de informações sobre sensores e módulos utilizados pode ser cessado pelos fabricantes. Assim, no Anexo estão disponibilizadas as especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes para cada componente utilizado. Com elas, tornou-se possível a identificação das características dos sensores e módulos utilizados facilitando futuramente a substituição por outros equivalentes, caso seja necessária. São apresentados também no Anexo os certificados de calibração dos multímetros *True RMS* e do termômetro digital.

O microcontrolador Arduino e os módulos acoplados foram montados em uma caixa de plástico para prototipagem eletrônica, na qual também foram alocadas saídas para os conectores necessários. Dado que os sensores de tensão e corrente precisam estar corretamente dispostos e que também é necessária a conexão direta com a rede elétrica, em uma outra caixa de prototipagem de plástico foram feitas as ligações elétricas visando aumentar a segurança na utilização do protótipo. Assim, na Figura 3 é apresentado um diagrama simplificado com o circuito desenvolvido para o equipamento, detalhando o circuito elétrico utilizado e na Figura 4 as vistas em corte das caixas de prototipagem e o protótipo.

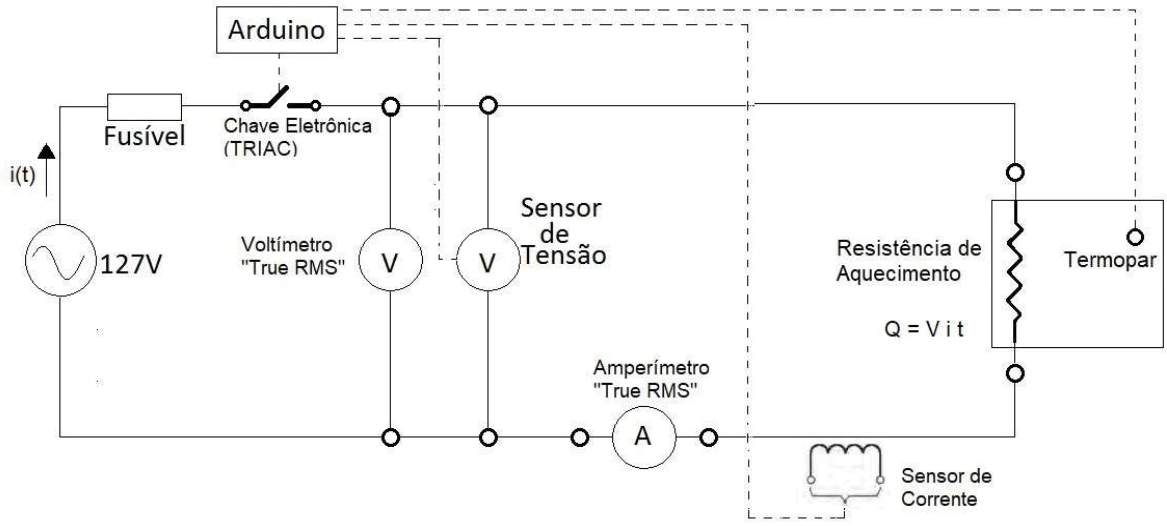


Figura 3 – Diagrama com o circuito utilizado no protótipo.

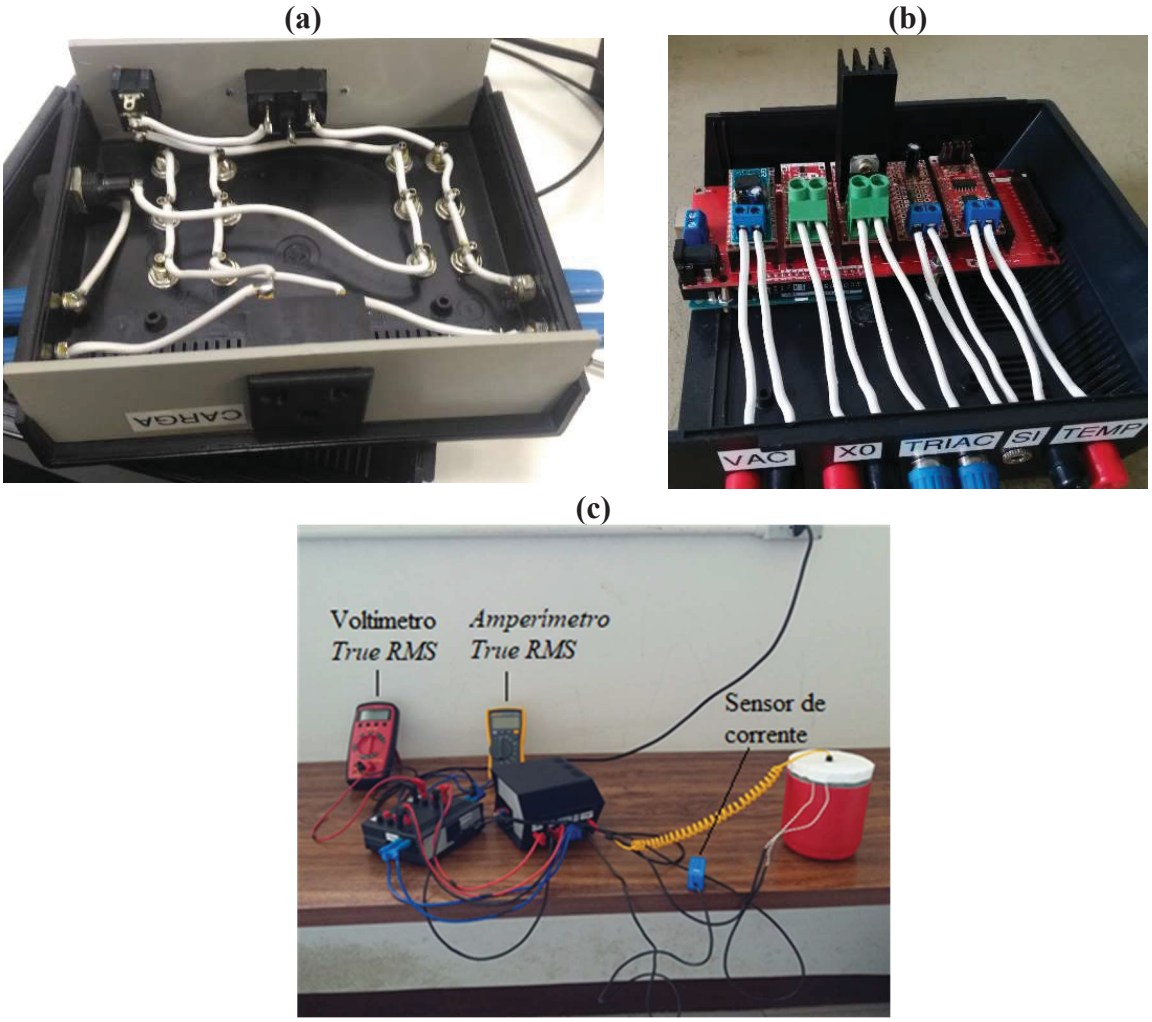


Figura 4 – Caixa de ligações elétricas e porta-fusível (a), vista detalhada do *hardware* desenvolvido - microcontrolador e módulos acoplados (b) e bancada com o equipamento desenvolvido (c).

4.1.2 Teste Do Sistema

Testes iniciais do calorímetro e do sistema de aquisição de dados para determinação do calor específico foram realizados após a construção do protótipo. Nos testes iniciais objetivou-se mensurar o calor específico de uma amostra de areia de quartzo utilizando a eq. (1), sendo os resultados comparados ao valor apresentado por Dempsey *et al.* (2005) – 795 J kg^{-1} K^{-1} (Figura 5).



Figura 5 – Vaso calorimétrico preenchido com areia de quartzo para os testes durante fase de desenvolvimento.

Os resultados preliminares dessa configuração não foram adequados, uma vez que os valores obtidos estavam distantes dos resultados de Dempsey. O material utilizado na construção do protótipo não permitiu perfeito isolamento térmico inferindo-se que as perdas de calor não controladas estariam influenciando os resultados. Assim, um equacionamento que considera uma perda de energia φ para o exterior, até que se atinja a variação de temperatura máxima no interior depois da dissipação de energia, foi aplicado de acordo com Vilela (2004). O autor afirma que apesar da quantidade de energia φ ser pequena, ela constitui fonte de erro sistemático, podendo ser minimizada com medidas relativas de calor específico. Assim, os resultados para uma amostra desejada com os resultados para um padrão conhecido podem ser comparados.

Vilela (2004) discorre que assumindo que o calorímetro é adiabático (não troca energia com o meio exterior) e ao dissipar uma quantidade de energia térmica ΔQ com a resistência elétrica, a equação que guiará a variação de temperatura em seu interior é

$$\Delta Q = (E + m\ c_g)\ \Delta T\ , \tag{6}$$

em que ΔQ é a quantidade de energia térmica dissipada (J), E é a capacidade térmica do calorímetro (J K^{-1}), c_g é o calor específico gravimétrico da amostra (J kg^{-1} K^{-1}), m a massa de amostra utilizada (kg) e ΔT a máxima variação de temperatura atingida no calorímetro depois da dissipação de energia (K).

Porém, como o calorímetro não é perfeitamente adiabático, uma pequena parte da energia dissipada em seu interior para o exterior é perdida e assim, para um calorímetro real adiciona-se uma perda de energia φ à equação anterior, obtendo

$$\Delta Q = (E + m\ c_g)\ \Delta T + \varphi\,, \tag{7}$$

em que φ é a quantidade de energia térmica perdida para o exterior até o instante em que ocorre a máxima variação de temperatura no calorímetro após a dissipação de energia térmica (J).

Aplicando a eq. (7) para uma amostra desejada, denominada pelo índice "*a*", e para um padrão conhecido utilizando, denominado pelo índice "*p*", são obtidas as equações

$$\Delta Q_a = (E + m_a\ c_{ga})\ \Delta T_a + \varphi_a\,, \tag{8}$$

$$\Delta Q_p = (E + m_p\ c_{gp})\ \Delta T_p + \varphi_p\,. \tag{9}$$

Evidenciando-se a capacidade térmica do calorímetro e tomando-se a razão entre as eqs. (8) e (9), tem-se

$$c_{ga} = \frac{m_p}{m_a} c_{gp} + \frac{1}{m_a}\left(\frac{\Delta Q_a}{\Delta T_a} - \frac{\Delta Q_p}{\Delta T_p} + \frac{\varphi_a}{\Delta T_a} - \frac{\varphi_p}{\Delta T_p}\right). \tag{10}$$

Se as perdas φ forem pequenas e as variações de temperatura ΔT forem próximas, simplifica-se a eq. (10) com boa aproximação na forma

$$c_{ga} = \frac{m_p}{m_a} c_{gp} + \frac{1}{m_a}\left(\frac{\Delta Q_a}{\Delta T_a} - \frac{\Delta Q_p}{\Delta T_p}\right), \tag{11}$$

em que ΔQ é a quantidade de energia térmica dissipada (J), c_g é o calor específico gravimétrico (J kg^{-1} K^{-1}), m a massa de amostra utilizada (kg), ΔT a máxima variação de temperatura atingida no calorímetro após a dissipação de energia (K). O índice "*a*" corresponde a uma amostra desejada e "*p*" a um padrão conhecido.

Assim, o cálculo da capacidade térmica do calorímetro é dispensado e os erros decorrentes de perdas de energia para o exterior são reduzidos (Vilela, 2004).

4.1.3 Software desenvolvido - aquisição de dados, controle do hardware e tratamento de dados

O sistema precisa de um *software* que gerencie o controle do *hardware*, a leitura de variáveis no ambiente, as tomadas de decisão e os cálculos necessários. Como previamente mencionado na seção de Fundamentação Teórica, o gerenciamento da plataforma Arduino é feito por *software* desenvolvido na IDE Arduino.

O sistema utiliza a eq. (11) para determinação do calor específico gravimétrico. Para isso, valores de energia dissipada, máxima variação de temperatura e massa da amostra utilizada

são necessários, além dos mesmos valores para um teste previamente realizado com uma amostra padrão e seu calor específico.

Para que o microcontrolador Arduino faça a determinação do calor específico de qualquer amostra desejada, dados de um experimento realizado com sílica gel como padrão foram inseridos no algoritmo. Na Tabela 3 são apresentados o valor do calor específico da sílica gel utilizada (Gurgel e Klüppel, 1996) e os valores das medidas registradas em um teste com a mesma.

Tabela 3 – Valores do teste preliminar com sílica gel inseridos no algoritmo.

$c_{g\ \text{sílica}}$ (J kg^{-1} K^{-1})	Massa (kg)	ΔT (K)	ΔQ (J)
1074	0,375	3,31	2130

A temperatura no calorímetro é monitorada por 4 minutos ao iniciar o procedimento, sendo em seguida realizada a liberação da energia elétrica para a resistência de aquecimento. Depois de 1 minuto, o microcontrolador desliga o TRIAC, interrompendo a corrente elétrica e monitorando por 20 minutos a temperatura até que seja atingido o equilíbrio térmico do sistema. Na Figura 6 é ilustrado o processo de monitoramento da temperatura no sistema e na Figura 7 um fluxograma do sequenciamento realizado pelo algoritmo, detalhando os comandos do microcontrolador e as variáveis.

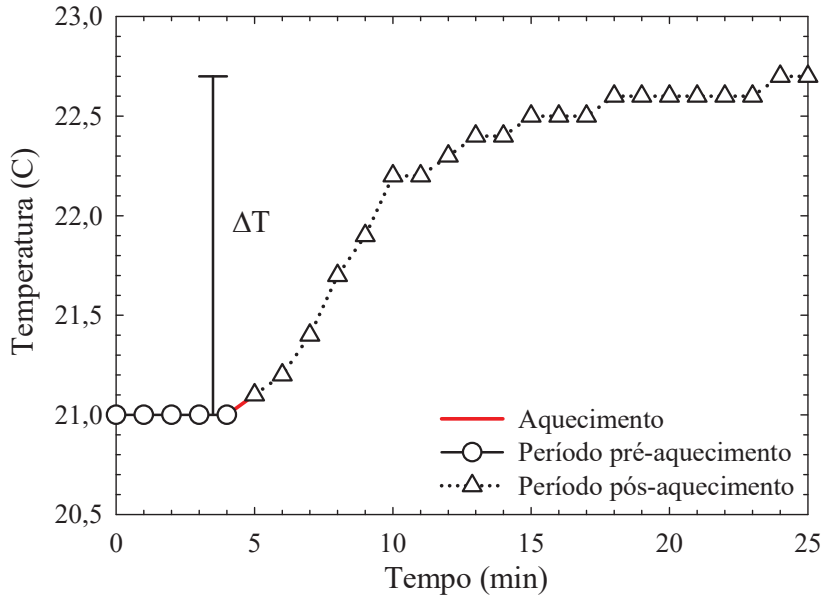


Figura 6 – Monitoramento da temperatura no sistema durante as fases de aquecimento, pré-aquecimento e pós-aquecimento do solo no vaso calorimétrico.

Por se tratar de um equipamento em desenvolvimento, leituras de temperatura em um termômetro digital e de tensão e corrente no circuito em multímetros *True RMS* foram verificadas e registradas em cada teste para verificação das medidas do Arduino.

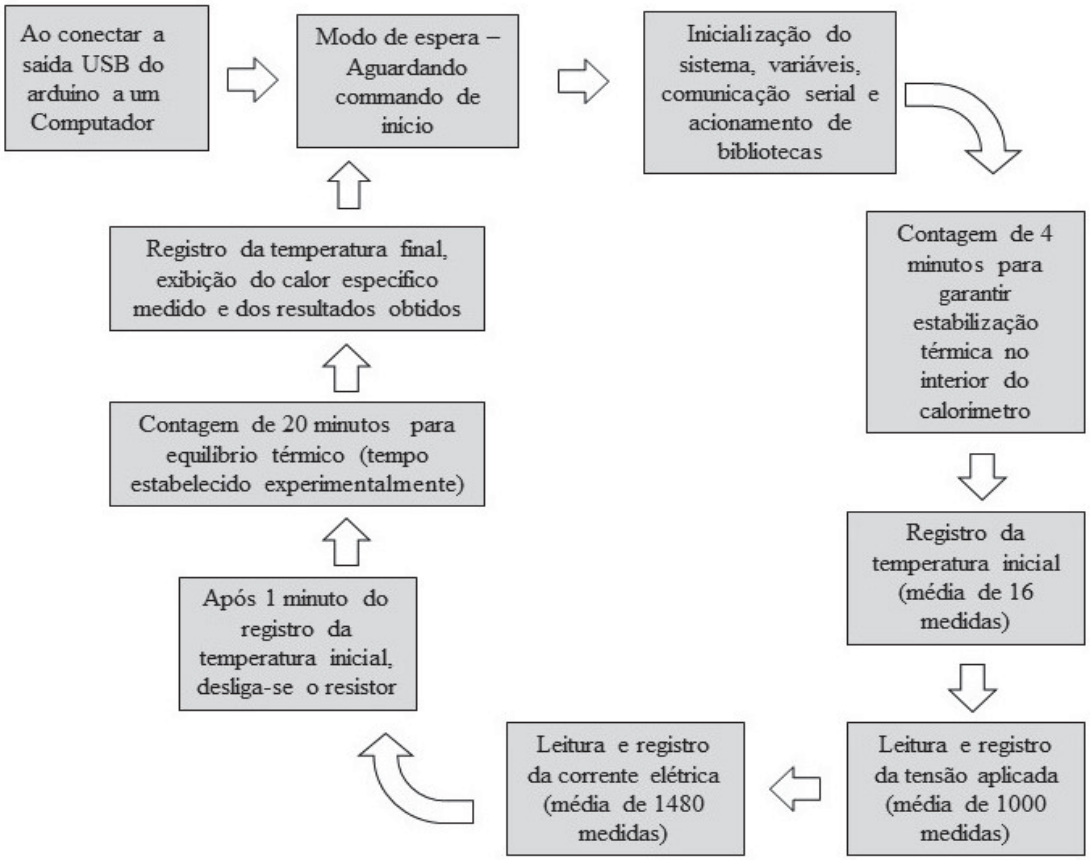


Figura 7 – Fluxograma de funcionamento do sistema de aquisição de dados desenvolvido.

4.2 ANÁLISES EM AMOSTRAS DE SOLO

Amostras deformadas de 3 tipos de solos que haviam passado previamente por processo de eliminação de matéria orgânica foram utilizadas. Primeiramente foi realizada a caracterização textural das amostras e, em seguida, foram realizados testes do calor específico gravimétrico variando os valores de umidade das 3 amostras.

Após os testes anteriores, outro procedimento foi realizado adicionando e misturando-se teores de matéria orgânica (de 0 a 20%) em uma das texturas avaliadas. A matéria orgânica adicionada foi obtida a partir de húmus de minhoca. O carbono orgânico total das amostras foi determinado segundo a metodologia de Quaggio e Van Raij (1979).

4.2.1 Caracterização das amostras

A caracterização textural das amostras de solo foi realizada pelo método do densímetro (Gee e Or, 2002) utilizando 40 g de solo seco ao ar, passados em peneira de 2 mm e então dispersos em 1 L de solução formada de água e agente dispersante (NaOH 1N). As classes texturais dos 3 solos (Figura 8) foram então determinadas a partir do triângulo textural recomendado pelo Departamento Norte Americano de Agricultura (USDA) (Tabela 4).

Tabela 4 – Caracterização textural das 3 amostras de solos avaliadas.

Areia	Silte	Argila	Classe textural
	kg kg^{-1}		
0,588	0,087	0,325	franco argilo-arenosa
0,988	0,012	0,000	arenosa
0,550	0,050	0,400	argilo-arenosa

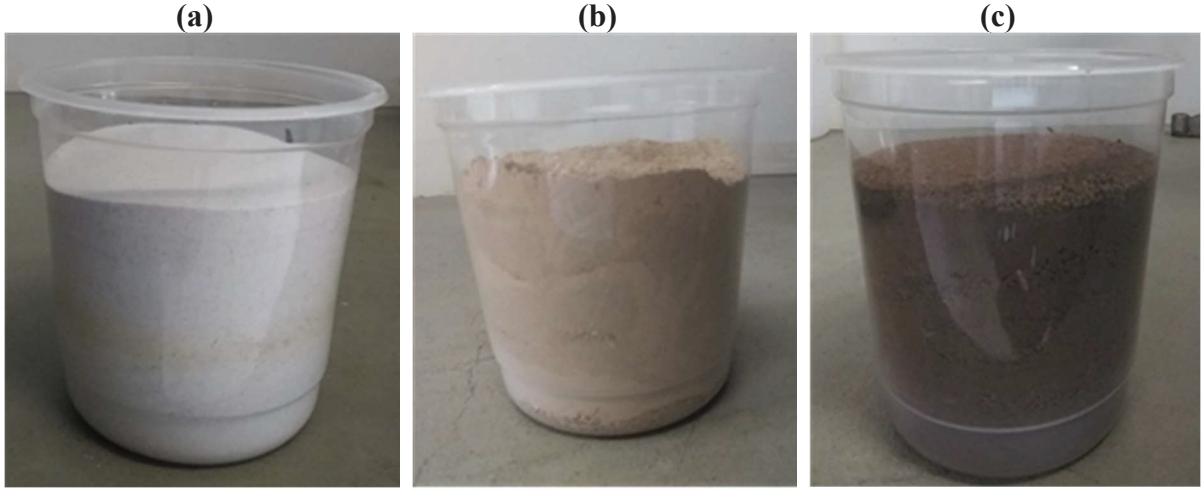


Figura 8 – Amostras de três tipos de solo utilizadas nas análises com classes texturais (a) arenosa, (b) franco argilo-arenosa e (c) argilo-arenosa.

4.2.2 Procedimento para determinação do calor específico do solo

No procedimento de medição do calor específico gravimétrico do solo, a resistência elétrica é inserida no vaso calorimétrico, que por sua vez é preenchido com uma massa conhecida de solo e se dá início ao procedimento descrito na Figura 7. Conhecendo-se a massa de solo inserida no vaso calorimétrico, caracteriza-se a densidade do solo seco (ρ_{ss}) como

$$\rho_{ss} = \frac{m_{ss}}{V_t}, \tag{12}$$

em que m_{ss} é a massa do solo seco (kg) e V_t o volume total de solo utilizado (m^3).

As análises de c_g com variação da umidade foram realizadas incrementando-se teores de água nas amostras de solo de forma homogeneizada desde a umidade inicial (referente a terra fina seca ao ar) até a umidade final de cada teste. Na Figura 9a é apresentada uma amostra de solo na umidade inicial antes dos testes, enquanto nas Figura 9(b, c, d, e) essa amostra de solo é apresentada após as adições dos teores de água e homogeneização. Adicionalmente, para cada análise de *c* foi determinada a densidade do solo úmido (ρ_{su})

$$\rho_{su} = \frac{m_{su}}{V_t}, \tag{13}$$

em que m_{su} é a massa de solo úmido (kg) e V_t é o volume total de solo utilizado (m^3). Também foram determinadas as umidades gravimétrica (U) e volumétrica (θ) das amostras de solo

$$U = \frac{m_a}{m_{ss}}, \tag{14}$$

$$\theta = U \frac{\rho_{ss}}{\rho_a}, \tag{15}$$

em que m_a é a massa de água da amostra (kg), m_{ss} a massa de solo seco da amostra (kg), ρ_{ss} a densidade de solo seco (kg m^{-3}) e ρ_a a massa específica da água (kg m^{-3}).

Sub-amostras foram retiradas das amostras de solo antes da inserção no vaso calorimétrico para medição de *c* e logo após o procedimento de medição. As sub-amostras foram levadas à estufa por 48 h (105 °C) para determinação da umidade gravimétrica (Figura 9f). Assim, a umidade do solo antes e depois da medição foi monitorada a fim de verificar uma possível alteração da umidade durante o procedimento de análise, no qual injeta-se calor na amostra de solo presente no vaso calorimétrico.

Na realização das análises de *c* com adição de matéria orgânica, utilizou-se a amostra argilo arenosa com procedimento similar, trocando-se a adição de água pela adição de matéria orgânica (húmus de minhoca) em teores previamente estipulados em 5, 10 e 20%.

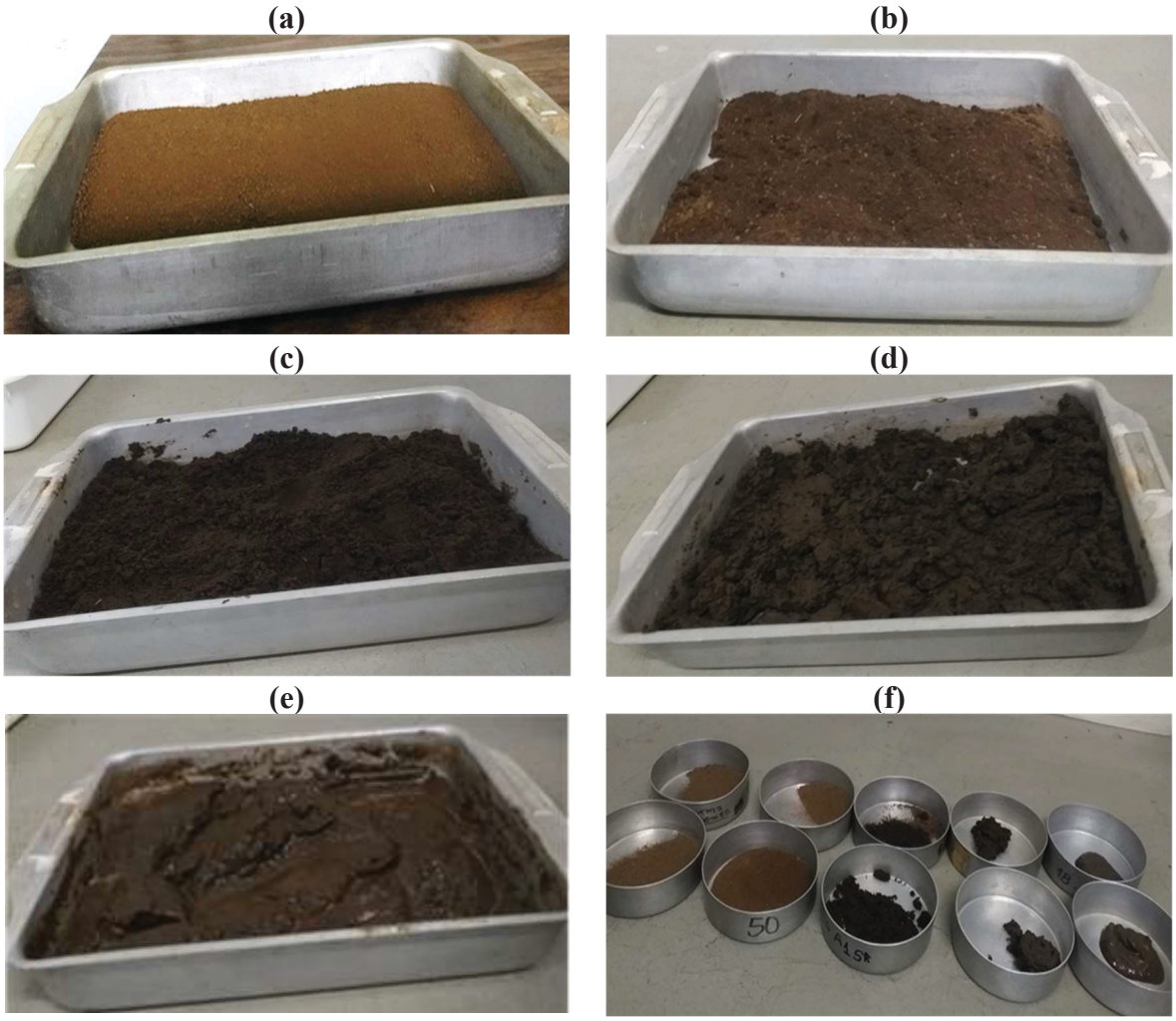


Figura 9 – Imagem da amostra de textura argilo-arenosa utilizada nas análises (a) após primeiro teste sem adição de água (umidade inicial) e após cada adição de água e respectiva homogeneização (b, c, d, e); sub-amostras retiradas para anterior e posterior determinação de umidade gravimétrica (f).

A partir dos valores de c_g e ρ_{su}, o calor específico volumétrico (c_v) foi determinado por

$$c_v = \rho_{su} \cdot c_g , \tag{16}$$

em que c_v é o calor específico volumétrico do solo (J m^{-3} K), ρ_{su} é a densidade de solo úmido da amostra (kg m^{-3}) e c_g é seu calor específico gravimétrico (J kg^{-1} K^{-1}).

4.2.3 Determinação de Carbono Orgânico Total

A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada segundo a metodologia apresentada por Quaggio e Van Raij (1979). Assim, realizou-se a obtenção da concentração de carbono orgânico indiretamente pela determinação de Cr^{3+} formado em reação de oxi-redução com a matéria orgânica (MO).

Nesta metodologia, adiciona-se 1 cm³ de solo a 10 mL de uma solução oxidante de dicromato de sódio e ácido sulfúrico aguardando-se um tempo de 20 min. Em seguida, dilui-se a solução obtida em 100 mL de água aguardando-se um tempo de 24 h. Depois desse período, analisam-se as amostras em espectofotômetro na faixa de 650 nm comparando os resultados com uma curva de calibração elaborada a partir de solos com diferentes teores de matéria orgânica. Assim, a determinação do carbono orgânico total das amostras foi realizada em triplicata (Tabela 5).

Tabela 5 – Caracterização do carbono orgânico total das 3 amostras de solos avaliadas.

M.O. adicionada (%)	1ª repetição	2ª repetição	3ª repetição	Média
	(kg m^{-3})			
5	30,3	30,3	33,8	31,5
10	40,9	48,8	55,5	48,4
20	59,3	67,0	63,1	63,1

Regressões lineares cruzando os valores medidos e estimados de c_v com os de θ, MO e COT foram geradas classificando-as de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson (r) ($r = \sqrt{R^2}$). Segundo Ratner (2009), a correlação de Pearson entre variáveis pode ser classificada em fraca, moderada, forte ou perfeita (Tabela 6). A precisão dos resultados foi avaliada segundo os valores de r, enquanto que a exatidão foi avaliada segundo os valores da raiz do erro médio quadrático (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{i-est} - Y_{i-obs})^2}{n}}, \tag{17}$$

em que $Y_{i\text{-}est}$ é a i-ésima variável estimada, $Y_{i\text{-}obs}$ a i-ésima variável observada e n o número de valores analisados.

Tabela 6 – Classificação do coeficiente de correlação de Pearson (r) segundo Ratner (2009).

Valor de r	Classificação
Entre 0 e 0,3 (ou 0 e −0,3)	Correlação linear fraca
Entre 0,3 e 0,7 (ou −0,3 e −0,7)	Correlação linear moderada
Entre 0,7 e 1 (ou −0,7 e −1)	Correlação linear forte
1 ou −1	Correlação linear perfeita
0	Sem correlação linear

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises de calor específico volumétrico em função da umidade, de teor de matéria orgânica e estimados pela eq. (4). Os cálculos para obtenção dos valores apresentados geraram tabelas extensas, as quais são apresentadas no Apêndice.

5.1 VARIAÇÃO DE c_V EM FUNÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Na Figura 10a são mostrados os valores de c_v em função da umidade volumétrica, que aumentaram linearmente com o incremento de θ para a amostra de textura franco argilo-arenosa. O coeficiente de correlação de Pearson (r=0,8767) indicou forte correlação linear da regressão entre as duas variáveis de acordo com o critério de Ratner (2009), sendo significativa ao P-valor de 5%. Na Figura 10b é apresentada a comparação entre os resultados de c_v medidos para a amostra de solo franco argilo-arenosa com os resultados estimados pela eq. (4), onde houve também forte correlação linear de acordo com Ratner (2009). Apesar do valor do índice RMSE de 0,5182 MJ m^{-3} K^{-1} não denotar alta dispersão nos dados, esse foi o maior valor encontrado dentre as 3 texturas de solo analisadas. Assim, entre 2,0 e 3,0 MJ m^{-3} K^{-1} de valor estimado, pode-se verificar a região onde a estimativa de c_v pela eq.(4) gera maior dispersão em torno da reta 1:1, neste caso para valores de θ a partir de 0,3 m^3 m^{-3}.

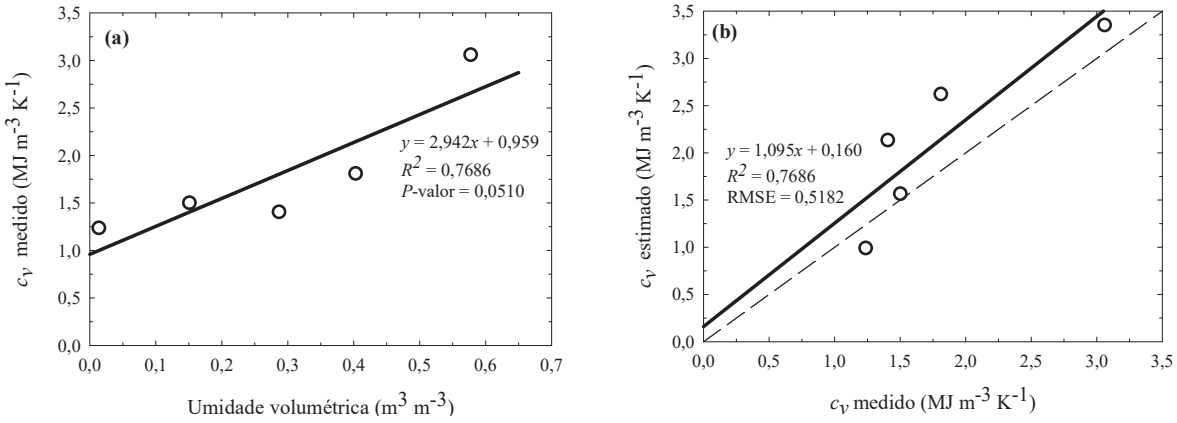


Figura 10 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função da umidade volumétrica para amostra de textura franco argilo-arenosa (a) e resultados medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para amostra franco argilo-arenosa (b).

Os resultados de c_v também aumentaram linearmente de forma significativa (P-valor<0,1%) com o incremento de θ para a amostra arenosa (Figura 11a). O coeficiente de correlação r foi o maior encontrado (r = 0,9945) dentre as 3 texturas analisadas mostrando forte correlação entre c_v e θ (Ratner, 2009). Na Figura 11b é apresentada a comparação dos resultados de c_v medidos com os estimados pela eq. (4) para a amostra de textura arenosa. Houve forte correlação entre valores medidos e estimados (muito próximos da reta 1:1) para c_v < 1,53 MJ m^{-3} K^{-1}, diminuindo também com o aumento dos valores de θ. Encontrou-se para essa amostra um valor de RMSE menor que para a amostra franco argila-arenosa (0,2709 MJ m^{-3} K^{-1}), denotando maior exatidão da eq. (4) na estimativa de c_v para essa classe textural.

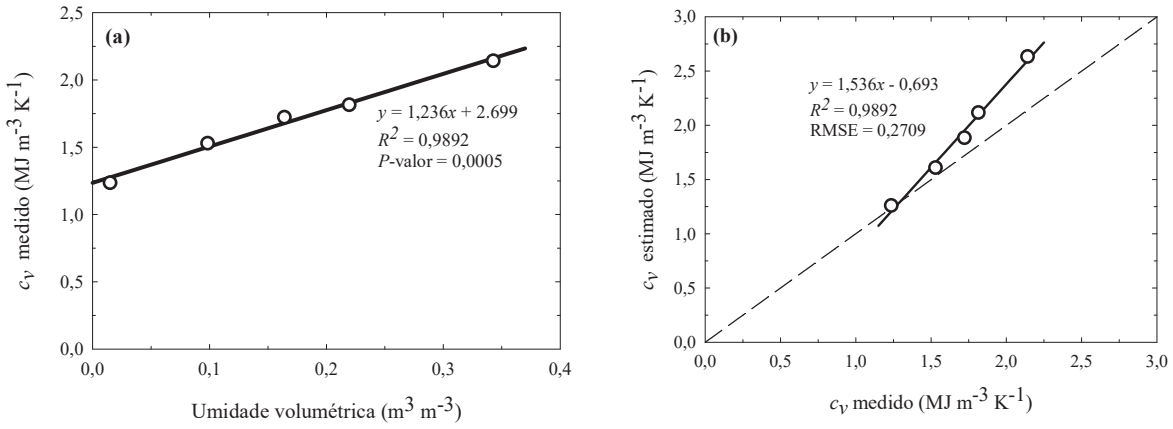


Figura 11 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função da umidade volumétrica para amostra de solo de textura arenosa (a) e medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para amostra arenosa (b).

Semelhantemente, notou-se para a amostra argila arenosa que os valores de c_v aumentaram linearmente com o incremento de θ de forma significativa (P-valor=5%) (Figura 12a). Segundo o critério de Ratner (2009), houve forte correlação r da regressão de c_v em função de θ para a amostra argila arenosa, sendo ligeiramente menor que para a amostra arenosa. Na Figura 12b é mostrada a comparação entre os resultados de c_v medidos e os previstos pela eq. (4) para a amostra argila arenosa. Novamente houve forte correlação linear entre as variáveis (r= 0,9726) e baixa dispersão (RMSE = 0,2296 MJ m^{-3} K^{-1}), além de ser o menor dentre as 3 texturas avaliadas.

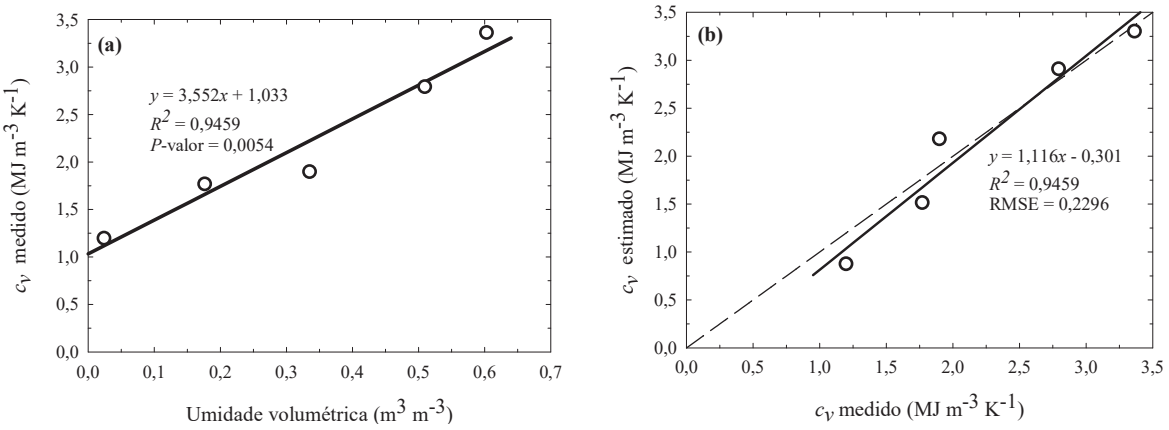


Figura 12 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função da umidade volumétrica para amostra de textura argilo-arenosa (a) e medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para amostra argilo-arenosa (b).

Na Figura 13 apresentam-se os resultados das 3 amostras de solo como um conjunto, independentemente da textura. Na regressão de c_v em função de θ (Figura 13a), de forma similar aos resultados previamente apresentados, o coeficiente *r* de 0,9217 demonstrou forte correlação significativa (*P*-valor<0,0001) entre as variáveis (Ratner, 2009).

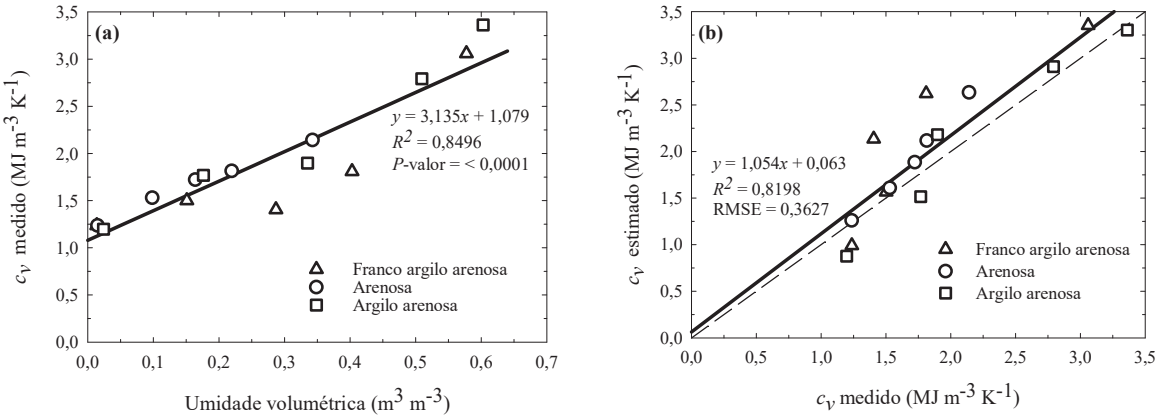


Figura 13 – Resultados medidos de calor específico volumétrico em função da umidade volumétrica para todas as amostras em conjunto (a) e medidos de calor específico volumétrico em função de resultados estimados pela eq. (4) para todas as amostras em conjunto (b).

Na Figura 13b, comparando os valores de c_v medidos e estimados, houve forte correlação linear entre as variáveis (Ratner, 2009) com baixa dispersão entre os dados (RMSE = 0,3627 MJ m^{-3} K^{-1}).

Algumas considerações com relação as estimativas da eq.(4) podem ser atribuídas como causa dos desvios entre os resultados medidos e estimados. Primeiramente, nela, o calor específico do ar, bem como a fração volumétrica de poros preenchidos por ar no solo são

desprezados. Na ausência de matéria orgânica, o valor de c_v de 4,19 para a fase líquida proporciona maior sensibilidade de variação nos resultados de θ. Assim, altos valores de θ são altamente participativos na estimativa de c_v. Além disso, c_v de 1,89 MJ m^{-3} K^{-1} para fase mineral é proveniente do produto entre os valores médios de 712 J kg^{-1} K^{-1} para c_g e de 2650 kg m^{-3} para a densidade de partículas minerais (ρ_p). Sabe-se que os minerais do solo são quimicamente diferentes em sua estrutura, não possuindo assim exatamente esses valores, o que gera variações esperadas em c_v nas mais variadas texturas de solo. Por fim, o mesmo ocorre para o valor de c_v de 2,7 MJ m^{-3} K^{-1} para matéria orgânica, derivado de um ρ_p de 1400 kg m^{-3} e c_g de 1926 J kg^{-1} K^{-1}. Todas essas considerações são vantajosas em relação ao equipamento automático desenvolvido, pois com ele, o calor específico para diversas partículas minerais e orgânicas de solo poderá ser determinado em trabalhos futuros.

As variações entre as medições de θ antes e depois das medições de c_v não foram significativas, atingindo variações máximas de aproximadamente 2% (Figura 14). Esse resultado mostrou que a injeção de calor na amostra de solo, via aquecimento da resistência elétrica, não alterou significantemente a umidade sendo tempo de aquecimento adequado para as determinações. Assim, a aferição de θ pode ser realizada antes ou logo depois da determinação de c_v.

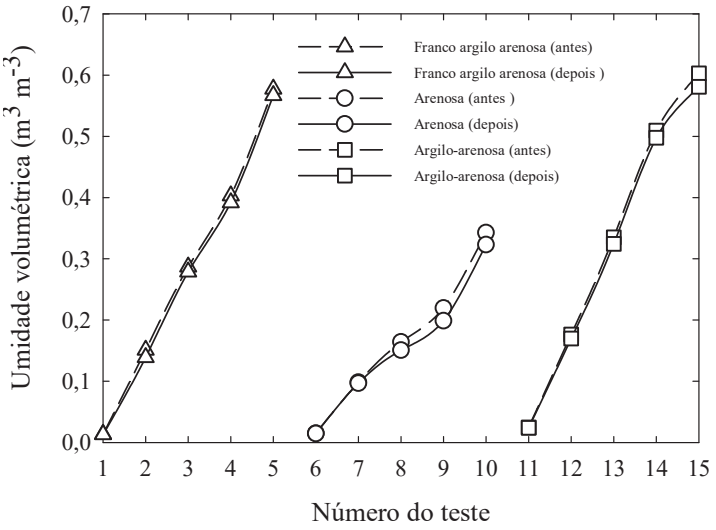


Figura 14 – Resultados de umidade volumétrica medidos antes e logo após as medições do calor específico do solo no sistema desenvolvido.

A Tabela 2 apresentada no item Revisão Bibliográfica foi utilizada na confecção da Tabela 7, na qual foram acrescentados os resultados de medidas de calor específico determinados neste trabalho.

Tabela 7 − Resumo de valores de calor específico do solo com inclusão de resultados deste trabalho.

Estudo	Determinação ou Estimativa	Classe textural	c_v ou c_g	c_g (J kg^{-1} K^{-1}) e c_v (MJ m^{-3} K^{-1})
Este trabalho	determinação	franco argilo arenosa	c_g	945 – 1876
		arenosa	c_g	736 – 1154
		argila arenosa	c_g	1099 – 2296
Kersten (1949)	determinação	franco siltosa	c_g	735 – 765
		arenosa	c_g	685 – 825
Vilela (2004)	determinação	-	c_g	1615–1635
Damfeu *et al.* (2016)	determinação	arenosa	c_g	768
		franco arenosa	c_g	847
Bristow (1994)	estimativa	arenosa	c_g	800
Alvalá *et al.* (2002)	estimativa	areia franca	c_v	1,5 – 2,2
Verhoeff *et al.* (1995)	estimativa	areia franca	c_v	1,2 – 1,7
		franco siltosa	c_v	1,1 – 1,6
Verhoeff (2002)	estimativa	franco arenosa	c_v	1,6 – 2,0
Oladunjoye e Sanuade (2012)	estimativa	franco arenosa	c_v	1,1 – 3,3

Resultados de determinação de c não mencionados em outros estudos para os solos franco argilo arenoso e argilo arenoso foram contemplados neste estudo, sendo uma contribuição adicional deste trabalho. Para o solo franco argilo arenoso foram encontrados resultados de c_g entre 945 e 1876 J kg^{-1} K^{-1}, e para o argilo arenoso entre 1099 e 2296 J kg^{-1} K^{-1}.

Para o solo arenoso determinou-se o valor de 736 J kg^{-1} K^{-1} sob a condição de baixa umidade, sendo condizente com o intervalo (685 a 825 J kg^{-1} K^{-1}) encontrado por Kersten (1949). O resultado também foi próximo do valor encontrado por Damfeu *et al.* (2016). Houve diferença do resultado determinado com o valor apresentado por Bristow (1994), entretanto, o autor realizou a estimativa do calor específico, e não sua medição.

5.2 VARIAÇÃO DE c_V EM FUNÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Para os testes com variação dos teores de matéria orgânica não foram comparados os resultados obtidos com os que seriam estimados pela eq. (4), pois somente foi calculada a

porcentagem de matéria orgânica adicionada em massa, não sendo determinadas as porcentagens em volume (fração volumétrica).

Na regressão significativa (*P*-valor<0,5%) de c_v em função dos teores de matéria orgânica (MO) adicionados (Figura 15a), houve forte correlação entre as variáveis (r = 0,9954), ainda segundo Ratner (2009). Contudo, o efeito do aumento de c_v não se deu apenas exclusivamente pelo incremento da matéria orgânica, uma vez a MO adicionada não estava em equilíbrio de umidade com o solo analisado. Nos testes realizados, a adição de MO proporcionou valores de umidade que variaram entre 0 a 0,2 $m^3\ m^{-3}$. Análises futuras poderão ser realizadas adicionando-se teores de MO ao solo secando-o em seguida ao ar para homogeneização da umidade. Assim, o equilíbrio de umidade será atingido para aferição do efeito exclusivo do carbono orgânico sobre os valores de c_v. Ainda assim, esses resultados mostram que a MO altera o calor específico do solo já que o carbono orgânico total variou linearmente com o aumento de c_v (Figura 15b). A correlação entre as variáveis foi forte (r=0,9324) (Ratner, 2009).

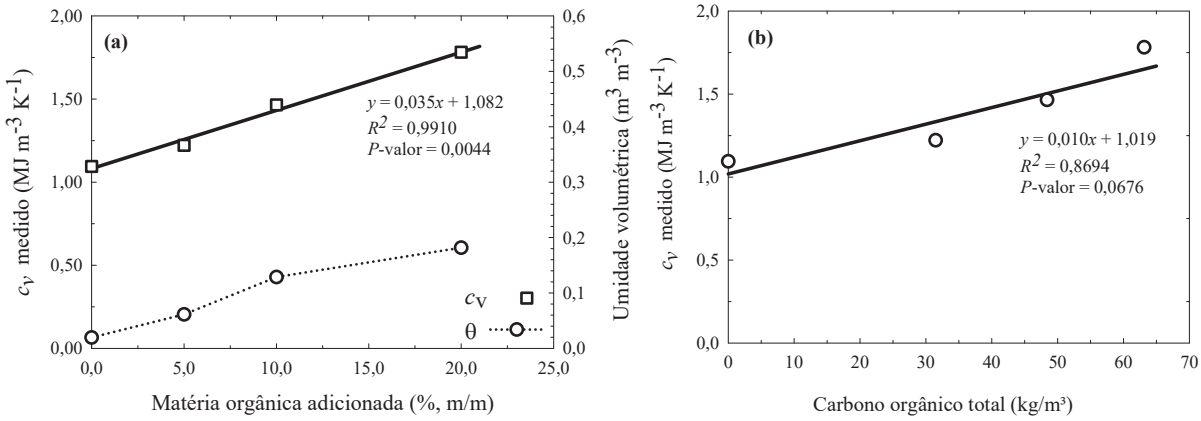


Figura 15 – Resultados medidos de calor específico volumétrico do solo em função dos teores de matéria orgânica adicionada para amostra de textura argilo-arenosa (a) e medidos de calor específico volumétrico em função dos teores de carbono orgânico total para amostra de textura argilo-arenosa (b).

6. CONCLUSÕES

Como verificado na revisão bibliográfica, a quantidade de estudos desenvolvidos sobre o calor específico do solo é incipiente, sendo seus resultados apresentados frequentemente como meras estimativas.

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um calorímetro automático de baixo custo e de maior acessibilidade aplicado a amostras de solo. O protótipo desenvolvido pode ser adaptado conforme necessidades, pois foi construído em módulos e sua programação pode ser alterada, sendo assim um sistema flexível. Adicionalmente, o protótipo desenvolvido apresentou maior portabilidade quando comparado, por exemplo, com um calorímetro exploratório diferencial.

A confiabilidade dos resultados gerados foi atingida por meio de medidas com equipamentos calibrados, confirmando os resultados do protótipo desenvolvido.

Ressalta-se a não recomendação de aplicação do equipamento para amostras com altos valores de umidade, uma vez que a resistência utilizada não é blindada. Devido à limitação de recursos e a construção de um único protótipo, a resistência utilizada foi escolhida visando atender especificações comerciais disponíveis. Ademais, o preenchimento do vaso calorimétrico com solo foi prejudicado para elevados valores de umidade. Nos resultados apresentados houve maior dispersão nos resultados quando a umidade do solo foi aumentada, fato que pode ter sido induzido por erros sistemáticos.

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma possibilidade de adaptação para o protótipo em trabalhos futuros é a melhoria da portabilidade. Sugere-se sua adaptação para uso em campo substituindo-se a alimentação por energia da rede elétrica por uma bateria. Para isso, são necessários alguns ajustes no código de programação do microcontrolador e algumas readequações no *hardware*.

Sugere-se também a utilização de um sensor de temperatura mais preciso e adequado a medidas de pequenas variações de temperatura.

O desenho e o material utilizado para construção do vaso calorimétrico podem ainda ser aprimorados. Recomenda-se a substituição da resistência por uma mais adequada, utilizando-se o mesmo formato, porém blindada, permitindo assim medições com amostras mais úmidas.

Sugere-se a criação de uma interface mais amigável para o *software* desenvolvido, dado que neste trabalho foi utilizada a interface IDE. Assim, na nova interface podem ser incorporados campos para digitação de valores de massa de solo, tempos de aquecimento e estabilização de temperatura desejados, além de dados sobre o padrão utilizado na determinação do calor específico.

Para expansão dos resultados, sugere-se a determinação do calor específico gravimétrico e/ou calor específico volumétrico para um número maior de amostras e tipos de solo, verificando repetibilidade dos resultados.

Adicionalmente, o estudo da influência do carbono orgânico na alteração do calor específico pode ser interessante, sendo sugerida a secagem da amostra à uma temperatura que não modifique as características do material orgânico.

7. REFERÊNCIAS

Alvalá, R. S. *et al*. Intradiurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content, and thermal properties under forest and pasture in Rondônia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, 2002.

Arduino store. **Arduino UNO Rev3**. Disponível em: < https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3 >. Acesso em 10 de Out. 2017.

Arduino. **What is Arduino? Introduction.** Disponível em: < https://www.arduino. cc/en/Guide/Introduction >. Acesso em 10 de Out. 2017.

Bristow, K. L. Kluitenberg, G.J. Horton, R. Measurement of Soil Thermal Properties with a Dual-Probe Heat-Pulse Technique. **Soil Science Society of America Journal**, Vol. 58 No. 5, p. 1288-1294, 1994.

Campbell, G. S. Calissendorff, C. C. Williams, J. H. Probe for Measuring Soil Specific Heat Using A Heat-Pulse Method. **Soil Science Society of America Journal**, Vol. 55 No. 1, p. 291-293, 1991.

Campbell, G. S., **Soil Physics with basic transport models for soil-plant systems**, 1a ed, 155 p, Elsevier Science, New York, 1985.

Ciampi, G. S. **Desenvolvimento de um Calorímetro para Medição do Conteúdo Energético de Combustíveis Sólidos**. 1992. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas.

Circuitar. **Nanoshield Termopar**. Disponível em: < https://www.circuitar.com. br/nanoshields/modulos/termopar/ >. Acesso em 10 de Out. 2017a.

Circuitar. **TRIAC**. Disponível em: < https://www.circuitar.com.br/nanoshields/ modulos/triac/ >. Acesso em 10 de Out. 2017b.

Colabone, R. O. **Determinação da difusividade térmica de um solo incorporado com resíduo de ETA.** 2002. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do estado de São Paulo, Rio Claro - SP.

Damfeu, J. C. Meukam, P. Jannot, Y. Modeling and estimation of the thermal properties of clusters aggregates for construction materials: The case of clusters aggregates of lateritic soil, sand and pouzzolan. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, Vol. 102, p. 407-416, nov. 2016.

Dempsey, D. et al. **Heat Capacity and Specific Heat.** San Francisco State University – Department of Geosciences. GEOL/METR 310: Planetary Climate Change. 2005.

DeVries, D. A. "Thermal Properties of Soils," Em W. R. van Wijk, **Physics of Plant Environment**, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1963, pp. 210-235.

Duarte, A. P. L. **Avaliação de Propriedades Termo-Hidráulicas de Solos Requeridas na Aplicação da Técnica de Dessorção Térmica**. Tese (Doutorado) – PUC/RJ. Rio de Janeiro. 2004.

Fonseca, E. G. Vega, A. S. Tutorial sobre Introdução a Projetos Utilizando o Kit de Desenvolvimento Arduino. **Anais:** XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE. Blumenau: FURB, 2011.

Gee, G. W.; Or, D. 2.4 **Particle-size analysis.** Methods of soil analysis. Part, v. 4, n. 598, p. 255-293. 2002.

Gurgel, J. Klüppel, R. P. Thermal conductivity of hydrated silica-gel. **The Chemical Engineering Journal and the Biochemical Engineering Journal**, v. 61, n. 2, p. 133-138, 1996.

Kersten, M. S. **Thermal properties of soils**. University of Minnesota Engineering Experiment Station Bulletin 28, 1949. 227 pp.

Mori, Y. Hopmans, J. W. Mortensen, A. P. Kluitenberg, G. J. Multi-Functional Heat Pulse Probe for the Simultaneous Measurement of Soil Water Content, Solute Concentration, and Heat Transport Parameters. **Vadose Zone Journal**, Vol. 2, 2003. p. 561-571.

Oladunjoye, M. A. Sanuade, O. A. Thermal diffusivity, thermal effusivity and specific heat of soils in Olorunsogo Powerplant, southwestern Nigeria. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, v. 13, n. 2, 2012. p. 502-521.

Prevedello, C. S. Armindo, R. A. **Física do solo: com problemas resolvidos**. 2° Ed revisada e ampliada – Curitiba, 2015. 474 p.

Quaggio, J. A. Van Raij, B. Comparacao de métodos rápidos para a determinação na matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1979.

Ratner, B. The correlation coefficient: Its values range between + 1/− 1, or do they?. **Journal of targeting, measurement and analysis for marketing**, v. 17, n. 2, p. 139-142, 2009.

Sandler, S. I. **Chemical, biochemical, and engineering thermodynamics**. John Wiley & Sons, 4th ed, New Jersey. 2006.

Silva, M. D. R. Técnicas Calorimétricas**. Química**, série II, Número 53, p. 63-68, jun. 1994.
Simoni, J. A. Jorge, R. A. Um calorímetro versátil e de fácil construção. **Química Nova**, vol 13 (2), p 108-11, 1990.

Soil Science Division Staff. **Soil survey manual**. USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C. 2017.

Souza, R. Pimentel, L. C. G. Orlande, H. R. B. **Determinação da condutividade térmica utilizando o método da sonda linear**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, XV, 1999, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: COBEM, 1999. p. 30-31.

Strafacci Neto, G. Watake, C. Alloise, W. **A influência da inércia térmica no desempenho térmico das edificações**. 2015. Disponível em: < http://blogdaengenharia.com/influencia-da-inercia-termica-no-desempenho-termico-das-edificacoes/ >. Acesso em 12 de Dez. 2016.

Tarara, J. M. Ham, J. M. Measuring soil water content in the laboratory and field with dual-probe heat-capacity sensors**. Agronomy Journal**, Madison (WI), Volume 89, p:535–542.

Verhoef, A. Remote estimation of thermal inertia and soil heat flux for bare soil. **Agricultural and forest meteorology**, v. 123, n. 3-4, p. 221-236, 2004.

Verhoef, A. *et al*. Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEX-Sahel) sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 78, n. 1-2, p. 1-18, 1996.

Vilela, M. M. **Estudo de método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica a baixa profundidade**. 2004. 278 p. Tese (Doutorado em energia) – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, São Paulo, 2004.

Young, H. D. Freedman, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas.** 12 ed. São Paulo: Pearson, 2008. 329 p.

APÊNDICE –TABELAS ADICIONAIS

8.1 ANÁLISES DE VARIAÇÃO DE UMIDADE

8.1.1 Amostra franco argilo-arenosa

Variáveis	Inicial	1ª Adição	2ª Adição	3ª Adição	4ª Adição
Tensão Arduino (V)	126,97	126,92	126,07	125,79	125,90
Tensao Multímetro (V)	127,8	127,5	127,9	126,6	127,5
Corrente Arduíno (A)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Corrente Multímetro (A)	0,276	0,275	0,276	0,273	0,275
Temperatura Inicial Arduíno (°C)	25,50	26,20	26,19	25,80	25,70
Temp Inicial Termômetro (°C)	24,9	25,6	25,6	24,9	24,8
Temperatura Final Arduíno (°C)	28,33	28,67	28,61	27,93	25,85
Temperatura Final Termômetro (°C)	27,6	27,9	27,8	26,8	26,2
Massa de solo utilizada (kg)	0,543	0,456	0,431	0,494	0,677
Calor Específico Gravimétrico Medido (J/kg K)	945	1367	1471	1521	1876

Variáveis	Inicial	1ª Adição	2ª Adição	3ª Adição	4ª Adição
Densidade de solo úmido (kg/dm³)	1,31	1,10	0,96	1,19	1,63
Massa solo úmido - Pré estufa (g) -	5,77	6,67	6,62	8,96	9,08
Massa solo seco - Após estufa (g) -	5,71	5,98	5,43	6,85	6,30
Massa de água na amostra (g) -	0,06	0,69	1,19	2,11	2,78
Umidade gravimétrica (kg/kg) -	0,01	0,12	0,22	0,31	0,44
Umidade volumétrica (m³/m³) -	0,0138	0,1510	0,2868	0,4031	0,5775
Massa solo úmido - Pré estufa (g) - Depois do Teste	7,02	5,94	5,64	7,81	10,72
Massa solo seco - Após estufa (g) - Depois do Teste	6,95	5,37	4,65	6,01	7,48
Massa de água na amostra (g) - Depois do Teste	0,07	0,57	0,99	1,8	3,24
Umidade gravimétrica (kg/kg) - Depois do Teste	0,01	0,11	0,21	0,30	0,43
Umidade volumétrica (m³/m³) - Depois do Teste	0,0132	0,1389	0,2786	0,3919	0,5669
Calor Específico Volumétrico Medido (MJ/m³ K)	1,24	1,50	1,41	1,81	3,06
Calor Específico Volumétrico Estimado (MJ/m³ K)	0,99	1,42	1,88	2,54	3,58

8.1.2 Amostra arenosa

Variáveis	Inicial	1ª Adição	2ª Adição	3ª Adição	4ª Adição
Tensão Arduino (V)	126,11	128,17	127,99	125,44	128,45
Tensao Multímetro (V)	127	128	127,5	126,3	127,9
Corrente Arduíno (A)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Corrente Multímetro (A)	0,275	0,277	0,275	0,273	0,276
Temperatura Inicial Arduíno (°C)	23,46	23,38	23,00	22,95	22,95
Temperatura Inicial Termômetro (°C)	22,6	22,3	22,1	22	21,9
Temperatura Final Arduíno (°C)	26,27	25,84	25,25	25,07	24,86
Temperatura Final Termômetro (°C)	25,3	24,9	24,2	23,9	23,9
Massa de solo utilizada (kg)	0,697	0,667	0,666	0,656	0,770
Calor Específico Gravimétrico Medido (J/kg K)	736	952	1074	1148	1154

Variáveis	Inicial	1ª Adição	2ª Adição	3ª Adição	4ª Adição
Densidade de solo úmido (kg/dm³)	1,68	1,61	1,60	1,58	1,86
Massa solo úmido - Pré estufa (g)	9,08	6,69	6,52	7,7	6,55
Massa solo seco - Após estufa (g)	9,00	6,32	5,94	6,81	5,44
Massa de água na amostra (g)	0,08	0,37	0,58	0,89	1,11
Umidade gravimétrica (kg/kg)	0,01	0,06	0,10	0,13	0,20
Umidade volumétrica (m³/m³)	0,0149	0,0983	0,1640	0,2195	0,3427
Massa solo úmido - Pré estufa (g) - Depois do Teste	7,02	7,71	8,02	6,90	8,12
Massa solo seco - Após estufa (g) - Depois do Teste	6,96	7,29	7,36	6,17	6,81
Massa de água na amostra (g) - Depois do Teste	0,06	0,42	0,66	0,73	1,31
Umidade gravimétrica (kg/kg) - Depois do Teste	0,01	0,06	0,09	0,12	0,19
Umidade volumétrica (m³/m³) - Depois do Teste	0,0145	0,0968	0,1506	0,1987	0,3231
Calor Específico Volumétrico Medido (MJ/m³ K)	1,24	1,53	1,72	1,82	2,14
Calor Específico Volumétrico Estimado (MJ/m³ K)	1,26	1,56	1,83	2,05	2,76

8.1.3 Amostra argilo-arenosa

Variáveis	Inicial	1ª Adição	2ª Adição	3ª Adição	4ª Adição
Tensão Arduino (V)	127,24	125,29	126,69	124,89	126,59
Tensao Multímetro (V)	127,6	127,5	127,1	127	127,1
Corrente Arduíno (A)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Corrente Multímetro (A)	0,275	0,275	0,275	0,282	0,280
Temperatura Inicial Arduíno (°C)	23,36	23,54	22,54	22,12	22,11
Temperatura Inicial Termômetro (°C)	22,6	22,5	21,4	21,2	21,1
Temperatura Final Arduíno (°C)	26,26	25,70	24,61	22,62	23,39
Temperatura Final Termômetro (°C)	25,3	24,6	23,4	22,7	22,4
Massa de solo utilizada (kg)	0,452	0,445	0,438	0,574	0,608
Calor Específico Gravimétrico Medido (J/kg K)	1099	1650	1800	2017	2296

Variáveis	Inicial	1ª Adição	2ª Adição	3ª Adição	4ª Adição
Densidade de solo úmido (kg/dm³)	1,09	1,07	1,05	1,38	1,46
Massa solo úmido - Pré estufa (g)	7,41	5,74	7,35	8,69	9,09
Massa solo seco - Após estufa (g)	7,25	4,94	5,62	5,92	5,85
Massa de água na amostra (g)	0,16	0,80	1,73	2,77	3,24
Umidade gravimétrica (kg/kg)	0,02	0,16	0,31	0,47	0,55
Umidade volumétrica (m³/m³)	0,0246	0,1763	0,3351	0,5094	0,6030
Massa solo úmido - Pré estufa (g) - Depois do Teste	5,88	6,52	7,36	9,56	10,69
Massa solo seco - Após estufa (g) - Depois do Teste	5,75	5,64	5,67	6,56	6,97
Massa de água na amostra (g) - Depois do Teste	0,13	0,88	1,69	3,00	3,72
Umidade gravimétrica (kg/kg) - Depois do Teste	0,02	0,16	0,30	0,46	0,53
Umidade volumétrica (m³/m³) - Depois do Teste	0,0240	0,1699	0,3245	0,4979	0,5810
Calor Específico Volumétrico Medido (MJ/m³ K)	1,20	1,77	1,90	2,79	3,36
Calor Específico Volumétrico Estimado (MJ/m³ K)	0,88	1,50	2,16	3,12	3,57

8.2 ANÁLISES DE VARIAÇÃO DE TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA

Variáveis	Inicial	5% MO	10% MO	20% MO
Tensão Arduino (V)	128,18	125,66	127,23	127,45
Tensao Multímetro (V)	126,9	126,8	127,2	127,5
Corrente Arduíno (A)	0,28	0,3	0,3	0,29
Corrente Multímetro (A)	0,274	0,273	0,274	0,275
Temperatura Inicial Arduíno (°C)	23,02	22,79	22,69	22,33
Temperatura Inicial Termômetro (°C)	22	21,8	21,6	21,3
Temperatura Final Arduíno (°C)	25,95	25,72	25,37	24,63
Temperatura Final Termômetro (°C)	24,8	24,6	24,1	23,5
Massa de solo utilizada (kg)	0,451	0,435	0,419	0,406
Calor Específico Gravimétrico Medido (J/kg K)	1099	1800	2017	2296

Variáveis	Inicial	5% MO	10% MO	20% MO
Densidade de solo úmido (kg/dm³)	1,09	1,05	1,38	1,46
Massa solo úmido - Pré estufa (g)	3,35	5,48	5,97	10,98
Massa solo seco - Após estufa (g)	3,29	5,16	5,21	8,94
Massa de água na amostra (g)	0,06	0,32	0,76	2,04
Umidade gravimétrica (kg/kg)	0,02	0,06	0,13	0,19
Umidade volumétrica (m³/m³)	0,0195	0,0612	0,1286	0,1817
Calor Específico Volumétrico Medido (MJ/m³ K)	1,20	1,29	1,49	1,75

ANEXO

DOCUMENTOS COM ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS FORNECIDAS PELOS FABRICANTES DOS COMPONENTES UTILIZADOS E CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO.

Model: SCT-013 Series



Characteristics: Opening size: 13mm×13mm
Non-linearity±3% (10%—120% rated input current)
1.5m leading wire，Diagram for standard three-output
Current output type or Voltage output type
(Voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Suitable for the current measuring
monitoring and protection of AC motor
lighting equipment　　air compressor and so on

Core material: Ferrite

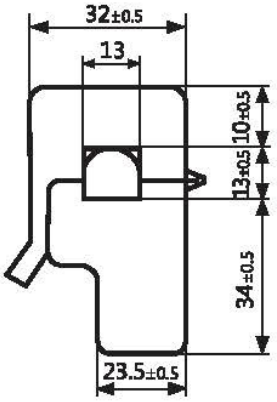
Mechanical strength: The number of switching is not less than 1000 times
(Test under 20℃).

Safety index: Dielectric strength 6000V AC/1min

Fire resistance property: in accordance with UL94-VO

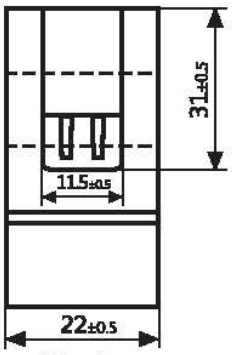
Working temperature: -25℃—+70℃

Outline size diagram: (in mm)

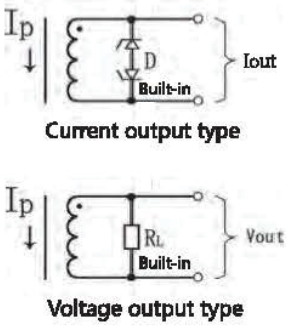


Front view





Side view



Schematic diagram

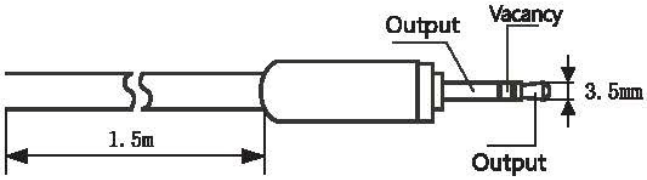


Diagram for standard three-pin plug

Table of technical parameters:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output mode	Current/33mA	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-070
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	
Output mode	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	

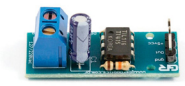
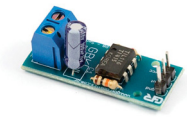
Output mode: Voltage output type built-in sampling resistor; Current output type built-in protective diode;
Forbidden to be opening operating for current type.

gbk robotics

Av. Henrique Eroles, 584¬ Mogi das Cruzes, Sao Paulo 08730-590
Phone: 11 2378-6222 ¬ E-Mail: gbkrobotics@gmail.com

P8 – Modulo Sensor de Tensao AC

O **Módulo Sensor de Tensao AC** é um módulo capaz de detectar a passagem de tensao AC em um circuito. Pode ser usado tanto para indicar uma tensao quanto para verificar sua presenca.
Composto por um opto acoplador, este módulo assegura o isolamento da Rede.

Especificacoes

- Entrada 127/220v AC
- Compatível com Arduino / PIC
- Optoacoplador (isolando a rede AC do sinal DC para o microcontrolador)

Ligação:

5v – 5V do Arduino
Gnd – GND do Arduino
S – sinal para uma das portas analógicas

Dimensões:
Largura: 14mm
Comprimento: 35mm
Peso: 14g.

Exemplo de ligacao

Conexões: O módulo pode ser conectado ao Arduino ligando-se o pino positivo (VCC) no 5V, o pino negativo (GND) no GND e o pino SINAL em um pino analógico, como por exemplo A0. Este Módulo possui uma entrada (Sinal), que faz a leitura na entrada AC.

Sketch de exemplo

```
*/
//////////////////////////////////
// INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS //
//////////////////////////////////

int pinoentrada;
```

```
int tensao;
int i=0;
int soma=0;
int media=0;

void setup() {
pinMode(A0,INPUT);
Serial.begin(9600);

}

void loop() {
soma=0;
i=0;

if(analogRead(A0)>20){

for(i=0;i<1000;i++){
pinoentrada = analogRead(A0);
tensao = (pinoentrada*6.5)/1024;
tensao = tensao*1.732;
soma = (soma+tensao);
 }

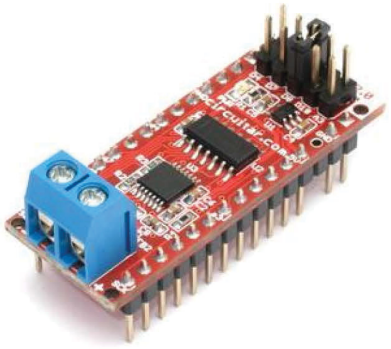
 media = soma/10;
Serial.println(media);
if((media>130)&&(media<35)){
Serial.println("110V");
}
if(media<150){
Serial.println("220V");
}
delay(100);
}

}
```

Termopar

Módulo para medição de temperatura com termopar tipo universal

- **Suporta termopares dos tipos K, J, N, R, S, T, E e B**
- **Suporta leituras de -210°C até +1800°C**
- **Resolução melhor do que 0.01°C**
- **Utilize até 15 módulos simultaneamente**



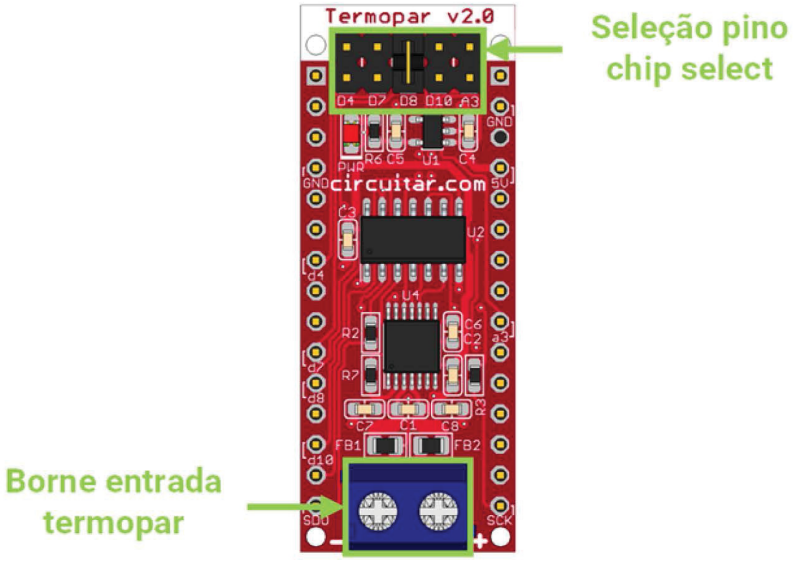
Ver modelo 3D

Comprar na Loja da Circuitar (/loja/produto/158/)

Com o Nanoshield Termopar você consegue medir temperaturas por meio de um sensor de termopar, de uma forma prática e simples. Ele é implementado com o CI MAX31856, fabricado pela Maxim Semiconductor, que contém todo o circuito necessário para realizar esse tipo de medição: sensor interno de temperatura (junção fria), amplificador e conversor analógico-digital. Dessa forma, a leitura já é dada diretamente em graus Celsius, e é lida pelo microcontolador através de uma interface SPI.

O Nanoshield Termopar suporta sensores dos tipos K, J, N, R, S, T, E e B, e conta com as seguintes características:

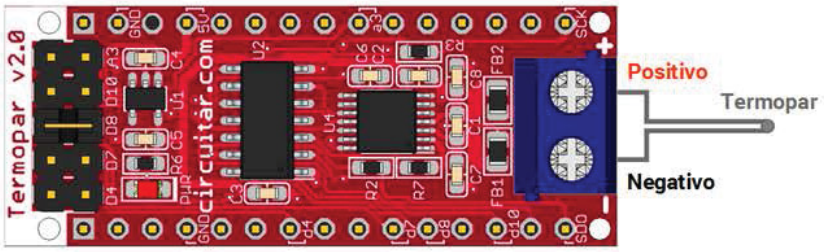
- Detecção de falhas de circuito aberto e tensão ou temperatura fora dos limites suportados
- Medição da temperatura interna do chip (junção fria)
- Filtro interno para rejeição de ruído em 50/60Hz
- Filtro de média configurável para 2, 4, 8 ou 16 amostras
- Filtro na entrada do termopar para melhor estabilidade



Características do Nanoshield Termopar

Conexão do sensor termopar

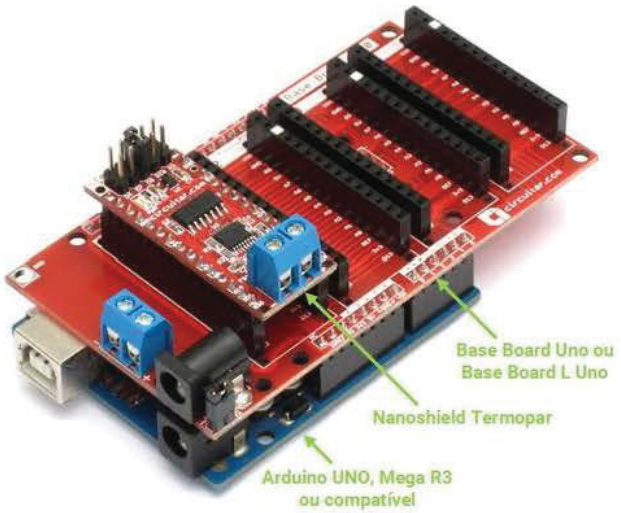
O Nanoshield Termopar possui um borne de parafuso onde devem ser fixadas as pontas do seu sensor de termopar. Fique atendo à indicação de polaridade ⊕ e ⊖. Se você não souber quais são os terminais positivo e negativo do seu termopar, não se preocupe: "chute" uma polaridade e parafuse ambas as pontas assim mesmo. Feito isso, meça a temperatura e aproxime a ponta de medição de uma fonte de calor qualquer, e se a temperatura medida subir é sinal de que a conexão está correta. Caso a temperatura medida diminua, inverta a polaridade e meça novamente. A figura abaixo ilustra como deve ser feita a conexão:



Conexão do sensor termopar

Conexão com Arduino + Base Board Uno

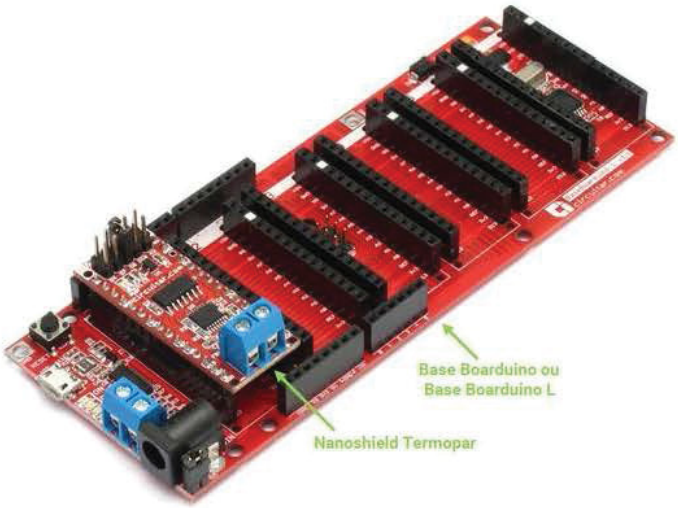
O jeito mais fácil de utilizar o Nanoshield Termopar juntamente com um Arduino é usando a Base Board Uno (/loja/produto/97/) ou Base Board L Uno (/loja/produto/98/). Basta encaixar as placas e depois carregar o nosso código de exemplo para verificar o funcionamento (veja a seção de código de exemplo no final da página). Esta montagem pode ser utilizada com o Arduino UNO, Mega R3 ou placas similares. A figura abaixo mostra como fica a montagem do conjunto.



Ligação com Arduino utilizando a Base Board Uno (clique na imagem para ampliar)

Conexão com Base Boarduino

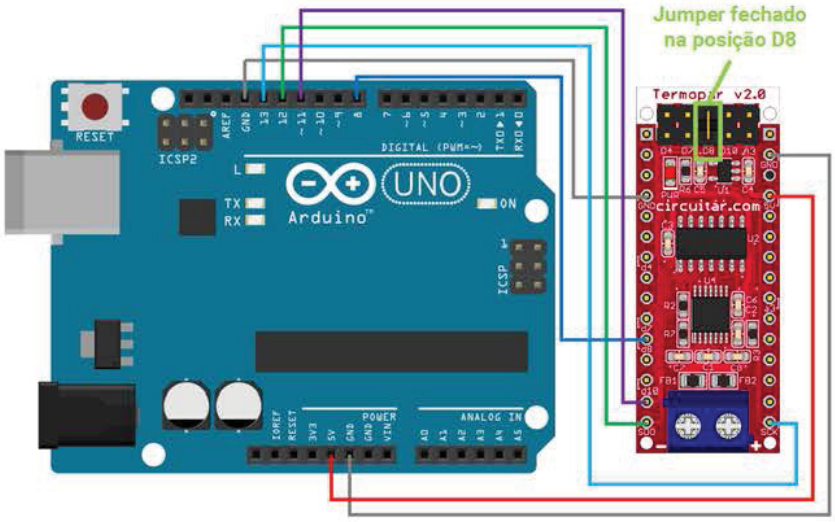
Também é possível conectar o Nanoshield Termopar diretamente à nossa placa compatível com Arduino, a Base Boarduino (/nanoshields/modulos/base-boarduino/). A conexão é feita da mesma forma com que é feita na Base Board, conforme ilustra a figura abaixo. Basta encaixar as placas e depois carregar o nosso código de exemplo para verificar o funcionamento (veja a seção de código de exemplo no final da página).



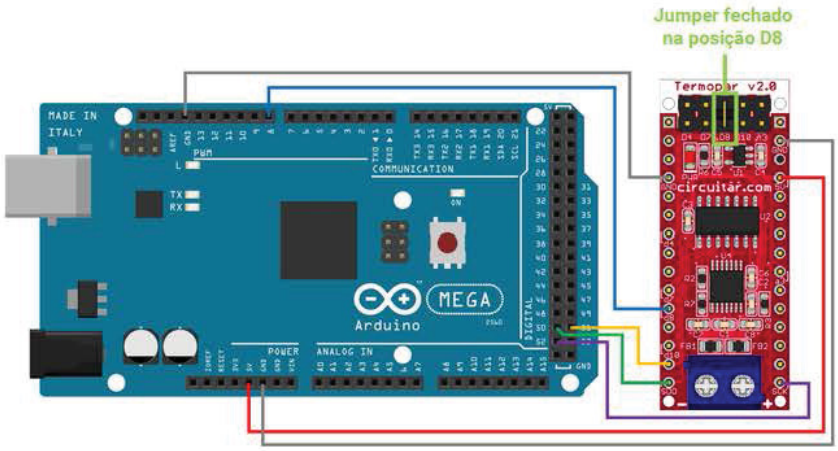
Ligação com a Base Boarduino (clique na imagem para ampliar)

Ligação direta com Arduino

Também é possível utilizar o módulo com montagem direta, utilizando um protoboard e jumper wires para fazer a conexão. Utilize os seguintes esquemas para conectar o Nanoshield Termopar a um Arduino Uno ou Arduino Mega.



Ligação utilizando Arduino UNO (clique na imagem para ampliar)



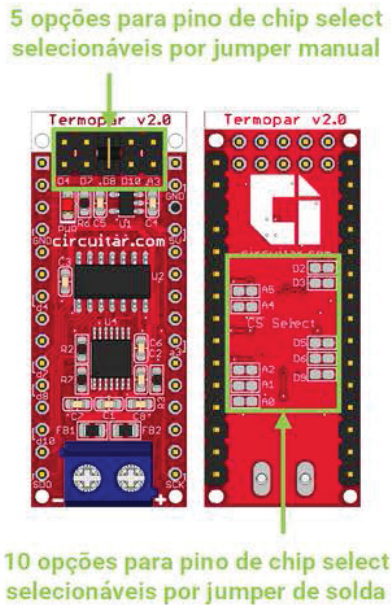
Ligação utilizando Arduino MEGA (clique na imagem para ampliar)

Utilizando vários módulos simultaneamente

O Nanoshield Termopar se comunica com o microcontrolador do Arduino através de um barramento de comunicação denominado SPI. Uma das vantagens deste barramento é a possibilidade de ligação de vários módulos simultâneos utilizando poucos pinos do microcontrolador. O barramento possui uma linha de clock (SCK), duas linhas de dados (SDI e SDO) e um pino de seleção denominado chip select (/CS). Todos os módulos ligados ao barramento compartilham as mesmas linhas de clock e de dados, porém a cada um deles é atribuído um pino de chip select exclusivo. Dessa forma, o microcontrolador pode escolher com qual dos módulos vai se comunicar, enviando um sinal com nível lógico baixo (0V) no pino de chip select correspondente àquele módulo.

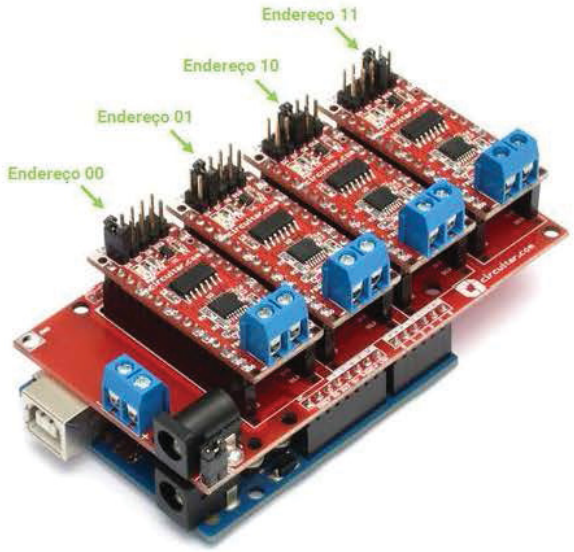
O Nanoshield Termopar possui um conjunto de jumpers na parte superior da placa que permite a seleção manual de até 5 pinos diferentes do Arduino para a função de chip select (4, 7, 8, 10 e A3) – o pino padrão que vem selecionado de fábrica é o 8. Além destas 5 opções, o módulo ainda conta com mais 10 pinos selecionáveis via jumper de solda na parte inferior da placa (2, 3, 5, 6, 9, A0, A1, A2, A4 e A5), permitindo a ligação de até 15 módulos simultâneos em um único Arduino.

A figura abaixo ilustra a localização dos jumpers manuais na parte superior, e dos jumpers de solda na parte inferior da placa.



Opções de chip select do Nanoshield Termopar

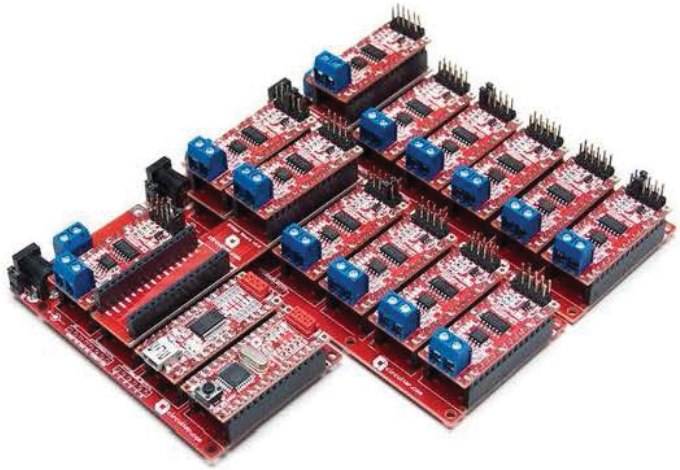
Para utilizar vários módulos simultaneamente, basta monta-los juntos na Base Board ou Base Board L e utilizar os jumpers para selecionar um chip select diferente em cada módulo. A figura abaixo mostra um conjunto de 4 módulos utilizados simultaneamente. Neste exemplo utilizamos uma Base Board UNO juntamente com um Arduino Mega.



Utilizando vários módulos simultaneamente

Porém, tenha em mente que os pinos utilizados para a comunicação SPI e os pinos utilizados para o chip select dos módulos não podem ser compartilhados ou ter outra função no projeto. Portanto é recomendável fazer uma análise dos pinos utilizados antes de realizar a montagem com vários módulos simultâneos. Consulte a nossa tabela de pinagem (/nanoshields/pinagem), ou entre em contato conosco para maiores informações.

Utilizando a Bridge Board (/nanoshields/modulos/bridge-board/), é possível interligar várias Base Boards e expandir o projeto ainda mais, como ilustra a figura abaixo.



Exemplo de projeto com 13 módulos simultâneos

O projeto acima possui 13 módulos Termopar, um Alevino (/nanoshields/modulos/alevino/) para processamento e um Nanoshield USB (/nanoshields/modulos/usb/) para comunicação com um computador. Este conjunto permite a aquisição e registro de até 13 temperaturas diferentes.

Diagrama de blocos

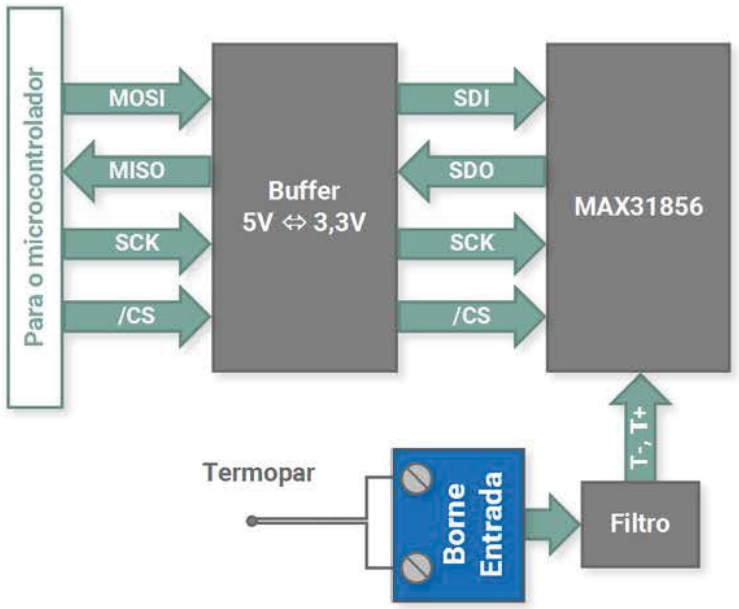


Diagrama de blocos Nanoshield Termopar

Especificações elétricas

- Alimentação: é feita pelo pino 5V com intervalo de 4,5V até 5,5V.
- Consumo: o consumo máximo de corrente é aproximadamente 1,5mA.
- Níveis lógicos: os pinos de entrada /CS, SDI e SCK funcionam com tensões de 5V ou 3,3V. O pino de saída SDO tem nível lógico de 3,3V e é 100% compatível com os níveis de tensão aceitos pelo Arduino, Raspberry PI, entre outras.

A tabela abaixo descreve a função de cada um dos sinais utilizados, e a correspondência com os pinos do Arduino UNO e Arduino MEGA R3.

Função	Arduino UNO	Arduino MEGA	Função
/CS	8 (configurável)	8 (configurável)	Chip select barramento SPI
SDO	12	50	Linha de dados barramento SPI (MISO)

Função	Arduino UNO	Arduino MEGA	Função
SDI	12	51	Linha de dados barramento SPI (MOSI)
SCK	13	52	Linha de clock barramento SPI
5V	5V	5V	Entrada Alimentação 5V
GND	GND	GND	Tensão de referência (terra)

Tabela de descrição dos pinos

Aplicações e precisão das medidas

Termopares são sensores utilizados principalmente quando se necessita de uma ampla faixa de medidas, e em temperaturas ou ambientes não suportados por outros tipos de sensores, como termistores ou sensores semicondutores. Também é possível obter respostas bastantes rápidas, dependendo do tipo e da geometria do sensor termopar utilizado. Como aplicações típicas, podemos citar medições em:

- Fornos
- Turbinas
- Motores
- Processos industriais (siderurgia, usinagem, etc.)

Sensores de termopar podem exibir erros de ±1,5°C até ±9°C, dependendo do tipo e da faixa de medidas – consulte o fabricante do termopar para saber quais são os limites de tolerância do seu sensor. A precisão interna do chip é de ±0.15%.

Para uma medição mais confiável e segura, mantenha o termopar sempre isolado de partes metálicas ou condutivas. Também evite segurar a ponta do termopar com as mãos durante as medições, a não ser que seja indispensável.

Código de exemplo

Versões anteriores

Downloads

Assine a nossa lista de e-mails e fique por dentro das novidades da Circuitar!

Seu email: **Assinar**

(https://www.facebook.com/circuitar.com.br)

(https://twitter.com/circuitar)

(https://plus.google.com/+CircuitarBr)

(https://github.com/circuitar)

Copyright © 2013 Circuitar Eletrônicos
Circuitar Eletrônicos, Importação e Exportação LTDA
CNPJ: 13.597.601/0001-75
ATENDIMENTO
contato@circuitar.com.br
ENDEREÇO
R. Conde do Pinhal, 2267 - Sala 404
São Carlos - SP - Brasil - 13560-648

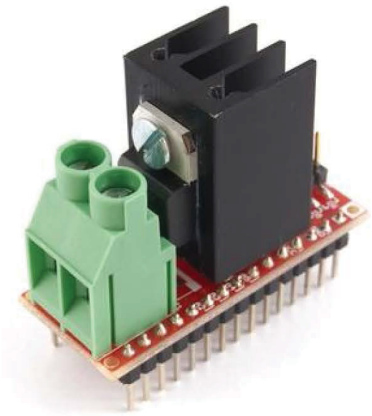
Triac

Acionamento para rede elétrica com Triac



(http://www.youtube.com/watch?v=TPkjRFkC9-s)

ATENÇÃO: esse módulo foi projetado para conexão direta à rede elétrica, e usá-lo de maneira inadequada gera riscos de CHOQUE ELÉTRICO e INCÊNDIO. Só faça projetos com esse módulo caso você já tenha experiência prévia em instalações elétricas, e siga com cuidado as recomendações de segurança no final desta página.



Ver modelo 3D

Comprar na Loja da Circuitar (/loja/produto/65/)

O Nanoshield Triac pode ser utilizado para acionamentos de dispositivos da rede elétrica em 127V ou 220V AC (corrente alternada) utilizando os pinos de I/O do seu Arduino. Ele é ideal para aplicações como:

- Acionamento ou dimerização de lâmpadas (veja também o Nanoshield Zero Cross (/nanoshields/modulos/zero-cross/)).
- Controle de eletrodomésticos diversos como luminárias, fornos elétricos, cafeteiras, ventiladores, etc..
- Acionamento de portões de garagem.

Há 4 opções para o pino de acionamento (D3#, D5#, D6# e D9#), que podem ser facilmente escolhidas através de um jumper manual de seleção. Caso elas não sejam suficientes, ainda há mais 7 opções selecionáveis por jumpers de solda localizados na parte inferior da placa (D2, D4, D7, A2, A3, A4 e A5). O Triac é ligado com um nível lógico alto no pino de acionamento correspondente e é desligado com um nível lógico baixo.

O acionamento é realizado através de um optoacoplador e o terminal do triac que faz contato com o dissipador é isolado internamente. Isso mantém a tensão AC longe do microcontrolador e demais circuitos DC.

Características

- Acionamento de cargas AC em 127V e 220V.
- Disponível com dissipador de 25mm para até 2,5A ou com dissipador de 50mm para até 5A (veja gráfico de corrente abaixo).
- Acionamento em 5V ou 3,3V realizado através de optoacoplador.
- 4 opções para pino de acionamento selecionáveis por jumper manual e 7 opções selecionáveis por jumper de solda.
- LED que indica quando o triac está ligado.

Conexões

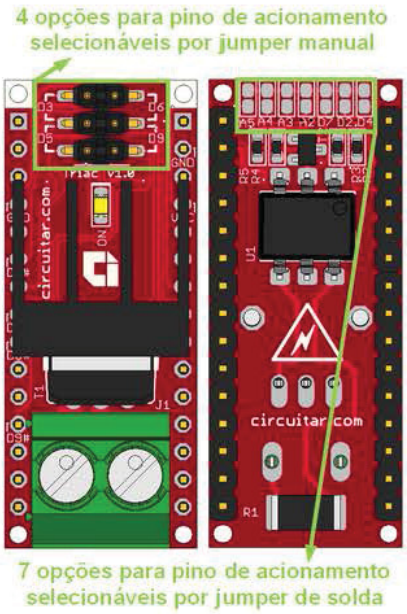
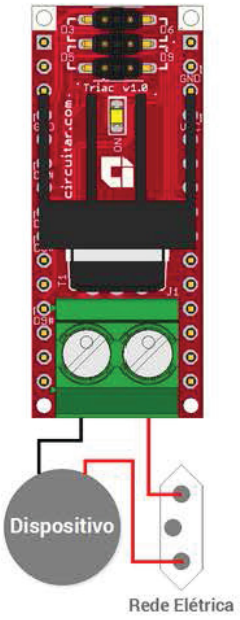


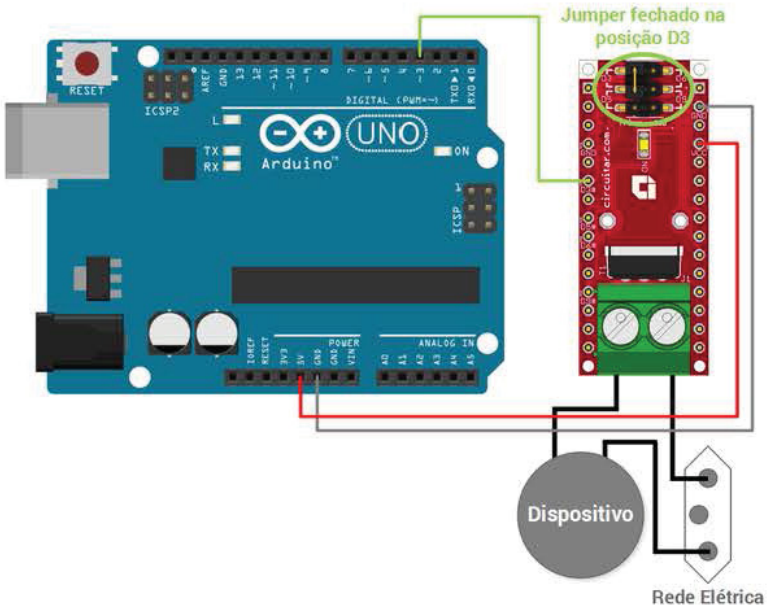
Diagrama Triac



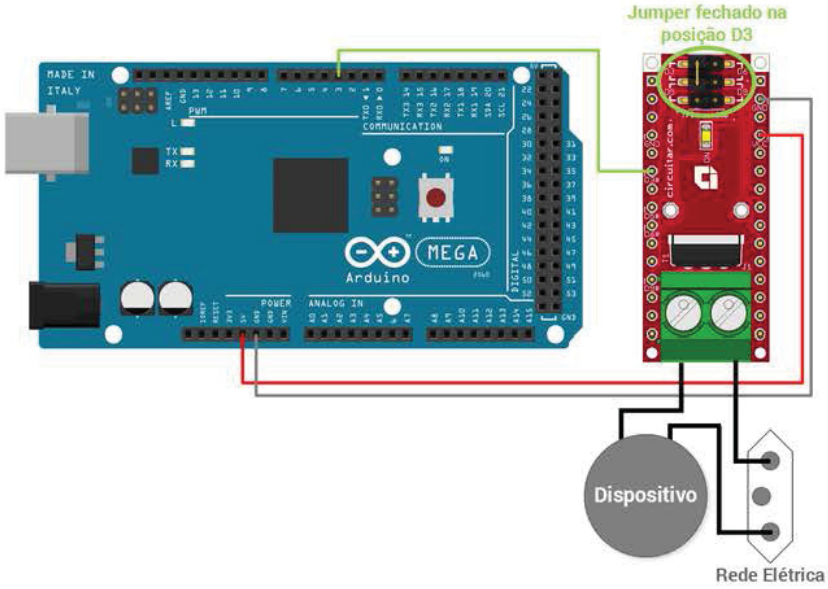
Ligação Triac

Conexão direta com Arduino

Os seguintes esquemas mostram como conectar o Nanoshield Triac diretamente a um Arduino UNO ou Arduino Mega.

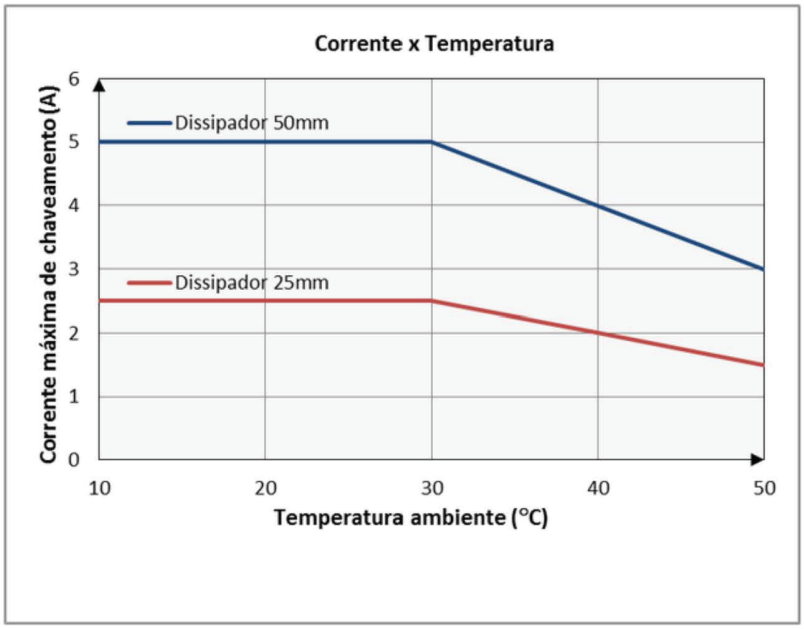


Ligação utilizando Arduino UNO (clique na imagem para ampliar)



Ligação utilizando Arduino Mega (clique na imagem para ampliar)

Capacidade de chaveamento



Máxima corrente de chaveamento recomendada vs. temperatura ambiente

Os limites de corrente indicados acima são para as situações onde não há fluxo de ar (como quando as placas estão instaladas no interior de uma caixa fechada por exemplo). Você pode extender esses limites adicionando ventilação extra através de coolers ou fendas na caixa, permitindo que o ar circule e ajude a resfriar os componentes.

Especificações elétricas

- Alimentação: é feita pelo pino VCC com intervalo de 4,5 até 5,5V (valor típico de 5V).
- Nível lógico: o acionamento do Triac pode ser feito com nível lógico de 5V ou 3,3V.

Recomendações de segurança

Siga as seguintes orientações antes de utilizar esse Nanoshield ou qualquer outro dispositivo que opere diretamente na rede elétrica:

- Tenha em mente que a rede AC pode ser muito perigosa. Acidentes podem causar ferimentos e até a morte, portanto só utilize esse equipamento se você tiver conhecimento sobre instalações elétricas e certeza do que está fazendo. Se você é iniciante no ramo e está se aventurando com eletrônica não utilize esse Nanoshield e nenhum outro equipamento que tenha ligação direta com a rede AC.
- Certifique-se de que a instalação elétrica do local segue as normas de segurança e possua disjuntor diferencial residual instalado.
- Nunca manuseie o dispositivo com a rede elétrica ligada; sempre desligue o disjuntor antes de fazer a ligação dos fios e qualquer configuração manual no sistema.
- Esse Nanoshield não possui dispositivos de proteção como fusíveis ou disjuntores; você deve instalá-los externamente de acordo com a necessidade do seu projeto.
- Se você deseja incluir esse módulo em um produto comercial, verifique as exigências necessárias quanto aos processos de certificação de segurança junto aos órgãos competentes.

Downloads

Projetos

Assine a nossa lista de e-mails e fique por dentro das novidades da Circuitar!

Seu email: Assinar

(https://www.facebook.com/circuitar.com.br)

(https://twitter.com/circuitar)

(https://plus.google.com/+CircuitarBr)

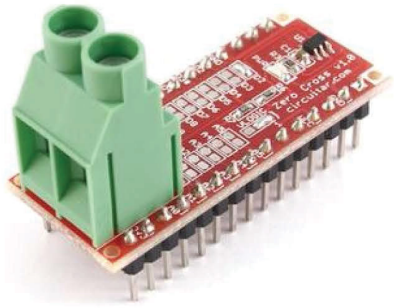
(https://github.com/circuitar)

Zero Cross

Detecção de zero da rede elétrica

(http://www.youtube.com/watch?v=TPkjRFkC9-s)

ATENÇÃO: esse módulo foi projetado para conexão direta à rede elétrica, e usá-lo de maneira inadequada gera riscos de CHOQUE ELÉTRICO e INCÊNDIO. Só faça projetos com esse módulo caso você já tenha experiência prévia em instalações elétricas, e siga com cuidado as recomendações de segurança no final desta página.



Ver modelo 3D

Comprar na Loja da Circuitar (/loja/produto/67/)

O Nanoshield Zero Cross permite que você identifique o momento em que a tensão da rede elétrica AC cruza a linha de zero volts. Isso possibilita o seu uso nas seguintes aplicações:

- Dimerização de lâmpadas incandescentes.
- Acionamento suave de cargas de alta potência, minimizando o ruído (veja também o Nanoshield Triac (/nanoshields/modulos/triac/)).
- Detecção de presença ou falta de energia elétrica.

Principais características:

- Pulso de saída centralizado na passagem por zero com duração constante de 1 milisegundo tanto para 127V como para 220V.
- Saída optoacoplada que isola a tensão AC dos demais circuitos e componentes DC.
- Circuito de detecção eficiente, que gera muito menos calor do que soluções que utilizam optoacopladores ligados diretamente a resistores de potência.
- Opção de saída 5V ou 3,3V, selecionável via jumper de solda (padrão: 5V).
- 17 opções para pino de saída, selecionáveis via jumper de solda (padrão: D2).
- LED de indicação de saída.

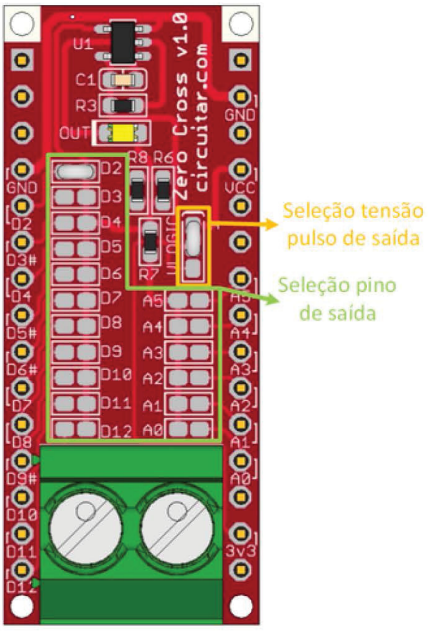
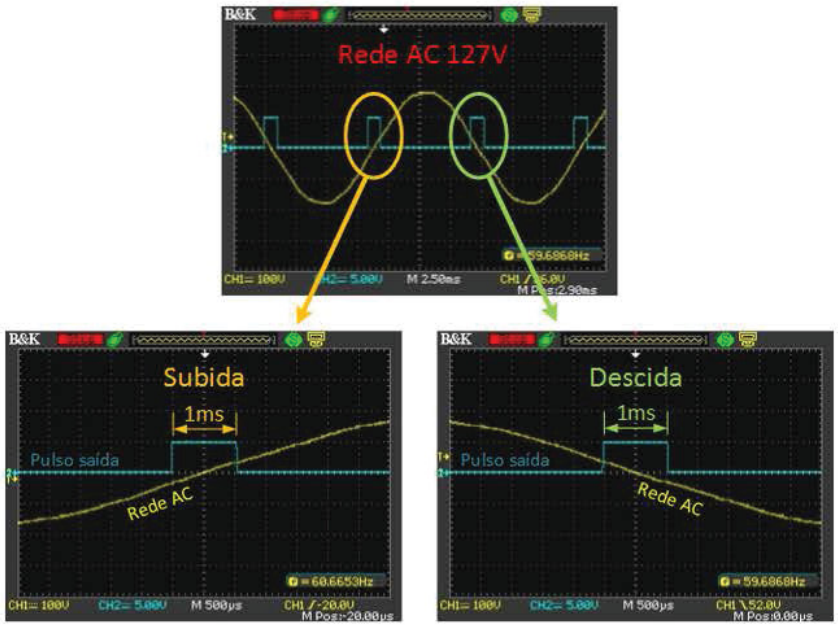
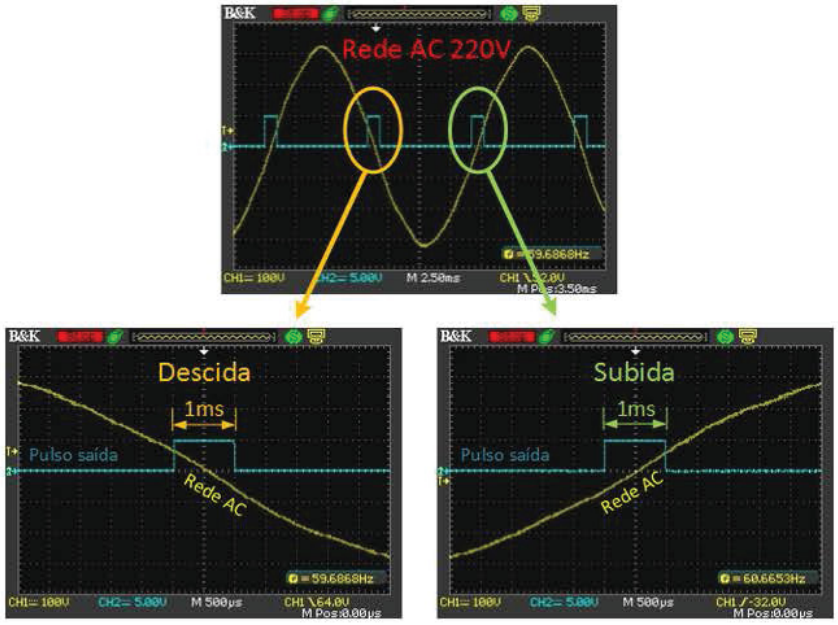


Diagrama Zero Cross



Cruzamento em zero 127V



Cruzamento em zero 220V

Código de exemplo

Especificações elétricas

- Alimentação: é feita pelo pino VCC com intervalo de 4,5V até 5,5V (valor típico 5V). Opcionalmente pode ser feita pelo 3V3, nesse caso deve-se alterar a configuração do jumper VLOGIC (siga as instruções contidas no esquemático).
- Consumo: o consumo máximo de corrente é de 3mA.
- Nível lógico: o sinal de saída vem configurado de fábrica para funcionar com nível lógico de 5V. Alterando-se o jumper VLOGIC é possível configurá-lo para funcionar com 3,3V (veja instruções no esquemático).

Recomendações de segurança

Siga as seguintes orientações antes de utilizar esse Nanoshield ou qualquer outro dispositivo que opere diretamente na rede elétrica:

- Tenha em mente que a rede AC pode ser muito perigosa. Acidentes podem causar ferimentos e até a morte, portanto só utilize esse equipamento se você tiver conhecimento sobre instalações elétricas e certeza do que está fazendo. Se você é iniciante no ramo e está se aventurando com eletrônica não utilize esse Nanoshield e nenhum outro equipamento que tenha ligação direta com a rede AC.
- Certifique-se de que a instalação elétrica do local segue as normas de segurança e possua disjuntor diferencial residual instalado.
- Nunca manuseie o dispositivo com a rede elétrica ligada; sempre desligue o disjuntor antes de fazer a ligação dos fios e qualquer configuração manual no sistema.

- Esse Nanoshield não possui dispositivos de proteção como fusíveis ou disjuntores; você deve instalá-los externamente de acordo com a necessidade do seu projeto.
- Se você deseja incluir esse módulo em um produto comercial, verifique as exigências necessárias quanto aos processos de certificação de segurança junto aos órgãos competentes.

Downloads

- Esquemático (/media/product/26/files/Zero_Cross_v1.0.pdf)

Projetos

Assine a nossa lista de e-mails e fique por dentro das novidades da Circuitar!

Seu email: Assinar

(https://www.facebook.com/circuitar.com.br)

(https://twitter.com/circuitar)

(https://plus.google.com/+CircuitarBr)

(https://github.com/circuitar)

Copyright © 2013 Circuitar Eletrônicos
Circuitar Eletrônicos, Importação e Exportação LTDA
CNPJ: 13.597.601/0001-75
ATENDIMENTO
contato@circuitar.com.br
ENDEREÇO
R. Conde do Pinhal, 2267 - Sala 404
São Carlos - SP - Brasil - 13560-648

PROPOSTA TÉCNICA

TERMOPAR TIPO K COM CONECTOR BANANA

MODELO: MTK-02



CARACTERÍSTICAS

- Tipo: K (Junção Chromel - Alumel).
- Faixa de Medida: -40°C ~ 250°C (-40°F ~ 480°F).
- Precisão: ± 0.75%Leit. ou ±2.2°C.
- Aplicação: Imersão.
- Comprimento do Cabo: Aprox. 1000mm.
- Comprimento do Sensor: Aprox. 80mm.
- Conector: Tipo Banana.

simpla **TE07**

TE07-01-1016

TERMÔMETRO DIGITAL TIPO ESPETO

MANUAL DE INSTRUÇÕES

1 - ESPECIFICAÇÕES

Faixa de medição	Resolução	Exatidão
-50.0 a 149.9 °C	0.1°C	± 1.0°C
150.0 a 199.9 °C	0.1°C	± 1%
200 a 300 °C	1°C	± 1%

- **Desligamento automático por inatividade:** 10 minutos
- **Temperatura de Operação:** 0 a 50°C
- **Umidade de Operação:** 10 a 90%UR (sem condensação)
- **Alimentação:** 1.5V (1 pilha LR44)
- **Dimensões totais (LxAxP):** 237 x 22 x 22 mm
  - **Haste (em aço inox):** 148mm (C) x 4mm (Ø)
- **Peso:** 25g (com pilha)
- **Recursos adicionais:**
  Registro de máximas e mínimas
  Congelamento da leitura - HOLD
  Seleção °C / °F

Antes de utilizar, examine o instrumento e os itens que o acompanham com atenção. Caso detecte alguma anormalidade, entre em contato com a AKSO.

2 - INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO

LIGAR / DESLIGAR

Para ligar / desligar o TE07, pressione o botão **ON/OFF**.

UNIDADE DE MEDIÇÃO

Para mudar a unidade de medição da temperatura entre °C (graus Celsius) e °F (graus Fahrenheit), pressione o botão **°C/°F**.

REGISTROS DE MÁXIMA E MÍNIMA - MAX/MIN

- Para visualizar as temperaturas máximas e mínimas medidas, pressione o botão **MAX/MIN**. Aparecerá no lado direito do visor a indicação correspondente, MAX ou MIN.
- Para reinicializar os registros de máxima ou mínima:
  1) Acesse a visualização de máxima ou de mínima;
  2) Mantenha pressionado o botão **MAX/MIN** por 3 segundos e solte o botão. O registro em visualização (MAX ou MIN) será reinicializado.

CONGELAMENTO DA LEITURA - HOLD

Para ativar/desativar o congelamento da leitura no visor, pressione o botão **HOLD**. Aparecerá no canto superior direito do visor a indicação HOLD, sinalizando que a função está ativa.

ESTE PRODUTO POSSUI GARANTIA DE 1 ANO
contra defeitos de fabricação.
Garantia e Suporte Técnico: garantia@akso.com.br

Importado e Distribuido por:
AKSO PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA.
www.akso.com.br • vendas@akso.com.br • **(51) 3406 1717**

Zilocchi Calibração

REMESP
REDE METROLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO
ASSOCIADO MANTENEDOR

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

SOLICITANTE:

Robson Luiz Moreno

Rua Prefeito Tigre Maia

37500-182, Bairro BPS, Itajubá, MG

EQUIPAMENTO:

Descrição: Multímetro Digital

Fabricante: Amprobe

Modelo: 34XR-A

Identificação: Não Possui

Número de Série: 10110520A

Data do Recebimento: 19/01/2018

DESCRIÇÃO DA CALIBRAÇÃO:

Foram realizadas 3 (três) medidas em cada ponto de calibração e os valores apresentados correspondem ao valor médio das mesmas. Os valores apresentados na coluna "Erro de Medição" correspondem a diferença entre as médias das leituras do instrumento sob calibração e do padrão utilizado (valores corrigidos pelo erro sistemático) e, como esse cálculo utiliza todos os algarismos significativos para arredondamento posterior, tais resultados podem não corresponder a operação de subtração matemática esperada.

Os valores apresentados na coluna "Valor Apresentado pelo Instrumento" correspondem ao valor médio de 3 (três) leituras realizadas pelo equipamento a calibrar e, como são utilizados todos os algarismos significativos no cálculo, tais números podem não ser configuráveis em uma operação de medição.

A incerteza expandida da medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência (k), o qual para uma distribuição *t* com *veff* graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

VALIDADE:

O certificado possui validade de um ano, contado a partir da data da calibração.

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS:

- PCVAC – 001 (rev. 00);
- PCVDC – 001 (rev. 00);
- PCRES – 001 (rev. 00);

Síntese: O instrumento foi calibrado por comparação com padrão de referência.

PADRÃO(ÕES) UTIIZADO(OS):

Descrição	Identificação	Número do Certificado	Validade
Multímetro de Bancada Fluke 8846A	PADZL01	RI 3034/17	Agosto de 2019

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO ENSAIO:

Temperatura: (22,1 ± 1,5) °C

Umidade Relativa: (49 ± 10) %

Executante: Giuliano Prete

Giuliano Prete

Engenheiro Eletricista

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

RESULTADOS OBTIDOS:

TENSÃO CONTÍNUA

Faixa: 0 - 400 mV						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (mV)	Valor Correto (mV)	Erro da Medição (mV)	Incerteza Expandida (mV)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (mV)	Conformidade
40,0	40,03	-0,03	0,06	2,00	∞	0,200	Conforme
200,1	200,09	0,01	0,06	2,00	1316620	1,001	Conforme
379,9	379,86	0,04	0,06	2,00	854764	1,900	Conforme
Faixa: 0 - 4 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
0,400	0,3999	-0,0003	0,0006	2,03	86	0,003	Conforme
2,002	2,0027	-0,0004	0,0006	2,00	705588	0,011	Conforme
3,802	3,8028	-0,0011	0,0006	2,00	91403	0,020	Conforme
Faixa: 0 - 40 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
3,99	3,997	-0,003	0,006	2,00	∞	0,030	Conforme
20,00	19,997	0,003	0,006	2,00	287762	0,110	Conforme
38,00	37,993	0,004	0,006	2,00	2667843	0,200	Conforme

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

Faixa: 0 - 400 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
40,0	40,054	-0,054	0,060	2,00	2750	0,300	Conforme
199,9	200,038	-0,138	0,060	2,00	336992	1,100	Conforme
380,0	379,940	0,027	0,061	2,00	7908	2,000	Conforme
Faixa: 0 - 1000 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
99	99,010	-0,010	0,577	2,00	∞	0,595	Conforme
500	500,674	-0,674	0,581	2,00	13292	2,600	Conforme
949	950,271	-1,271	0,581	2,00	24737	4,845	Conforme

TENSÃO ALTERNADA

Faixa: 0 - 400 mV						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (mV)	Valor Correto (mV)	Erro da Medição (mV)	Incerteza Expandida (mV)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (mV)	Conformidade
40,0	40,06	-0,06	0,41	2,00	∞	0,481	Conforme
200,0	199,91	0,09	0,44	2,00	2518027	2,401	Conforme
380,0	380,68	-0,68	0,51	2,00	∞	4,561	Conforme

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

Faixa: 0 - 4 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
0,400	0,4005	-0,0005	0,0041	2,00	∞	0,013	Conforme
2,000	1,9987	0,0013	0,0044	2,00	∞	0,032	Conforme
3,800	3,8067	-0,0067	0,0051	2,00	∞	0,054	Conforme
Faixa: 0 - 40 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
4,00	4,004	-0,004	0,041	2,00	∞	0,128	Conforme
20,02	19,999	0,017	0,047	2,02	139	0,320	Conforme
38,00	38,011	-0,011	0,055	2,02	127	0,536	Conforme
Faixa: 0 - 400 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
39,9	39,98	-0,08	0,23	2,00	∞	1,279	Conforme
200,2	200,27	-0,03	0,29	2,00	1390	3,203	Conforme
380,4	380,38	0,02	0,41	2,00	15243	5,365	Conforme
Faixa: 0 - 750 V						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (V)	Valor Correto (V)	Erro da Medição (V)	Incerteza Expandida (V)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (V)	Conformidade
75	75,04	-0,04	0,62	2,00	285004	1,700	Conforme
375	376,49	-1,49	0,70	2,00	7757	5,300	Conforme
712	712,64	-0,64	1,13	2,16	17	9,344	Conforme

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Faixa: 0 - 400 Ω						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (Ω)	Valor Correto (Ω)	Erro da Medição (Ω)	Incerteza Expandida (Ω)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (Ω)	Conformidade
40,0	35,09	4,92	0,06	2,00	∞	0,800	Não Conforme
200,0	195,69	4,31	0,06	2,00	∞	2,400	Não Conforme
380,0	376,34	3,66	0,06	2,00	∞	4,200	Conforme
Faixa: 0 - 4 kΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (kΩ)	Valor Correto (kΩ)	Erro da Medição (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (kΩ)	Conformidade
0,400	0,3836	0,0164	0,0006	2,00	∞	0,008	Não Conforme
2,000	1,9756	0,0244	0,0006	2,00	∞	0,024	Não Conforme
3,800	3,7645	0,0355	0,0006	2,00	∞	0,042	Conforme
Faixa: 0 - 40 kΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (kΩ)	Valor Correto (kΩ)	Erro da Medição (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (kΩ)	Conformidade
4,00	3,950	0,050	0,006	2,00	∞	0,080	Conforme
20,00	19,913	0,087	0,006	2,00	∞	0,240	Conforme
38,00	37,960	0,040	0,006	2,00	∞	0,420	Conforme

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Data da Calibração: 19/01/2018

Faixa: 0 - 400 kΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (kΩ)	Valor Correto (kΩ)	Erro da Medição (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (kΩ)	Conformidade
40,0	39,49	0,52	0,06	2,00	∞	0,800	Conforme
200,0	198,34	1,66	0,06	2,00	∞	2,400	Conforme
380,0	379,93	0,07	0,06	2,00	∞	4,200	Conforme

FIM DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0010/18

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

Zilocchi Calibração

REMESP
REDE METROLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO
ASSOCIADO MANTENEDOR

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0009/18

Data da Calibração: 19/01/2018

SOLICITANTE:

Robson Luiz Moreno

Rua Prefeito Tigre Maia

37500-182, Bairro BPS, Itajubá, MG

EQUIPAMENTO:

Descrição: Multímetro Digital

Fabricante: Fluke

Modelo: 115

Identificação: Não Possui

Número de Série: 34301697WS

Data do Recebimento: 19/01/2018

DESCRIÇÃO DA CALIBRAÇÃO:

Foram realizadas 3 (três) medidas em cada ponto de calibração e os valores apresentados correspondem ao valor médio das mesmas. Os valores apresentados na coluna "Erro de Medição" correspondem a diferença entre as médias das leituras do instrumento sob calibração e do padrão utilizado (valores corrigidos pelo erro sistemático) e, como esse cálculo utiliza todos os algarismos significativos para arredondamento posterior, tais resultados podem não corresponder a operação de subtração matemática esperada.

Os valores apresentados na coluna "Valor Apresentado pelo Instrumento" correspondem ao valor médio de 3 (três) leituras realizadas pelo equipamento a calibrar e, como são utilizados todos os algarismos significativos no cálculo, tais números podem não ser configuráveis em uma operação de medição.

A incerteza expandida da medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência (k), o qual para uma distribuição *t* com *veff* graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

VALIDADE:

O certificado possui validade de um ano, contado a partir da data da calibração.

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0009/18

Data da Calibração: 19/01/2018

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS:

- PCIAC – 001 (rev. 00);
- PCRES – 001 (rev. 00);

Síntese: O instrumento foi calibrado por comparação com padrão de referência.

PADRÃO(ÕES) UTIIZADO(OS):

Descrição	Identificação	Número do Certificado	Validade
Multímetro de Bancada Fluke 8846A	PADZL01	RI 3034/17	Agosto de 2019

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO ENSAIO:

Temperatura: (22,1 ± 1,5) °C

Umidade Relativa: (49 ± 10) %

Executante: Giuliano Prete

Giuliano Prete

Engenheiro Eletricista

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0009/18

Data da Calibração: 19/01/2018

RESULTADOS OBTIDOS:

CORRENTE ALTERNADA

Faixa: 0 - 6 A						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (A)	Valor Correto (A)	Erro da Medição (A)	Incerteza Expandida (A)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (A)	Conformidade
0,595	0,59528	-0,00061	0,00168	2,00	663919	0,012	Conforme
3,000	3,00381	-0,00348	0,01603	2,00	686	0,048	Conforme
5,699	5,69867	0,00033	0,02240	2,00	128301	0,088	Conforme
Faixa: 6 - 10 A						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (A)	Valor Correto (A)	Erro da Medição (A)	Incerteza Expandida (A)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (A)	Conformidade
5,98	5,9816	-0,0049	0,0240	2,00	7778	0,120	Conforme
7,50	7,4996	-0,0030	0,0285	2,00	1536	0,142	Conforme
9,00	8,9933	0,0033	0,0348	2,02	126	0,165	Conforme

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Faixa: 0 - 600 Ω						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (Ω)	Valor Correto (Ω)	Erro da Medição (Ω)	Incerteza Expandida (Ω)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (Ω)	Conformidade
60,0	59,90	0,10	0,06	2,00	13377	0,740	Conforme
300,0	299,89	0,11	0,06	2,00	∞	2,900	Conforme
570,0	569,86	0,14	0,06	2,00	∞	5,330	Conforme

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0009/18

Data da Calibração: 19/01/2018

Faixa: 600 Ω - 6 kΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (kΩ)	Valor Correto (kΩ)	Erro da Medição (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (kΩ)	Conformidade
0,600	0,6003	-0,0003	0,0006	2,00	∞	0,006	Conforme
3,000	2,9997	0,0003	0,0006	2,00	∞	0,028	Conforme
5,700	5,7012	-0,0012	0,0006	2,00	∞	0,052	Conforme
Faixa: 6 kΩ - 60 kΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (kΩ)	Valor Correto (kΩ)	Erro da Medição (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (kΩ)	Conformidade
6,00	6,004	-0,004	0,006	2,00	∞	0,064	Conforme
30,00	30,000	0,000	0,006	2,00	∞	0,280	Conforme
57,00	57,006	-0,006	0,006	2,00	∞	0,523	Conforme
Faixa: 60 kΩ - 600 kΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (kΩ)	Valor Correto (kΩ)	Erro da Medição (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (kΩ)	Conformidade
60,0	60,01	-0,01	0,06	2,00	∞	0,640	Conforme
300,0	300,20	-0,20	0,06	2,00	∞	2,800	Conforme
570,0	570,40	-0,40	0,06	2,00	∞	5,230	Conforme

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0009/18

Data da Calibração: 19/01/2018

Faixa: 600 kΩ - 6 MΩ						Instrumento Sob Calibração	
Valor Apresentado pelo Instrumento (MΩ)	Valor Correto (MΩ)	Erro da Medição (MΩ)	Incerteza Expandida (MΩ)	Fator K	Graus de Liberdade Efetivos	EMA (MΩ)	Conformidade
0,600	0,6004	-0,0004	0,0006	2,00	∞	0,015	Conforme
3,000	3,0023	-0,0023	0,0006	2,00	∞	0,037	Conforme
5,700	5,7049	-0,0049	0,0006	2,00	∞	0,061	Conforme

FIM DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO: 0009/18

Este relatório segue a norma 17025. É valido somente para o equipamento calibrado. Sua reprodução deve ser total e sem nenhuma alteração. Qualquer reprodução parcial deste requer autorização escrita do laboratório.

Certificado de Calibração nº 29688

Objeto: Termômetro Digital tipo Espeto

Nº de autenticação: ----

Fabricante: Instrusul **Modelo:** INS-07 **Série:** 21286

Cliente: Robson Moreno
Itajuba - MG

Data da calibração: 24/01/2018 **Data da emissão:** 24/01/2018

Procedimento: Os procedimentos utilizados para a calibração estão de acordo com o MT 004 ed. 01 rev.00.

Padrões Utilizados:

- Medidor de Umidade e Temperatura com certificado de calibração 67.967/2015 - Validade: 04/2018.

Rastreabilidade:

- Termohigrômetro Digital com certificado de calibração RBC LV24865-14-RO.
- Termohigrômetro Digital(Ambiente) com certificado de calibração RBC LV27330-14-RO.
- Barômetro Digital com certificado de calibração RBC LV25315-14-RO.

Condições Ambientais: Temperatura: 23 ± 3°C Umidade Relativa do Ar: entre 35 e 70%

Incerteza de Medição: Vide tabela de resultados para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

RESULTADOS OBTIDOS

	CALIBRAÇÃO		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
VM	10,2	30,1	70,1
VVC	10,0	30,0	70,0
EM	0,2	0,1	0,1
IM	0,5	0,5	0,5
k	2,0	2,0	2,0

CONVENÇÕES	
VVC	Valor Verdadeiro Convencional
VM	Valor Médio de cada ponto
EM	Erro de Medição (VM - VVC)
IM	Incerteza de Medição, para um nível de confiança de 95 %.

Fernando Kauer
Responsável Técnico
CREA: RS177080

Análise da Calibração:
☐ Aprovado
☐ Reprovado

- Não é permitida a reprodução parcial deste documento sem a prévia autorização da Instrusul Instrumentos de Medição.
- Os resultados são válidos somente para o estado do objeto no momento da medição.

instrusul@instrusul.com.br
Rua Padre Claret, 863 - CEP 93280-260 - Centro - Esteio - Fone 51 3459.6491
www.instrusul.com.br