

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE SECAGEM CERÂMICA

Everto Jucelin Braz Gonçalves (Universidade Federal do Amazonas-UFAM)
everton.jbg@gmail.com

Rodrigo Bísvaro Nogueira (Universidade Federal do Amazonas-UFAM)
rodrigobiscaro@gmail.com

Resumo

O trabalho consistiu no desenvolvimento e construção de um sistema de monitoramento de secagem cerâmica utilizando plataforma Arduino e sensores de temperatura, umidade do ar, umidade de solo (higrômetro) e de deslocamento. Os resultados alcançados são funcionais e promissores, permitindo monitorar e avaliara os principais parâmetros de uma estufa de secagem cerâmica industrial, possibilitando o controle e otimização do processo de secagem e a melhora da qualidade dos produtos.

Palavras-Chaves: Produto cerâmico; Estufa de secagem; Sistema de monitoramento.

1. Introdução

A cerâmica é um material inserido na história da humanidade usado para auxiliar na agricultura em forma de vasilhames para transporte e posteriormente para outros fins, como urnas funerárias, utensílios domésticos e utensílios musicais. A forma de manipulação e a diversificação dos tipos de argila fizeram com que novos materiais fossem produzidos, dando-os novas propriedades como resistência térmica, mecânica, química, condutividade elétrica e propriedades magnéticas ou óticas para usos específicos (ROCHA; SUAREZ; GUIMARÃES, 2014).

A indústria cerâmica brasileira tem uma grande importância para o país, estando espalhada pelo Brasil e próxima do mercado consumidor, gerando tanto divisas quanto emprego para a população. Esse setor, que corresponde a 0,75% do PIB nacional e 3,75% do PIB industrial, tem um potencial de crescimento, gerando demanda de mão-de-obra qualificada, principalmente no nível técnico (PRADO; BRESSIANI, 2013).

Na construção civil, a cerâmica deve ser de qualidade, isto é, não pode possuir peças defeituosas como rachaduras e ou qualquer outro defeito que venha a prejudicar a estrutura na qual será empregada. Com isso, as indústrias cerâmicas, para se encaixar no mercado competitivo, estão cada vez mais preocupadas com essa qualidade exigida e procuram se adequar as normas brasileiras (Tijolos maciços: NBR 6460/83, NBR 7170/83, NBR 8041/83;

Blocos vazados: NBR 6461/83, NBR 8043/83, NBR 7171/92, NBR 8042/92) (BATISTA; NASCIMENTO; LIMA, 2008).

O estudo do processo de secagem é alvo de pesquisas, pois é considerado a principal etapa na confecção das cerâmicas, visto que quando se trata de uma produção de escala industrial, processos de secagem por um longo período implicam em aumento de custos (VIEIRA; FEITOSA; MONTEIRO, 2003).

A automação surge como uma solução aos problemas de processos e de controle de processos. Surgiu para facilitar a vida do homem, e quando se fala em facilitar, refere-se aos processos produtivos, tornando-os em um sistema otimizado capaz de produzir com um menor custo, menor tempo e com maior qualidade (VILELA; VIDAL, 2003). Os sistemas automatizados muitas vezes envolvem grande complexidade e altos custos, além de ser um processo lento incluindo não só a compra de equipamentos, como treinamento de pessoal e perdas e transtornos com a interrupção da produção (VILELA e VIDAL, 2003). Nesse contexto, destacam-se plataformas que permitem a automação com baixo custo, fácil utilização, pequeno porte, de código aberto e de fácil aquisição, como o Arduino, ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente por meio de sensores (DA SILVA e PEREZ, 2013).

Durante o processo de secagem, a cerâmica pode apresentar defeitos irreversíveis, como o aparecimento de trincas, deformações e empenamentos. São causados pela elevada temperatura no interior e com o ressecamento da superfície da cerâmica crua, no qual a água do interior, ao ser expelida para fora, gera trincas e rachaduras na peça, sendo agravadas durante o processo de queima da cerâmica. Isto gera perda da qualidade do produto final, ou sua perda total, diminuindo a produtividade do processo e aumentando custos operacionais (CADÉ; NASCIMENTO; DE LIMA, 2005).

Diante da importância apresentada, o objetivo principal desta pesquisa é a construção de um sistema de monitoramento de secagem cerâmica. Para se alcançar este objetivo, a pesquisa foi dividida na construção do sistema, calibração dos sensores de umidade e posicionamento, teste em laboratório e em campo e análise dos resultados.

2. Fundamentação teórica

2.1. Processo de fabricação da cerâmica

Segundo Utlu e Hepbasli (2014, apud Dincer; Sahin, 2004) os processos de fabricação de materiais cerâmicos se assemelham parcial ou totalmente. O modo que será fabricado depende

do material desejado e, de um modo geral, a fabricação compreende as etapas de preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças e tratamento térmico.

2.1.1. Preparação da matéria-prima e da massa

Grande parte das matérias-primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional é natural, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. O processo de fabricação, propriamente dito, tem início somente após a mineração, e o beneficiamento dos minerais, isto é, desagrega-los ou moê-los, classificando-os de acordo com a granulometria.

Os materiais cerâmicos geralmente são fabricados a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água ou outro meio. Uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e dos aditivos, que deve seguir com rigor as formulações de massas, previamente estabelecidas. Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças (KENJINISHIHORA et al., 2017).

2.1.2 Conformação das peças

Segundo ABCERAM (2016), existem diversos processos para dar forma às peças cerâmicas, e a seleção de um deles depende fundamentalmente de fatores econômicos, da geometria e das características do produto. São eles:

Colagem – é posta a massa cerâmica em moldes de gesso e deixados até que a água seja absorvida pelo mesmo, assim o produto apresentará uma forma externa que reproduz a forma interna do molde de gesso.

Extrusão – A massa plástica é colocada numa extrusora, também conhecida como maromba, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de bocal com determinado formato, obtendo-se uma coluna extrudada. Em seguida essa coluna é cortada na dimensão desejada.

Prensagem – Nesse processo a massa plástica é posta em moldes de borracha ou outro material polimérico e prensados por uma prensa hidráulica, exercendo uma forte pressão, por igual, no molde.

2.1.3. Tratamento térmico

Ainda segundo ABCERAM (2016), o desenvolvimento das propriedades finais dos produtos cerâmicos depende do tratamento térmico. Esse tratamento compreende as etapas:

Secagem – A água proveniente da preparação da massa deve ser eliminada a fim de evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50 °C e 150 °C.

Queima – Nessa operação, conhecida também por sinterização, os produtos adquirem suas propriedades finais. As peças, após secagem, são submetidas a um tratamento térmico a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800 °C a 1700 °C,

2.2. Processo de secagem cerâmica

Após a etapa de conformação, ainda pode conter uma grande quantidade de água na massa proveniente de sua preparação, sendo assim necessário haver a eliminação dessa água a fim de evitar possíveis defeitos na peça durante o processo de queima, o que torna, então, o processo de secagem uma etapa fundamental na fabricação de materiais cerâmicos. Neste cenário, empresários sempre buscam formas de prover um processo de secagem mais eficiente, estudando formas de agilizar o processo de secagem, diminuindo o tempo em estufa e aumentando a qualidade do produto e, principalmente, formas de substituir a secagem natural, que é uma produção lenta sob a ação do Sol e do vento (MOURA, 2001).

Existem muitos estudos a respeito de melhores técnicas para o processo de secagem provendo um processo mais rápido e econômico. Utlu e Hepbasli (2014) afirmam que as fontes de energia usadas para o processo de secagem geram altos custos de investimento e são consumidos continuamente, sendo assim de suma importância estudos visando otimizar essa etapa do processo de fabricação.

Utlu e Hepbasli (2014) comparam os processos de secagem por pulverização, secagem vertical e secagem diretamente no forno relacionando as perdas energéticas e exergéticas e custos de capital para esses processos de secagem.

2.2.1. Defeitos no processo de secagem cerâmica

A secagem é uma etapa das mais essenciais do processo de produção da cerâmica, pois afeta os custos e a qualidade final da peça. Nessa etapa surgem gradientes de temperatura e umidade no interior da cerâmica. O ressecamento superficial e a alta temperatura interna da peça fazem com que a água do interior da cerâmica crua, proveniente do preparo da massa, ao ser expelida para fora, gera trincas e rachaduras, que são agravadas no processo de queima (DA SILVA et al., 2013).

O resultado e o tempo de duração do processo de secagem dependem da espessura e das propriedades requeridas, para isso a taxa de evaporação e o tempo de secagem devem ser ajustados. Se a taxa de evaporação for elevada, pode ocasionar fissuras na superfície, bem como o oposto, a taxa de evaporação ser muito baixa pode ocorrer de o limite de escoamento da peça ser baixo o suficiente para não sustentar o formato da peça ou o tempo de secagem ser muito longo de forma que o tempo de fabricação seja inaceitavelmente longo. O mesmo argumento é válido para o tempo de secagem, se muito curto pode ocorrer fissuras na superfície ou descamação das camadas mais fracas, se muito longo pode ocorrer deformação. Consequentemente, é desejável uma taxa de evaporação elevada a ponto de não ocasionar fissuras e um tempo de secagem baixo de forma que a peça não se deforme (GHAZANFARI et al., 2017).

2.3. Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software. É capaz de ler entradas – luz em um sensor, acionamento de botões, mudança de temperatura em um sensor – e transformá-las em uma saída – ativando um motor, acendendo uma luz, dentre outros. Foi inventado por Ivrea Interaction Design Institute como uma ferramenta para prototipagem de forma simples e rápida, destinada a estudantes sem experiência eletrônica e programação. As placas Arduino são baratas e comparação a outras plataformas de microcontroladores, funciona em todos os sistemas operacionais mais conhecidos – Windows, Macintosh OSX e Linux (ARDUINO, 2017).

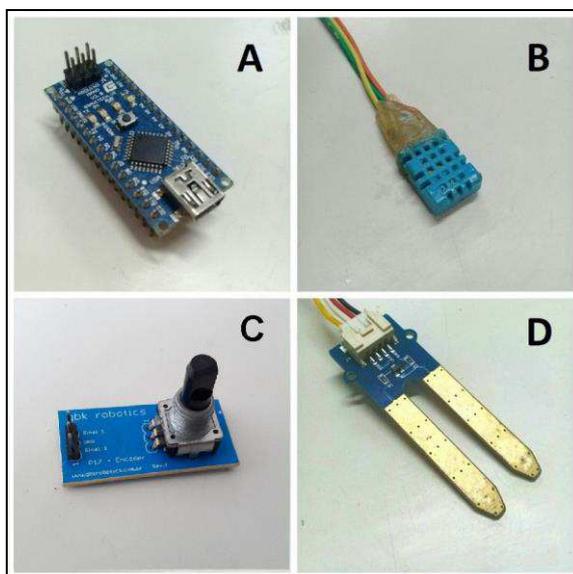
3. Desenvolvimento do sistema de monitoramento

O sistema de monitoramento foi desenvolvido usando plataforma Arduino Nano (Figura 1 - A), para interligar os sensores de temperatura e umidade do ar, de velocidade e umidade do tijolo, que serão gravados em tempo real em um cartão Security Disc (SD) instalado na placa. A temperatura e umidade do ar foram monitorados usando o sensor DHT11 (Figura 1 - B).

Para medir a umidade do tijolo foi adaptado um higrômetro de solo (Figura 1 - D) preso a um tijolo por um sistema que proporcionou pressão constante do sensor no tijolo, desenvolvido utilizando um sistema simples de placas paralelas presas por uma mola.

Para o monitoramento da posição dos tijolos dentro da estufa de secagem, foi adaptado um sistema de contagem de giros P17 Encoder (Figura 1 - C) de forma que seja possível sua acoplagem na barra de sustentação do carro, possibilitando assim calcular a distância percorrida pelo carro e sua posição.

Figura 1 - Componentes do sistema: A - Arduino Nano; B - Sensor DHT11; C – P17 Encoder; D - Sensor higrômetro



Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

Foi desenvolvido uma caixa isolante de isopor (Figura 8) para que o calor da estufa, que pode chegar entre 80 a 100 °C não viesse a danificar os componentes eletrônicos do sistema de monitoramento e a bateria usada como fonte de alimentação de energia.

Figura 2 - Caixa isolante para o sistema



Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

Foi desenvolvido o sistema que manterá o higrômetro preso no tijolo. Foi feito de alumínio e duas molas simulando uma garra (Figura 2), de forma que mantenha uma pressão por igual e constante em todo o sensor, mesmo com contração do tijolo conforme vai perdendo umidade durante a secagem, a fim de evitar erros na leitura. A garra de fixação foi envolvida com fita

isolante para que não gerasse erro – tal erro estava fazendo com que os dados retornados pelo higrômetro variassem de forma que não dava para determinar qual valor era o correto.

Figura 3 – Sistema de presilha para o higrômetro



Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

Foi adaptado o sensor de giros (Figura 9) de forma que possa ser obtido a posição do carro na estufa. O contador de giros possui 24 posições para que realize um giro completo de 360°. Utilizando uma roda feita de madeira de 4cm de diâmetro e envolvida com uma borracha para evitar deslizamento quando em contato com a roda do carrinho, foi feito o seguinte cálculo: $\text{distancia} = (\text{pos} * 0.55) / 100$, no qual a **distância** é a distância percorrida, **pos** é a posição do sensor, **0,55** é o perímetro da roda de madeira dividido por 24 – número de posições do sensor - e o **100** é para que o resultado seja dado em metros. A barra metálica do sensor de posição é para a fixação na barra de sustentação do carro.

Figura 4 - sensor de rotação adaptado

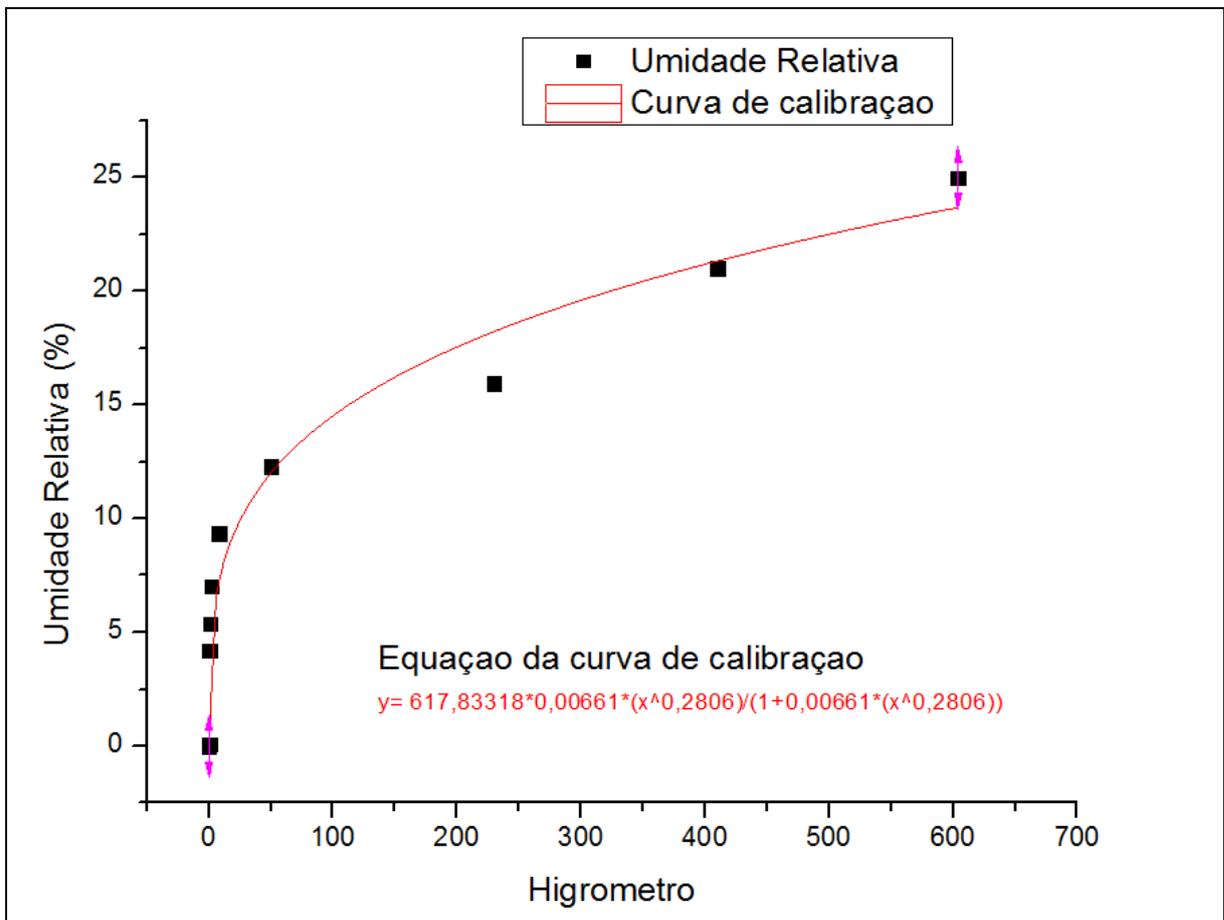


Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

3.1. Calibração do higrômetro

O sensor de umidade foi calibrado previamente utilizando amostras de um tijolo cru em uma estufa no laboratório. Primeiramente foi medido a massa úmida desse tijolo e verificado a umidade utilizando o higrômetro, em seguida, o tijolo foi mantido em estufa a 80°C, inicialmente, por períodos de 30 minutos, retirado da estufa, medido sua massa e verificado o valor retornado pelo higrômetro após cada período. Após quatro horas a coleta de dados foi feita de uma em uma hora até que não se verificasse mais perda de peso no tijolo. A umidade relativa (Ur) foi calculada utilizando a equação: $Ur = \frac{M_u - M_s}{M_s}$, sendo, M_u a massa úmida e M_s massa seca. Foi montado uma curva de calibração (figura 5) com os valores obtidos pelo higrômetro e pelo cálculo da umidade relativa. Com a curva de calibração, pôde-se encontrar uma função que se aproximasse da curva encontrada durante a calibração, podendo assim utilizar a função para saber qual a relação do valor retornado pelo higrômetro com a umidade relativa da massa cerâmica.

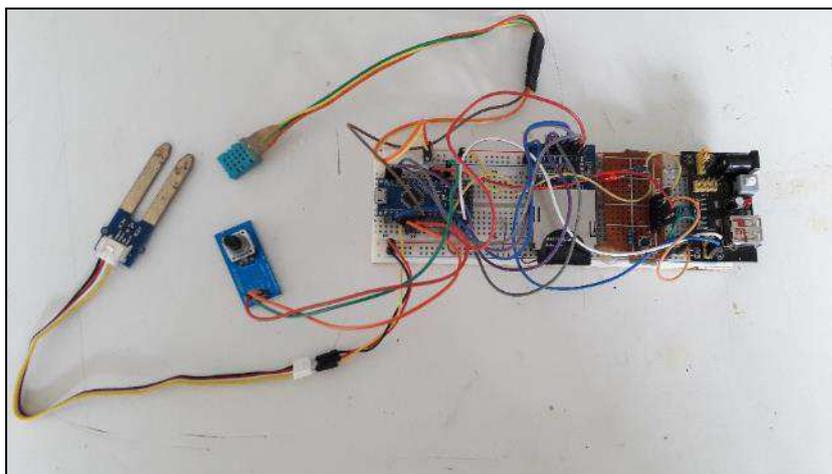
Figura 5 – Curva de calibração do higrômetro.



3.2. Funcionamento do sistema

O sistema Arduino foi desenvolvido (Figura 6) sendo testado apenas em laboratório o seu funcionamento básico, como leitura dos sensores, retorno de dados para o usuário, gravação dos dados no cartão SD e durabilidade da bateria.

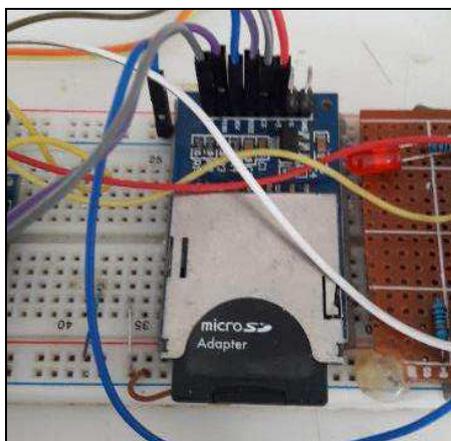
Figura 6 - Sistema Arduino de monitoramento



Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

Foi adaptado o leitor de cartão SD (Figura 7) no sistema para que fosse gravado os dados coletados. Os dados coletados são salvos em um arquivo de texto contendo o tempo de funcionamento em horas, minutos e segundos, a temperatura do ar em graus Celsius, a umidade do ar em porcentagem, umidade relativa da massa cerâmica em porcentagem e o deslocamento do carrinho na estufa em metros (Figura 8). A gravação é realizada a cada 1 minuto de funcionamento.

Figura 7 - Leitor de cartão SD



Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

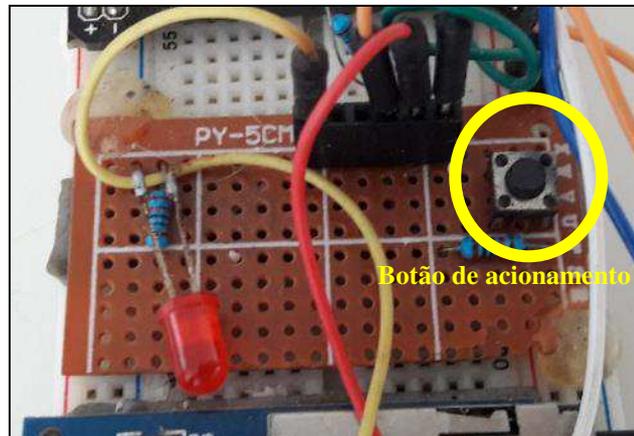
Figura 8 - Dados coletados após teste de funcionamento

TEMPO	TEMPERATURA	UMID-AR	UMID-TIJ	DESLOCAMENTO
0:0:0	28.00	34.00	22	0.00
0:1:0	28.00	34.00	22	0.00
0:2:0	28.00	34.00	22	0.00
0:3:0	28.00	34.00	22	0.00
0:4:0	28.00	34.00	22	0.00
0:5:0	28.00	34.00	22	0.00
0:6:0	28.00	34.00	22	0.00
0:7:0	28.00	34.00	22	0.00
0:7:0	28.00	34.00	22	0.00
0:8:0	28.00	34.00	22	0.00

Fonte: Print screen do arquivo gerado pelo sistema de monitoramento

O sistema segue uma ordem de funcionamento, no qual quando o botão de acionamento é pressionado (Figura 9), é sinalizado com um LED que o foi ligado o sistema. Quando ligado é feita a verificação do funcionamento dos sensores, caso tenha algum problema, é gravado no cartão SD o erro, do contrário entra em um ciclo de leitura e gravação dos dados coletados em texto no cartão SD. Mais detalhes de todo o funcionamento do sistema podem ser verificados no código fonte do projeto que se encontra no Apêndice A.

Figura 9 - Módulo de acionamento do sistema



Fonte: Fotografado pelos autores, 2017

3.3. Teste do sistema em laboratório

O sistema de monitoramento foi ligado e deixado funcionando durante três dias para testar, principalmente, a durabilidade da bateria escolhida. Pôde-se observar o aquecimento do próprio sistema pelo consumo de energia pelo Arduino e pelos sensores, chegando a um pico máximo de temperatura dentro da caixa de isolamento de 30°C, o que não compromete os componentes eletrônicos. Após o teste foi gerado um arquivo com 76 páginas de dados.

4. Conclusão

O sistema de monitoramento é prático simples e funcional, construído com componentes de baixo custo. Os sensores adaptados desempenharam papel para o qual foram propostos. O sistema obteve um bom funcionamento durante o período de testes em laboratório.

O tempo de duração em média da cerâmica em uma estufa é de 36 horas e o sistema conseguiu funcionar sem que houvesse problemas com a bateria durante 3 dias ininterruptos, o que deixa uma margem de segurança sem que haja perda de dados devido a possíveis problemas na estufa de secagem.

Durante o teste do higrômetro, pôde-se observar uma faixa de leitura que vai de 0 a 650, que foram convertidos para umidade relativa após a sua calibração – sendo 0 uma umidade relativa de aproximadamente 6% e 650 uma umidade relativa de 24,15% na cerâmica.

O sensor de rotação retorna os dados em metros, o que será utilizado para estipular a posição do sistema de monitoramento dentro da estufa de secagem. Sua precisão de posicionamento tem um erro de 1 cm, o que não interfere na análise dos dados.

Os dados gerados pelo sistema possibilitam a análise da correlação entre a tempo de secagem, a temperatura e umidade da estufa e o posicionamento do carrinho de secagem com a umidade relativa do material cerâmico.

5. Referências

ABCERAM. INFORMAÇÕES TÉCNICAS - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO. **Associação Brasileira de Cerâmica - ABCERAM**, 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

ARDUINO. What is Arduino? **Arduino**, 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>>. Acesso em: 25 Outubro 2017.

BATISTA, V. R.; NASCIMENTO, J. J. S.; LIMA, A. G. B. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande - PB, v. 3.1, p. 46-61, Maio 2008. ISSN 1809-8797.

CADÉ, M. A.; NASCIMENTO, J.S.S ; DE LIMA, A.G.B. Secagem de Tijolos Cerâmicos Vazados: Uma Aproximação por Volumes Finitos. **Revista Matéria**, Campina Grande - PB, v. 10, p. 443-453, 2005. ISSN 15177076.

DA SILVA, L. D. et al. Descrição da secagem de placas cerâmicas por meio de um modelo de difusão. **Cerâmica 59**, Campina Grande, p. 409-416, 2013.

DA SILVA, E. G.; PEREZ, A. L. APLICAÇÃO DE HARDWARE DE BAIXO CUSTO NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL. **2º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul**, Araranguá, 2013.

GHAZANFARI, A. et al. A novel freeform extrusion fabrication process for producing solid ceramic components with uniform layered radiation drying. **Additive Manufacturing**, v. 15, p. 102-112, Maio 2017.

KENJINISHIHORA, R. et al. Manufacturing porous ceramic materials by tape casting—A review. **Journal of the European Ceramic Society**, Novembro 2017.

MEZQUITA, A. et al. How to reduce energy and water consumption in the preparation of raw materials for ceramic tile manufacturing: Dry versus wet route. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1566-1570, 2017.

MOURA, A. Secagem. **ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica**, 2001. Disponível em: <<http://anicer.com.br/secagem/>>. Acesso em: Dezembro 2017.

PRADO, U. S.; BRESSIANI, J. C. Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década. **Cerâmica Industrial**, São Paulo - SP, Janeiro 2013.

ROCHA, F. N.; SUAREZ, P. A. Z.; GUIMARÃES, E. M. Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos. **Revista Virtual de Química**, v. 6, p. 1105-1120, Junho 2014. ISSN 1984 - 6835.

VIEIRA, C. M.; FEITOSA, H. S.; MONTEIRO, S. N. Avaliação da Secagem de Cerâmica Vermelha Através da Curva de Bigot. **Cerâmica Industrial**, Rio de Janeiro - RJ, Janeiro 2003.

VILELA, P. S.; VIDAL, F. J. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **Redes para Automação Industrial**, Natal, Maio 2003.

UTLU, Z.; HEPBASLI, A. Exergoeconomic analysis of energy utilization. **Applied Thermal Engineering**, p. 748-762, 2014. ISSN 1359-4311.

APÊNDICE A

Código embarcado no microcontrolador ATmega328P (Plataforma Arduino)

```
#####BIBLIOTECAS#####  
#include <SPI.h>  
#include "DHT.h"  
#include <SD.h>  
#include <RotaryEncoder.h>  
#####variáveis#####  
int led=2; // led no pino 2  
int botao=3; // botão no pino 3  
int var=0; // valor instantaneo enviado pelo botão  
int var2=0; // valor guardado  
int estado=0; // guarda o valor 0 ou 1 (HIGH ou LOW)  
int grava = 1; // variavel para gravar a cada 1 minuto, recebe 1 de início para gravar o  
primeiro valor qnd liga o sistema  
  
//Pinos de ligacao do encoder  
RotaryEncoder encoder(A3, A2);  
float distancia = 0;  
const int chipSelect = 10; //pino do leitor sd  
  
//variaveis pro relógio  
int seg=0,min=0, hor=00;  
  
File data;  
String espaco = (" ");  
  
long previousMillis = 0; // Variável de controle do tempo  
long redLedInterval = 1000; // Tempo em ms do intervalo a ser executado  
long interval = 1000;  
#####TEMPERATURA EXTERNA DO AR#####  
#define DHTPIN A1 // pino que estamos conectado  
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
```

```

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float umidade_ar, temp_externa; // Variável que recebe o valor convertido para
temperatura.

float ler_temp_externa(){ //temperatura externa
temp_externa = dht.readTemperature();

// testa se retorno é válido, caso contrário algo está errado.
if (isnan(temp_externa)){
Serial.println("Failed to read from DHT");
}
else{
return temp_externa;
}
temp_externa=0;
}

#####UMIDADE DO AR#####
float ler_umidade_ar(){
umidade_ar = dht.readHumidity();
if (isnan(umidade_ar)){
Serial.println("Failed to read from DHT");
}
else{
return umidade_ar;
}
umidade_ar=0;
}

#####HIGROMETRO -- SOLO#####
int um_solo;
int ler_higrometro(){
um_solo = analogRead(A0); //pino Analógico 1 para sensor de umidade so solo
//um_solo = map(um_solo, 0, 950, 0, 100); //funcao para ir so ate 100 em porcentagem
return um_solo;
analogWrite(A0,LOW); //desliga temp externo
}

```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //dht.begin();
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("SD não encontrado");
    return;
  }
  Serial.println("SD inicializado");
  Serial.print("Tempo    ");
  Serial.print("T.Ext    ");
  Serial.print("Um.Ar    ");
  Serial.print("Um.Solo  ");
  Serial.print("Distancia ");
  Serial.println(" ");

  pinMode(led,OUTPUT);
  pinMode(botao,INPUT);
  digitalWrite(led, LOW); // desliga o led

  PCICR |= (1 << PCIE1); // This enables Pin Change Interrupt 1 that covers the
  Analog input pins or Port C.
  PCMSK1 |= (1 << PCINT10) | (1 << PCINT11); // This enables the interrupt for pin
  2 and 3 of Port C.
}
ISR(PCINT1_vect) {
  encoder.tick(); // just call tick() to check the state.
}

void loop() {
  float temperatura_externa, umidade_ar;
  int higrometro;

  var=digitalRead(botao); // ler o valor enviado pelo botão: "HIGH" ou "LOW"
  if ((var == HIGH) && (var2 == LOW)) {

```

```

estado = 1 - estado;
delay(500);
}
var2=var;
if (estado == 1) {
    digitalWrite(led, HIGH); // liga o led

#####Lógica de verificação do tempo#####
    if(seg>=60) {
        seg = 0;
        grava = 1;
        min++;
    } if(min>=60) {
        min = 0;
        hor++;
    }

    unsigned long currentMillis = millis(); //Tempo atual em ms

    if (currentMillis - previousMillis > interval) {
        previousMillis = currentMillis; // Salva o tempo atual
        if(grava==1){
            temperatura_externa = ler_temp_externa();
            umidade_ar = ler_umidade_ar();
            higrometro = ler_higrometro();
#####Verifica a posição#####
            static int pos = 0;

            int newPos = encoder.getPosition();
            if (pos != newPos) {
                pos = newPos;
                distancia = (pos*0.55)/100;
            }
##### mostra no Monitor Serial #####
            Serial.print(hor);

```

```

Serial.print(":");
Serial.print(min);
Serial.print(":");
Serial.print(seg);
Serial.print(espaco);

Serial.print(temperatura_externa); // Exibe o valor de temperatura no display.
Serial.print(espaco);

Serial.print(umidade_ar); // Exibe o valor da umidade do ar
Serial.print(" %");
Serial.print(espaco);

Serial.print(higrometro,DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(espaco);

Serial.print(distancia);
Serial.println(" m"); // Exibe a distância percorrida
#####Grava as leituras no cartão SD #####
//Abre o documento para gravação
File dataFile = SD.open("arquivo.doc", FILE_WRITE);
// Grava os dados no arquivo
if (dataFile){
    dataFile.print(hor);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(min);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(seg);
    dataFile.print(espaco);

    dataFile.print(temperatura_externa);
    dataFile.print(espaco);

    dataFile.print(umidade_ar);

```

```
dataFile.print(espaco);

dataFile.print(higrometro, DEC);
dataFile.print(espaco);

dataFile.println(distancia);

dataFile.close();
}else {
##Mensagem de erro caso ocorra algum problema
na abertura do arquivo##
Serial.println("Erro ao abrir arquivo.txt !");
}
}
grava = 0;
seg=seg+1;//incrementa os segundos 60
}

}else{
grava = 1;
digitalWrite(led, LOW); // desliga o led
}

}
```