

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

BRUNO PACCOLA MEIRELLES

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DE LEIRA DE COMPOSTAGEM POR
SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2016**

BRUNO PACCOLA MEIRELLES

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DE LEIRA DE COMPOSTAGEM POR
SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Janksyn Bertozzi.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Tatiane Cristina Dal Bosco.

LONDRINA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DE LEIRA DE COMPOSTAGEM POR SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

por

BRUNO PACCOLA MEIRELLES

Monografia apresentada no dia 27 de Junho de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Profa. MSc. Flavia Gonçalves
(UTFPR)

Profa. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco
(UTFPR)

Prof. Dr. Ismael de Marchi Neto
(UTFPR)

Prof. Dr. Janksyn Bertozzi
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso"

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento vai a Deus por ter escolhido os melhores pais (Walter e Luzia) a me trazerem ao mundo, sempre me apoiando e incentivando em todas as minhas decisões. Amo vocês!

Ao meu irmão Vinicius, que mesmo morando longe, sempre esteve em meus pensamentos. Sempre foi e sempre será minha inspiração e meu orgulho.

Ao meu orientador, professor Janksyn Bertozzi e, co-orientadora, professora Tatiane Cristina Dal Bosco pela oportunidade, orientação e dedicação a este trabalho.

Aos professores Ismael de Marchi Neto e Flávia Gonçalves por aceitarem participar da banca de defesa e pelas contribuições para o trabalho.

À Embrapa Soja e ao Claudio Brigano por abrirem as portas para a realização deste trabalho.

À UTFPR e a todos meus professores pela formação acadêmica adquirida ao final desses bons anos de graduação.

À UTFPR pela oportunidade de ser bolsista do projeto que deu origem a este trabalho.

À CAPES, CNPq e Empresas parceiras pela financiamento do programa Ciências sem Fronteiras que me possibilitou experiência única de ensino e vivência pessoal fora do país.

Por último, mas não menos importante, aos amigos que fiz durante a faculdade e a você, saibam que permanecerão pelo resto de minha vida em meus pensamentos e em meu coração.

RESUMO

MEIRELLES, Bruno Paccola. **Monitoramento de temperatura de leira de compostagem por sistema de aquisição de dados**. 2016. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.

O gerenciamento dos resíduos sólidos é um grande desafio dado a grande quantidade gerada diariamente em todo o mundo. Uma parte desses resíduos são de origem orgânica e podem ter destinos mais proveitosos do que simplesmente serem encaminhados aos aterros sanitários. Além da geração de resíduos sólidos orgânicos em domicílios, estes são gerados também em empresas que buscam novas formas de destinação, a fim de diminuir custos e buscar o seu tratamento. Uma possibilidade para tanto é o processo de compostagem. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi monitorar, com alta frequência de coleta de dados, a temperatura da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos gerados pelas atividades de pesquisas e podas das árvores na Embrapa Soja – Londrina/PR. Para tanto, desenvolveu-se um sistema de coleta de temperaturas, com a plataforma de protótipos Arduino, que permitiu indicar o comportamento da atividade microbiológica de uma leira durante o processo de compostagem. Foram instalados 56 sensores que registraram a temperatura da leira em intervalos de uma hora. A montagem da leira foi realizada conforme a prática cotidiana da Embrapa Soja e análises físico-químicas do material compostado foram realizadas no início e no final do processo. A temperatura média da leira foi de 38,72 °C, sendo a máxima observada de 72,25 °C e a mínima de 14 °C. A fase termofílica teve duração de 97 dias. A elevada quantidade de chuvas no período da pesquisa interferiu no processo, pois elevaram em demasia a umidade do meio e dificultaram os processos de revolvimento para a aeração e mistura do material. A relação C/N do material foi reduzida em 34% e no final do processo foi de 8,15/1, sendo considerado, portanto, um composto maturado. As temperaturas acima dos 55°C por 43 dias indicam condição favorável para a inativação das sementes de soja compostadas. A plataforma baseada no Arduino se mostrou uma ferramenta versátil, de fácil implementação e de fácil manuseio para as coletas de dados do processo de compostagem, contribuindo para a otimização do controle e do trabalho de campo. O sistema automatizado para coleta de temperaturas se mostrou eficaz e evidenciou os gradientes de temperatura durante o processo de compostagem.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Arduino. Automação.

ABSTRACT

MEIRELLES, Bruno Paccola. **Temperature monitoring of a composting windrow using a data acquisition system**. 2016. 72 f. Undergraduate thesis (Bachelor degree in Environmental Engineering) – Department of Environmental Engineering, Federal University of Technology – Paraná. Londrina, 2016.

The solid waste management is a challenge yet to be solved, given the large amount generated every day around the world. Part of these are organic waste that can have more useful disposal than simply being sent to landfills. Besides generating organic solid waste in households there is also companies seeking new ways to allocate the waste in order to reduce the costs of disposal and also with the treatment of solid waste. One of these destinations is the composting process. Accordingly, the aim of this paper was to monitor with high rate of data acquisition the composting process of organic solid waste generated by the research and tree pruning activities inside the *Embrapa Soja – Londrina/PR*. Using the Arduino prototyping platform a automated temperature acquisition system was developed allowing to monitor the microbiological activity of the windrow during the composting process. 56 sensors were used to provide temperature data in a time interval of 1 hour. The composting windrow was assembled according to the company everyday practices and physiochemical analyses of the composted materials were conducted at the beginning and the end of the process. The medium temperature of the windrow was 38,72 °C with a maximum of 72,25 °C and a minimum of 14 °C. The thermophilic phase lasted for 97 days. High rates of precipitation occurred during the experiment period interfering on the process because it raised excessively the humidity inside the windrow and hampered the revolving procedure for aeration and material blend. The C/N ratio was reduced at a rate of 34% and at the end of the process was 8,15/1, being considered a matured compound. Temperatures higher than 55 °C during 43 days indicate favorable condition for inactivation of composted soy seeds. The Arduino based platform proved to be a versatile tool of ease implementation and manipulation to use on data acquisition on composting environments, contributing to the control and field work optimization. The automated temperature acquisition system was very effective and evidenced the temperature gradients during the composting process.

Keywords: Solid Waste. Arduino. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do processo de compostagem e seus componentes	13
Figura 2 - Fases do processo de compostagem.	15
Figura 3 – Fazenda experimental da Embrapa Soja/Londrina-PR.....	23
Figura 4 – Montagem da Leira. Parte dos grãos utilizados como matéria prima	24
Figura 5 - Disposição de outra parcela dos grãos utilizados.....	25
Figura 6 – Materiais utilizados na leira sendo dispostos no pátio de compostagem	25
Figura 7 – Material inoculante utilizado na montagem.....	26
Figura 8 – Representação do formato e dimensões da leira.	26
Figura 9 – Placa Arduino Mega 2560.....	28
Figura 10 - Diagrama esquemático da placa de interfaceamento de sensores a placa Arduino Mega 2560	29
Figura 11 - DS18B20 <i>Waterproof Sensor</i>	30
Figura 12 – Cabo sobre leira de compostagem onde foram soldados os sensores.	31
Figura 13 – Leira finalizada com sensores instalados.	34
Figura 14 – Gráfico das temperaturas médias diárias da leira.....	36
Figura 15 – Temperaturas registradas no mês de Outubro.	38
Figura 16 - Temperaturas registradas no mês de Novembro.	39
Figura 17 – Temperaturas registradas no mês de Dezembro.....	40
Figura 18 – Temperaturas registradas no mês de Janeiro.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datas de realização dos eventos de compostagem efetuada nas dependências da EMBRAPA Soja / Londrina/PR no ano de 2015.....	27
Tabela 2 – Posição dos sensors na leira antes do revolvimento.	32
Tabela 3 – Posição dos sensores após o revolvimento.	33
Tabela 4 – Análise estatística do teor de Nitrogênio, carbono, relação C/N, pH e % de umidade dos resíduos no início e no fim do processo de compostagem.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	COMPOSTAGEM	13
3.2	AUTOMAÇÃO.....	20
3.2.1	Arduino	20
3.2.2	Sensor de Temperatura DS18B20	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	23
4.2	LEIRA DE COMPOSTAGEM.....	23
4.3	ANÁLISE DOS RESÍDUOS E DO COMPOSTO FINAL	27
4.4	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA	28
4.4.1	Sensor de Temperatura	30
4.4.2	<i>Data logger</i>	30
4.5	INSTALAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA	31
4.6	MONITORAMENTO DA TEMPERATURA	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	SISTEMA DE COLETA DE DADOS.....	35
5.1.1	Automação.....	35
5.1.2	Programação do Arduino.....	35
5.2	DADOS DE TEMPERATURA COLETADOS.....	36
5.3	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS RESÍDUOS E DO COMPOSTO ..	42
5.4	INATIVAÇÃO DAS SEMENTES.....	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
7	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICES	52

1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna enfrenta o desafio diário do gerenciamento de resíduos sólidos. A quantidade gerada é cada vez maior e a diversidade de materiais que compõe estes resíduos acompanha o desenvolvimento tecnológico de produção industrial. Deste modo, se faz urgente a necessidade de implantação de sistemas de coleta seletiva por parte dos municípios e empresas visando o gerenciamento adequado de cada uma das frações que compõe os resíduos: a fração orgânica, a fração reciclável e os rejeitos. Só assim será possível minimizar o uso de espaços nos aterros sanitários, evitar a disposição final inadequada de resíduos e cumprir com a escala hierárquica prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que estabelece a seguinte ordem de prioridades para o gerenciamento: a não geração de resíduos; a redução; a reutilização; a reciclagem; o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

Uma das formas de promover o tratamento da fração orgânica dos resíduos é a compostagem, que consiste em um processo aeróbico, termofílico, no qual diferentes espécies de microrganismos atuam na degradação da matéria orgânica, resultando em um composto rico em nutrientes, possível de ser aplicado ao solo, como adubo. Os resíduos orgânicos são empilhados, constituindo o que se conhece por leiras, e o sucesso da compostagem depende do monitoramento e do ajuste de alguns parâmetros, como por exemplo, aeração, umidade, temperatura, pH, tamanho de partículas e relação C/N.

Este monitoramento requer a disponibilidade de mão-de-obra e observa-se que este é um dos problemas enfrentados por municípios e empresas que realizam a compostagem. Um dos parâmetros de fundamental importância para a tomada de decisão e conhecimento do desempenho da compostagem é a temperatura. Ela reflete a atividade microbiana, indica a necessidade de intervenção (como aeração e umidificação) e aponta as fases da compostagem. Deste modo, o monitoramento da temperatura nos pátios de compostagem contribui para a otimização do processo e implica na diminuição dos custos envolvidos, por reduzir a necessidade de mão-de-obra disponível.

Neste sentido, o presente trabalho objetivou aplicar um sistema de aquisição de dados no monitoramento da temperatura de uma leira de compostagem. Sensores conectados a um microprocessador foram utilizados para monitorar e salvar os dados obtidos, permitindo, pela alta frequência de aquisição de dados, um melhor entendimento do processo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar um sistema automatizado de coleta de dados de temperatura em uma leira de compostagem de resíduos orgânicos provenientes de culturas agrícolas e podas de árvores.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a viabilidade do emprego de sensores de temperatura e um *data logger* para coleta de dados de temperatura em leiras de compostagem;
- Verificar se existe uniformidade no comportamento dos sensores de temperatura em diferentes pontos da leira de compostagem, com alta frequência de coleta de dados;
- Comparar as temperaturas coletadas pelos sensores e o *data logger*, durante o processo de compostagem, com aquelas descritas na literatura para a inativação dos grãos usados na leira.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 COMPOSTAGEM

A compostagem é uma técnica de processamento de resíduos muito antiga, utilizada desde as primeiras sociedades agrícolas (SILVA, 2007). Pode ser definida como um processo de decomposição biológica, aeróbia, controlada e de estabilização da matéria orgânica sólida de origem vegetal e/ou animal, produzindo vapor de água, gás carbônico e um composto final rico em matéria orgânica mais humificada (VALENTE et al., 2009; KIEHL, 2004; SILVA, 2007) (Figura 1).

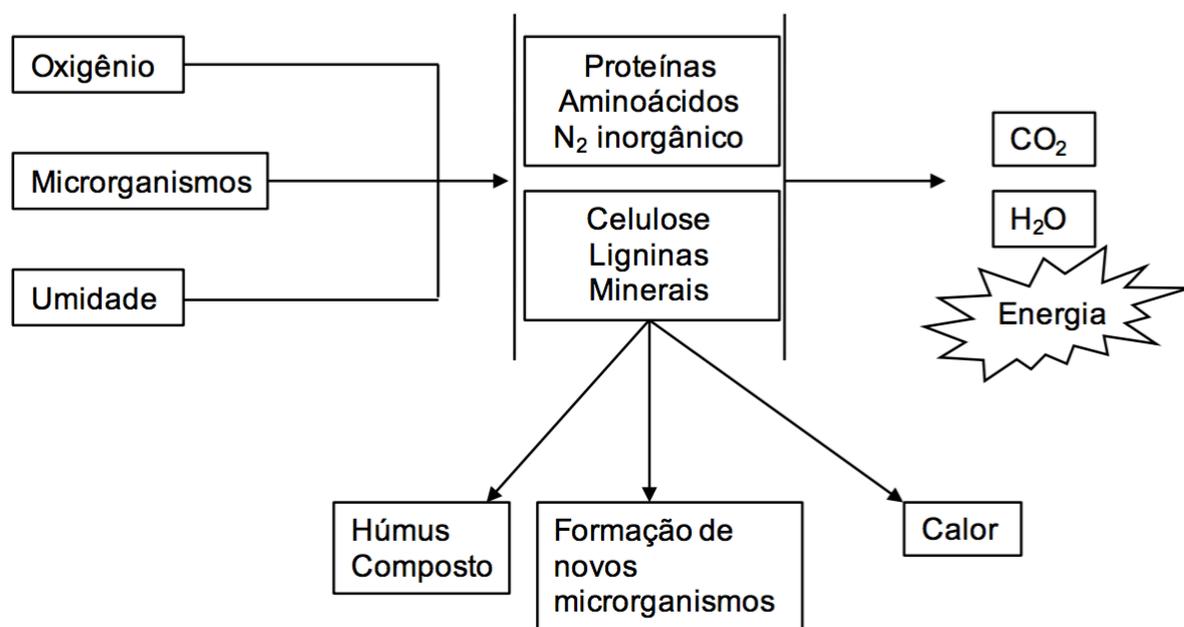


Figura 1 - Representação esquemática do processo de compostagem e seus componentes.

Fonte: Silva, 2007

A decomposição biológica eficiente resulta em temperaturas termofílicas com obtenção de um produto final estável, sanitizado, rico em compostos húmicos (VALENTE et al., 2009 e KIEHL, 2010), cuja utilização no solo pode suprir, aos

sistemas agrícolas, boa parte da demanda de insumos, sem afetar os recursos do solo e do ambiente (TEIXEIRA, 2002).

Os resíduos orgânicos vegetais e animais são excelentes fontes para o processo de compostagem. Os primeiros estudos referentes ao processo de compostagem foram realizados na década de 50 por pesquisadores da Universidade da Califórnia e demonstraram a influência de microrganismos, da aeração, da umidade e temperatura na degradação da matéria orgânica (ALVES, 1996).

Os principais fatores que influem no processo de compostagem são: temperatura, aeração, teor de umidade, relação C/N, pH e tamanho de partículas (MATOS, 2014; KIEHL, 2004).

Além da presença dos microrganismos para a decomposição da matéria orgânica (GOMES; PACHECO, 1988) é necessária umidade variando entre 40% e 60% (OLIVEIRA et al., 2004). Condições diferentes destas podem aumentar o tempo de produção do composto e/ou resultar na produção de chorume, o que não é desejável.

Segundo Kiehl (1998) o processo de compostagem é desenvolvido em três fases: a primeira é rápida e fitotóxica, de composto cru ou imaturo. A segunda fase é considerada a fase de semicura ou de bioestabilização, e a terceira fase, a chamada fase de humificação, é acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica.

Já Fernandes et al. (2004) descrevem a compostagem como tendo somente duas fases (Figura 2): a primeira, chamada de fase termofílica, onde ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas e é nela que pode ser visto um aumento na temperatura; a segunda, a fase de maturação, onde predominam as reações mesofílicas, em que prevalecem temperaturas moderadas, levando ao processo de humificação dos materiais orgânicos compostados, resultando na produção do composto propriamente dito (MATOS et al., 1998; NEGRO et al., 1999).

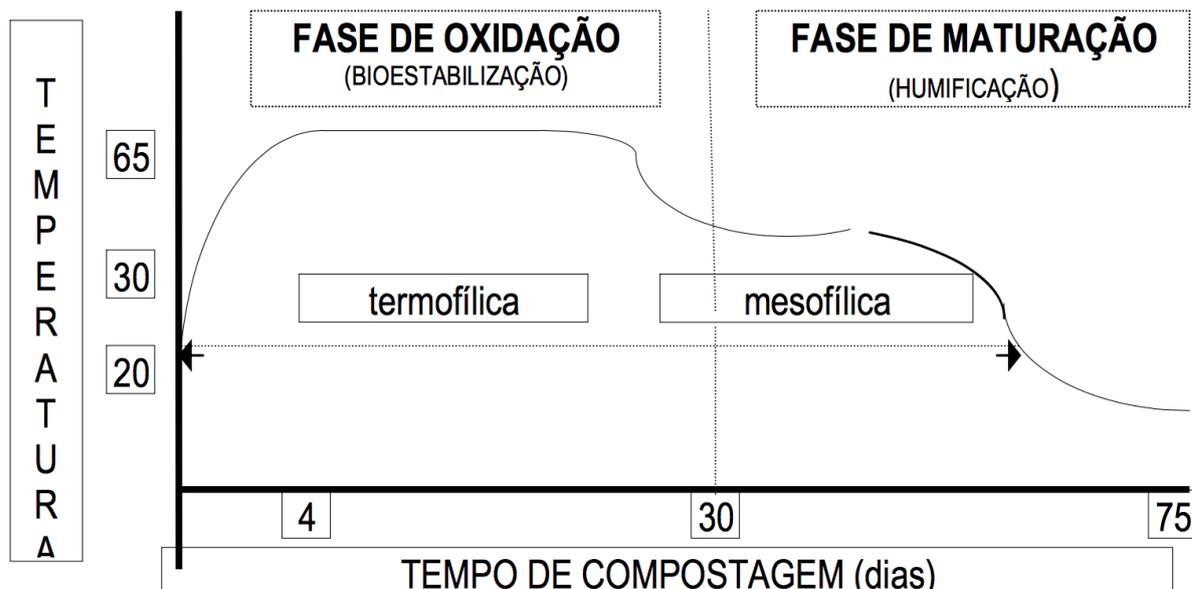


Figura 2 - Fases do processo de compostagem.

Fonte: FERNANDES et al., 2004

A temperatura é um dos fatores mais importantes na compostagem e é dependente da atividade microbiana ao longo do processo de degradação. A elevação da temperatura é o resultado das reações de oxidação do material orgânico pelos microrganismos (TEIXEIRA, 2014). De acordo com Kiehl (1985) e Trautmann et al., (2005), três fases distintas podem ocorrer durante a compostagem com relação à temperatura. A primeira, chamada de fase mesofílica, a degradação do material orgânico ocorre sob temperaturas inferiores a 45 °C, sendo os microrganismos mesófilos os responsáveis pela quebra inicial dos componentes, tornando-os mais facilmente degradáveis. Quando a temperatura atinge os 45°C, os organismos mesófilos perdem a concorrência para os organismos termófilos, iniciando a segunda fase, chamada de termofílica, que pode durar de dias a meses. Segundo Peixoto (1988) nesta fase ocorre a máxima decomposição dos compostos orgânicos, sendo considerada uma fase de degradação ativa de polissacarídeos como o amido, a celulose e as proteínas, transformando-os em subprodutos que serão utilizados pela microbiota (PEREIRA NETO, 2007). Esta degradação do substrato pelos microrganismos leva a uma diminuição da relação C/N (KIEHL, 2004). Com o passar do tempo os nutrientes disponíveis para degradação ficam escassos e a temperatura começa a cair. Tem início então a terceira fase, chamada de maturação (TRAUTMANN et al., 2005).

Durante a segunda fase, a termofílica, as temperaturas podem atingir 75°C ou mais, porém nessa temperatura alguns microrganismos decompositores não resistiriam e morreriam, o que não seria saudável para o processo. Sendo assim, o recomendado é que a temperatura fique na casa dos 60°C para não prejudicar os agentes biológicos (KIEHL, 1998).

A variabilidade da população de microrganismos é influenciada pela temperatura da compostagem, pois quando o processo atinge temperaturas elevadas, ocorre a eliminação de microrganismos sensíveis a altas temperaturas. Alguns patógenos podem ser inativados em temperaturas variando de 55 a 65°C por um período de 3 a 4 dias nas leiras de compostagem aeradas estáticas. Pereira Neto (2004) ressalta que em temperaturas superiores a 65°C podem ocorrer não só a decomposição de nutrientes de interesse como também a eliminação de microrganismos benéficos ao processo.

Na fase de maturação, a temperatura da leira decresce gradualmente, se igualando à temperatura ambiente. Nesta fase, surgem novamente as comunidades mesófilas (VALENTE *et al.*, 2009), que, segundo Tuomela *et al.* (2000), atuam na humificação do composto por meio da degradação de compostos mais resistentes como a hemicelulose e a lignina. O composto humificado não produz efeitos inibitórios ou fitotóxicos às plantas (VALENTE *et al.*, 2009).

Respeitar os limites máximos de temperatura nas leiras de compostagem é desejável, pois leva a uma redução nos microrganismos patogênicos, os quais geralmente são mesofílicos, não sobrevivendo em temperaturas acima de 50°C (FINSTEIN *et al.*, 1987). Por outro lado, temperaturas acima de 70°C, por longos períodos, podem insolubilizar proteínas hidrossolúveis (KIEHL, 1985; 2004).

Segundo Valente *et al.*, (2009) um processo de compostagem torna-se mais eficiente quando temperaturas termófilas são mantidas, por reduzir um maior número de microrganismos patogênicos, além de diminuir os fatores fitotóxicos, que inibem a germinação de sementes, levando à obtenção de um fertilizante mais homogêneo, de boa qualidade e higienicamente seguro.

A aeração da leira é um fator imprescindível para a manutenção do processo aeróbio da compostagem, pois é através dela que acontece a oxigenação do meio. O material empilhado não pode ficar com excesso de compactação, assim, ele deve ser revolvido periodicamente para que o oxigênio não seja exaurido da leira

(OLIVEIRA et al., 2004). Ocorrendo a fermentação na ausência do ar, haverá perda de nitrogênio, liberação de odores desagradáveis e proliferação de moscas.

O fornecimento inadequado de oxigênio, seja por ausência ou diminuição, induz à fermentação com perda de nitrogênio. O processo passa a ser anaeróbio ou semi-anaeróbio, o que diminui a degradação da matéria orgânica, resultando em um processo menos eficiente. A aeração ajuda ainda a manter a temperatura do processo em uma faixa adequada ao desenvolvimento de microrganismos decompositores. Uma aeração eficaz evita a formação e liberação de odores desagradáveis e também previne a atração e proliferação de moscas e outros insetos no local (FIALHO et al., 2005; KIEHL, 2010; OLIVEIRA et al., 2004).

Segundo Fialho et al. (2005) existem duas formas de fazer a aeração da leira de compostagem: pelo revolvimento mecânico ou pela aeração forçada. O revolvimento mecânico é o método mais empregado no Brasil devido ao baixo custo de implantação e por ser mais simples do que o método de aeração forçada. O trabalho é feito com o auxílio de maquinários, como pás carregadeiras, o que demanda mão-de-obra constante como também uma área maior onde será feita a compostagem para manobra e manejo dos equipamentos, aumentando o custo operacional do processo (PAIVA, 2011). Já Azevedo (1993) afirmou ser essa a forma de compostagem que apresenta menor custo, porém com o inconveniente da falta de controle preciso sobre as variáveis operacionais do processo. Além do mais, a aeração, neste caso, só ocorre, a grosso modo, quando é feito o revolvimento da leira. Desta forma, o oxigênio disponível para os microrganismos aeróbios acaba se tornando escasso em pouco tempo, o que acarreta a desaceleração da decomposição da matéria orgânica, a proliferação de insetos e a produção de chorume, com exalação de mau cheiro (INÁCIO, 2009; KIEHL, 2010).

Neste sistema a leira deve apresentar configuração geométrica, sendo as pilhas formadas em formato cônico, quando as quantidades de resíduos forem menores, ou leiras trapezoidais, quando as quantidades de resíduos forem maiores (PAIVA, 2008).

Já a aeração forçada busca contornar os problemas apresentados pelo do revolvimento mecânico. A aeração, nesse caso, é feita por insuflação ou sucção de ar na massa em compostagem, utilizando ventiladores ou tubulações perfuradas e inseridas, não necessariamente, no chão onde serão construídas as leiras, podendo ser alocadas no interior das mesmas. Por cima das tubulações, deve ser disposta

uma camada de cavacos de madeira ou cascas de árvores para evitar a obstrução dos furos por onde ocorrerá o fluxo de ar. Conectados a essas tubulações, os ventiladores, ou compressores, farão a injeção ou aspiração de ar para que o mesmo entre na leira (INÁCIO, 2009 e KIEHL, 2010). Esse método comparado ao revolvimento mecânico, demanda menos mão-de-obra e menor custo operacional, menor área empregada para a compostagem e pode ser realizada em qualquer condição climática, já que não há revolvimento do material em compostagem (SILVA et al., 2008). Com a maior disponibilidade de oxigênio, a atividade de decomposição aeróbia será maior, conseqüentemente reduzindo a compactação da leira, a produção de chorume, o mau cheiro e a presença de insetos no local (KIEHL, 2010; PEREIRA NETO, 1987). Neste sistema de aeração forçada, o provimento de oxigênio é realizado de forma mais eficiente comparado ao sistema de aeração mecânica, visto que aumenta a taxa de degradação bioquímica do material e, conseqüentemente, reduz o período de compostagem.

Segundo Fernandes et al. (1999), o teor de umidade deve ser monitorado no decorrer de todo o processo de compostagem, pois a queda da taxa de água no sistema pode ocasionar queda da atividade biológica, reduzindo a taxa de decomposição da matéria orgânica. Como a compostagem é um processo biológico, a umidade contida na leira é muito importante e é dependente de parâmetros como o tipo de matéria orgânica utilizada, o tamanho das partículas, a configuração da leira, o sistema e forma de aeração, entre outros (OLIVEIRA et al., 2008).

O teor ótimo de umidade está entre 50 e 60% e o controle da mesma pode ser feito por meio da mistura de componentes ou pela adição de água via irrigação. O excesso de umidade também traz malefícios ao processo, pois se houver quantidade excessiva de água na leira, poderá ocorrer a ocupação de espaços vazios no meio impedindo a difusão de oxigênio (OLIVEIRA et al., 2004; FERNANDES et al., 1999). Assim, o material deve mostrar-se úmido, sem, entretanto, deixar escorrer água quando prensado (OLIVEIRA et al., 2004).

Inácio (2009), Fernandes et al. (1999) e Kiehl (2010) descreveram que o teor mínimo de umidade não deve ser inferior a 40%, uma vez que abaixo desta taxa, a atividade microbiana se torna mínima e insuficiente para manutenção da compostagem.

Os microrganismos envolvidos no processo de compostagem dependem das fontes de C e de N para obter energia e para a síntese de proteínas,

respectivamente. Assim a relação C/N deve ser determinada no material a ser compostado e no produto final, para efeito de qualidade do composto (MORREL et al., 1985). Durante o processo de compostagem verifica-se uma redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam CO₂ através da sua respiração (ZHANG; HE, 2006), diminuindo assim a concentração de C. Segundo a Kiehl (2004) a relação C:N ideal para iniciar o processo de compostagem está entre 25:1 e 35:1, porém estes valores não podem ser absolutos, pois podem variar dependendo das características do material a ser compostado (VALENTE et al., 2009).

A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem está entre 5,5 e 8,5 (RODRIGUES et al., 2006). No entanto, Pereira Neto (2007) descreve que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa de pH entre 4,5 e 9,5, pois os microrganismos podem regular estes extremos por meio da degradação dos compostos, gerando subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio. Além disso, no início da decomposição ocorre a formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, o que torna o meio mais ácido em relação ao inicial. Esta fase caracteriza-se pela presença de intensa atividade de microrganismos mesófilos, que elevam a temperatura da massa a aproximadamente 40-45°C e, em decorrência de sua atividade, liberam também C orgânico na forma de CO₂ para a atmosfera (TUOMELA et al., 2000; VALENTE et al., 2006). Ainda, de acordo com Dai Prá (2006), os ácidos orgânicos que são formados durante a compostagem reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, produzindo compostos alcalinos. Assim, o pH do composto pode aumentar durante o desenvolvimento do processo (KIEHL, 2004).

Segundo Oliveira et al. (2008) a dimensão das partículas dos materiais é outro fator importante para o processo de compostagem. A decomposição ocorre primeiramente na superfície da partícula onde haja disponibilidade de oxigênio e água, e também onde o substrato esteja acessível aos microrganismos. Portanto a decomposição ocorrerá mais rapidamente, desde que com disponibilidade adequada de oxigênio, em partículas menores uma vez que essas possuem superfície específica maior. Porém partículas muito pequenas tendem a sofrer compactação e impedir a penetração de oxigênio no interior da leira.

3.2 AUTOMAÇÃO

3.2.1 Arduino

Com a disseminação de sistemas computacionais, a automação deixou de ser exclusiva a ambientes industriais e ganhou espaço em diversos setores da sociedade como: sistemas bancários, residências, pesquisas, ensino, etc. (CAFÉ et al., 2001; DINIZ, 2004; MAKCHIT et al., 2005).

Concomitantemente ao desenvolvimento de sistemas automatizados que emprega grandes centrais controladoras e pesados sistemas de cabeamento, tecnologias foram desenvolvidas promovendo a inserção da automação em dispositivos e ambientes de tamanho reduzido. Um dos principais avanços na miniaturização desses dispositivos foi o desenvolvimento de circuitos integrados (CI) microcontroladores (OLIVEIRA NETO; MONTEIRO; QUEIROGA, 2012).

Um microcontrolador pode ser definido como um pequeno componente eletrônico, dotado de uma inteligência programável, provido internamente de memória de programa, memória de dados, I/O digital e analógico composto de portas de entrada e saída paralelas, contadores, comunicação serial e conversores analógico-digitais (SOUZA, 2005).

O primeiro microcontrolador lançado comercialmente foi o TMS 1000 de 4 bits, que inclui RAM, ROM e suporte a I/O em um único *chip* fabricado pela *Texas Instruments* em 1972, seguido do microcontrolador 8048 lançado pela Intel em 1977, que possuía memória de dados interna de 256 *kbytes* (ZANCO, 2005). Nos anos subsequentes apresentaram uma série de aprimoramentos e sua produção foi iniciada por diversos fabricantes atingindo produtividade de mais de 126 milhões de unidades somente no ano de 1993.

O funcionamento destes circuitos requer a execução de uma série de instruções, previamente definidas, procedimento realizado por meio da elaboração de código computacional, podendo ser escrito em diferentes linguagens, o qual é posteriormente convertido em bits, ou linguagem de máquina. Esses *bits*, uma vez decodificados, acionam as variáveis de controle internas ao sistema para que a operação correspondente à instrução seja realizada. Com o auxílio de um programa

e por meio de uma porta serial do microcontrolador, as instruções são transferidas para a memória (SILVA, 2006).

Além do programa gravado no microcontrolador, para sua utilização é necessário o desenvolvimento de um *hardware* responsável pela interface entre o mundo externo e o microcontrolador, adaptando os níveis de tensão e corrente, uma base de tempo normalmente implementada por um *clock* (oscilador estabilizado a cristal, normalmente de quartzo) de alguns MHz entre outros dispositivos (AXELSON, 1994).

A implementação de sistemas automatizados empregando microcontroladores muitas vezes apresenta dificuldades em relação à construção do *hardware* principalmente quando desenvolvido por pessoas com pouco conhecimento em eletrônica, programação e também limitações financeiras quanto à aquisição do projeto de *hardware* e *software* comerciais. A utilização de *softwares* e *hardwares* livres permite superar tais dificuldades, pois estes possuem documentação para elaboração do *hardware* e o código fonte do ambiente de desenvolvimento disponíveis para os usuários, permitindo a democratização do conhecimento e proporcionando a produção comercial de *hardware* de baixo custo (FREEDOM DEFINED, 2014).

O Arduino é uma plataforma baseada em *hardware* e *software* livres, o que simplifica a criação e prototipagem de projetos de eletrônica, tendo como vantagem sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores a simplicidade de utilização, possibilitando que iniciantes possam, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto (MCROBERTS, 2011).

Segundo Di Renna et al. (2013) Arduino é um conceito que surgiu com o objetivo de facilitar a criação de protótipos e projetos pela sociedade. É um conjunto de *hardware* e *software* livre de fácil entendimento e programação e que permite a integração de diversos sensores e atuadores a seu núcleo.

3.2.2 Sensor de Temperatura DS18B20

O DS18B20 é um sensor digital de temperatura que permite a leitura de temperatura em uma faixa de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, com resolução de 9 a 12 bits configurável. A precisão desse sensor é de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para uma faixa de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$. O DS18B20 não requer uma alimentação externa para funcionar visto que possui a função “*parasite power*” que permite o uso da energia direto da linha de transmissão de dados. A comunicação entre o sistema de aquisição de dados e os sensores é realizada em sistema mestre-escravo com endereçamento de 64 bits, possibilitando o monitoramento de um grande número de sensores utilizando apenas uma saída serial (DS18B20, 2014).

Taiatele Junior (2014) utilizou o mesmo tipo de sensor para monitorar a temperatura de leira de compostagem com alta frequência de coleta de dados, porém apenas 4 sensores foram utilizados em cada leira, em um total de 8 leiras de dimensões 0,96 metros de comprimento por 0,67 metros de largura e 0,54 metros de altura. O autor não encontrou diferenças significativas entre os perfis de temperatura ao longo do processo, ocorrendo fase termofílica em todos os tratamentos durante os primeiros 20 dias monitorados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi realizado no pátio de compostagem da Embrapa Soja (Figura 3), localizada no Distrito de Warta, município de Londrina, Paraná.



Figura 3 – Fazenda experimental da Embrapa Soja/Londrina-PR.

Nota: Destaque em vermelho indica o local do pátio de compostagem.

Fonte: Google Maps, 2016

4.2 LEIRA DE COMPOSTAGEM

A leira de compostagem foi montada utilizando folhas de figueira lira, varrições de folhas, descartes da cultura de feijão, girassol, trigo e soja

(aproximadamente 40 m³), palha de soja em decomposição (aproximadamente 30 m³); grãos de milho, trigo, girassol e soja, tratados e não tratados (aproximadamente 1,20 toneladas) (Figuras 4 a 6); inoculante (aproximadamente 5 m³) (Figura 7). O inoculante é um material em decomposição com alta atividade microbiana, proveniente de outra leira de compostagem realizada no mesmo local, usado para ativar a atividade microbiológica da nova leira.



Figura 4 – Montagem da Leira. Parte dos grãos utilizados como matéria prima.

Fonte: Própria.

Foi montada uma leira em formato trapezoidal (Figura 8). Não houve uma ordem de colocação dos resíduos. Todo o material foi disposto no pátio de chão batido e misturado com o auxílio de um trator modelo Bobcat. O mesmo foi utilizado também na estruturação da leira, que resultou em dimensões aproximadas de 1,10 metros de altura, 2,50 metros de largura e 34 metros de comprimento.



Figura 5 - Disposição de outra parcela dos grãos utilizados.

Fonte: Própria.



Figura 6 – Materiais utilizados na leira sendo dispostos no pátio de compostagem.

Fonte: Própria.



Figura 7 – Material inoculante utilizado na montagem.

Fonte: Própria.

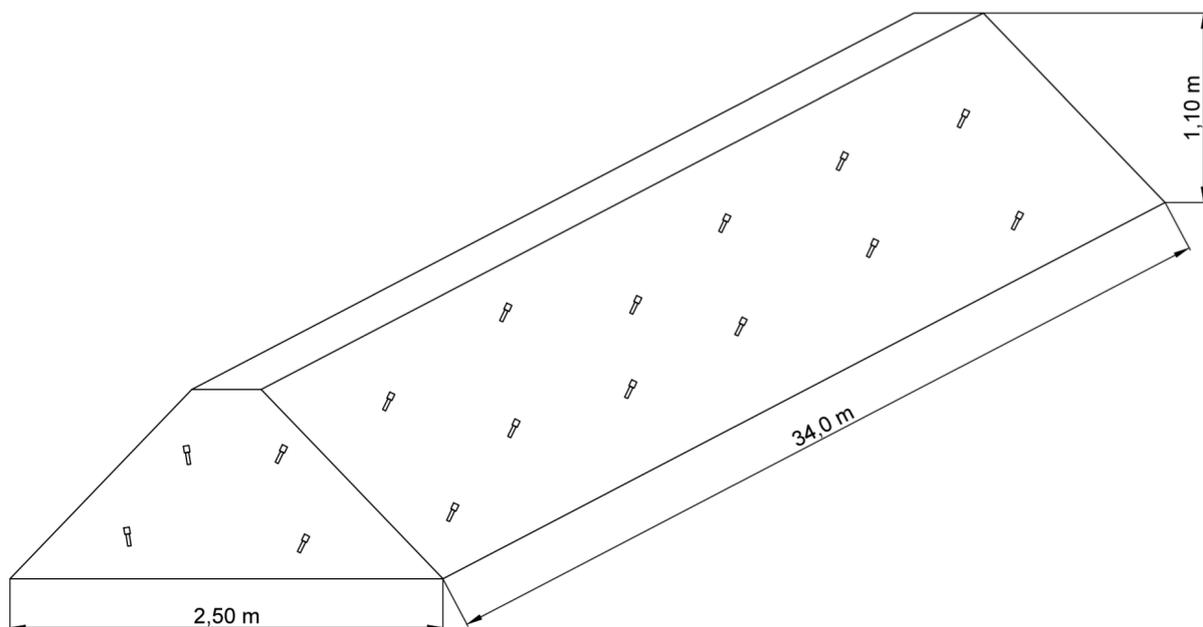


Figura 8 – Representação do formato e dimensões da leira.

Fonte: Própria.

A montagem da leira e o procedimentos de revolvimento seguiram o protocolo e o cronograma estabelecidos pela Embrapa Soja (Tabela 1).

Tabela 1 – Datas de realização dos eventos de compostagem efetuada nas dependências da EMBRAPA Soja / Londrina/PR no ano de 2015

Ação	Data realizada	Dias corridos
Mistura dos resíduos agrícolas e montagem da leira	07/10/15	-
Instalação dos sensores na leira	13/10/15 e 14/10/15	6 - 7
Primeira retirada dos sensores	03/12/15	58
Revolvimento da leira	04/12/15	59
Re-instalação dos sensores na leira	09/12/15	64
Retirada dos sensores da leira e revolvimento	20/01/16	117

4.3 ANÁLISE DOS RESÍDUOS E DO COMPOSTO FINAL

Foram feitas duas análises físico-químicas para monitorar o processo de compostagem. A primeira coleta ocorreu logo após a montagem da leira e a segunda ao final do experimento. Os parâmetros analisados foram Nitrogênio (digestão com H₂SO₄ e determinação por espectrofotometria), Carbono (extração com HCl 1M e leitura em ICP-OES), Umidade e pH em água. As amostras foram coletadas e encaminhadas para análise no laboratório de solos do IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná/ Londrina/PR.

A amostragem consistiu na retirada de pequenas frações do material em pontos aleatórios da leira de compostagem, homogeneização em um tambor plástico e coleta de amostras representativas para que as análises fossem feitas em duplicata.

Realizou-se a análise da variância dos parâmetros (teor de Nitrogênio, teor de Carbono, relação C/N, pH e % umidade), considerando duas repetições para cada leitura realizada (leitura inicial e após o revolvimento), para obtenção do erro

experimental. Com as estimativas do erro experimental calculou-se o teste F, que serviu para comparar as médias das leituras dos tratamentos.

4.4 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA

O sistema de aquisição de dados foi composto de uma placa Arduino Mega 2560 (Figura 09). O referencial de tempo para o sistema se deu através de uma placa RTC (*Real Time Clock*); os dados foram armazenados em um cartão de memória através de uma placa *Micro SD Shield* compatível com Arduino. Para minimizar ruídos na comunicação da placa Arduino e os periféricos RTC e *Micro SD*, foi confeccionada uma placa de apoio (Figura 10) que teve como função acomodar todos os componentes necessários facilitando assim a comunicação com a placa Arduino.

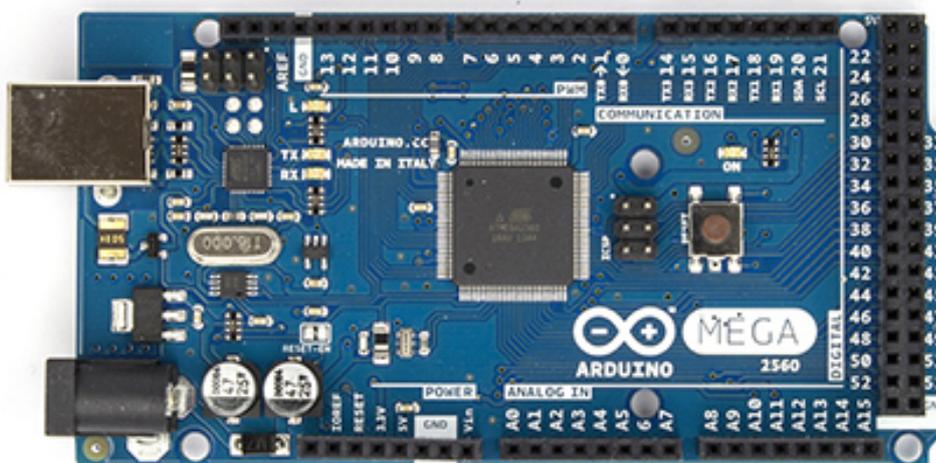


Figura 9 – Placa Arduino Mega 2560.

Fonte: ARDUINO, 2014

Devido o *Micro SD Shield* apresentar tensão de trabalho 3,3V, para estabelecer comunicação com a placa Arduino Mega cuja tensão de trabalho é 5,0V, foi necessário a implementação de um divisor de tensão formado por resistores de 3,3k Ω e 1,8k Ω . A alimentação, terra dos sensores de temperatura e a conexão do

pino de envio e recepção de sinais foi realizada através do conector J4. A alimentação de todo o sistema foi realizada utilizando uma fonte chaveada através do conector J5, esta estabilizada pelo capacitor eletrolítico C1 de 400uF.

Devido a corrente de consumo unitário dos sensores DB18S20 ser 4mA o consumo total dos sensores superaria a capacidade máxima do regulador de tensão da placa Arduino Mega. Desta forma foi necessária a retificação da tensão de alimentação para 5,0V através do circuito integrado LM7805CT, com posterior estabilização com capacitor eletrolítico C2 de 400uF.

Toda a comunicação entre a placa Arduino e a placa de apoio (Figura 10) foi feita através do conector J9.

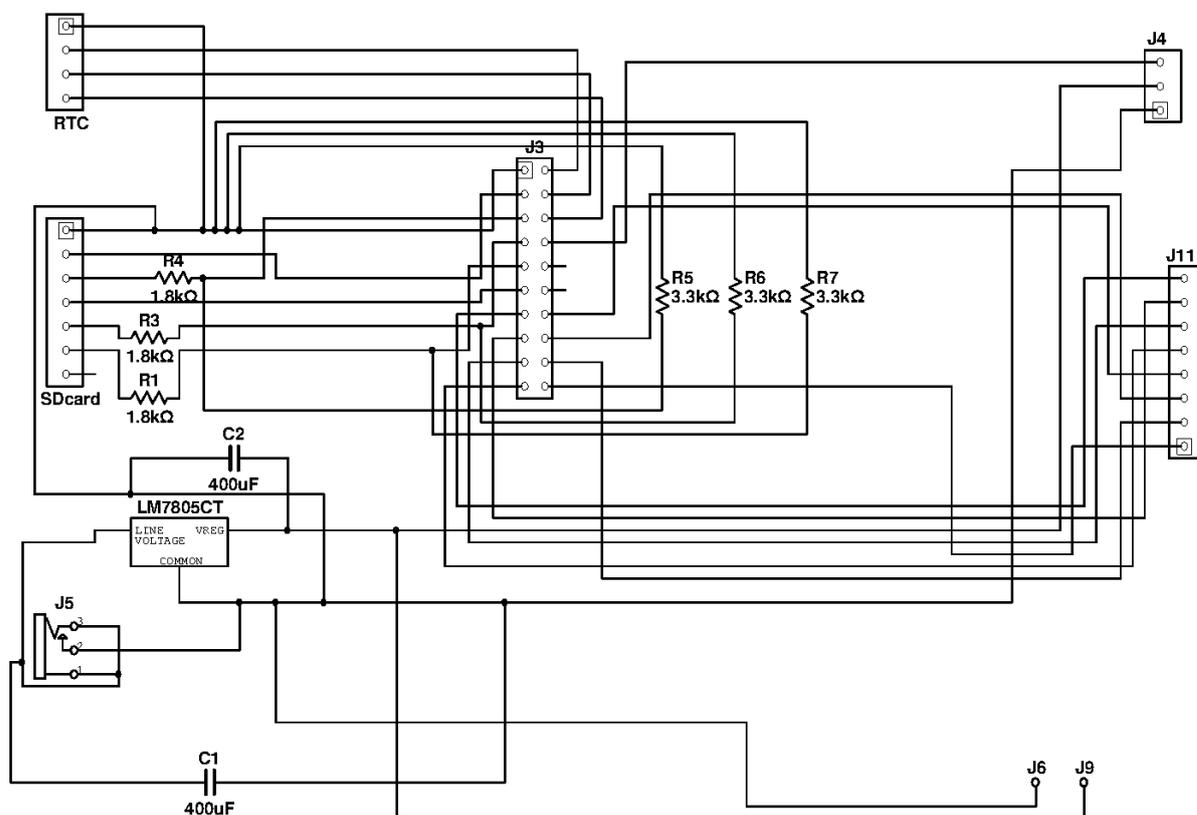


Figura 10 - Diagrama esquemático da placa de interfaceamento de sensores a placa Arduino Mega 2560.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura usado foi o DS18B20 (Figura 11). É um sensor à prova d'água que fornece uma amplitude de operação de -55°C a 125°C (iMall, 2014) sendo suficiente para a aplicação neste trabalho. Foram usados 56 sensores no total.



Figura 11 - DS18B20 *Waterproof Sensor*

Fonte: iMall, 2014.

4.4.2 *Data logger*

Um sistema de aquisição de dados foi criado utilizando um *data logging shield* e um cartão de memória *Micro SD*. O *shield* recebeu os dados dos sensores através da placa Arduino e salvou esses dados no cartão *Micro SD* relacionando-os com a data e hora da medição.

O *DataLogger* foi instalado próximo à leira, junto a placa Arduino, dentro de uma caixa isolada e não exposta ao tempo. Sua alimentação foi feita através da placa controladora visto que não necessita de uma fonte externa de energia.

A programação do microcontrolador foi realizada utilizando o programa Arduino fornecido através do site da própria plataforma, <https://www.arduino.cc>.

4.5 INSTALAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA

Os sensores de temperatura foram conectados à placa de aquisição de dados através de um cabo, onde os mesmos foram soldados em 14 grupos de 4 sensores cada, separados por um espaço de 2 a 2,50 metros. O cabo escolhido (Figura 12) foi o mesmo que empregados em instalações de alarmes residenciais, com 4 vias, porém apenas três foram utilizadas.



Figura 12 – Cabo sobre leira de compostagem onde foram soldados os sensores. (A) Visão geral da leira. (B) Detalhe do sensor inserido sobre a leira.

Fonte: Própria

Para inserir os sensores no interior da leira, foram utilizados espetos de bambu amarrados com fita isolante, sem prejudicar a área de leitura da temperatura. Isto facilitou guiar os sensores dentro de vãos abertos utilizando pequenas pás.

Na montagem do experimento, os sensores foram colocados de forma aleatória e, antes da retirada para o primeiro revolvimento, foi feita a medida de profundidade em que cada um se encontrava devido à movimentação natural da leira. As posições dos sensores são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Posição dos sensores na leira antes do revolvimento.

Sensor	Prof*. (em cm)	Lado**	Sensor	Prof*. (em cm)	Lado**
1	13	Leste	29	13	Oeste
2	16	Leste	30	13	Oeste
3	10	Oeste	31	10	Leste
4	10	Oeste	32	15	Leste
5	10	Leste	33	11	Oeste
6	10	Leste	34	24	Leste
7	18	Oeste	35	11	Oeste
8	11	Oeste	36	Fora	Leste
9	11	Oeste	37	9	Oeste
10	12	Oeste	38	9	Leste
11	15	Leste	39	12	Oeste
12	21	Leste	40	8	Leste
13	16	Leste	41	9	Oeste
14	12	Leste	42	11	Leste
15	15	Oeste	43	18	Oeste
16	13	Oeste	44	11	Leste
17	10	Oeste	45	Fora	Oeste
18	15	Oeste	46	16	Leste
19	12	Leste	47	14	Oeste
20	10	Leste	48	12	Leste
21	12	Oeste	49	10	Oeste
22	13	Oeste	50	15	Leste
23	Fora	Leste	51	Fora	Oeste
24	11	Leste	52	29	Leste
25	14	Oeste	53	27	Oeste
26	12	Leste	54	24	Leste
27	8	Leste	55	13	Oeste
28	19	Oeste	56	30	Leste

Nota:

*Prof = Profundidade. Fora = Sensor saiu da leira

Após a retirada dos sensores para o revolvimento, houve algum dano ao cabo pois devido à exposição ao tempo, o mesmo sofreu deterioração, e conseqüentemente rompeu em diversos pontos durante o manuseio. Sendo assim, foi necessário fazer novamente todas as soldagens para que os sensores voltassem a funcionar. Na Tabela 3 demonstra-se como os sensores foram alocados após o revolvimento.

Tabela 3 – Posição dos sensores após o revolvimento.

Sensor	Prof.* (em cm)	Lado**	Repetição	Sensor	Prof.* (em cm)	Lado**	Repetição
1	22	Oeste	B	29	45	Oeste	F
2	31	Leste	N	30	34	Leste	H
3	38	Oeste	A	31	65	Oeste	E
4	42	Leste	M	32	35	Leste	G
5	22	Oeste	B	33	25	Oeste	L
6	31	Leste	N	34	45	Leste	F
7	38	Oeste	A	35	31	Oeste	K
8	42	Leste	M	36	65	Leste	E
9	14	Oeste	D	37	25	Oeste	L
10	25	Leste	L	38	45	Leste	F
11	40	Oeste	C	39	31	Oeste	K
12	31	Leste	K	40	65	Leste	E
13	14	Oeste	D	41	37	Oeste	J
14	25	Leste	L	42	14	Leste	D
15	40	Oeste	C	43	84	Oeste	I
16	31	Leste	K	44	40	Leste	C
17	34	Oeste	H	45	37	Oeste	J
18	27	Leste	J	46	14	Leste	D
19	35	Oeste	G	47	84	Oeste	I
20	84	Leste	I	48	40	Leste	C
21	34	Oeste	H	49	31	Oeste	N
22	27	Leste	J	50	22	Leste	B
23	35	Oeste	G	51	42	Oeste	M
24	84	Leste	I	52	38	Leste	A
25	45	Oeste	F	53	31	Oeste	N
26	34	Leste	H	54	22	Leste	B
27	65	Oeste	E	55	42	Oeste	M
28	35	Leste	G	56	38	Leste	A

Nota:

*Prof = Profundidade.



Figura 13 – Leira finalizada com sensores instalados.

Nota: Setas em vermelho indicam parte dos sensores instalados.

Fonte: Própria.

4.6 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA

O sistema foi programado para obter os dados dos sensores de temperatura a cada hora, sendo assim quando foi ligado pela primeira vez, já fez uma leitura dos dados. A próxima leitura se deu após uma hora de intervalo, independente da hora local.

Em alguns momentos o fornecimento de energia foi interrompido, porém a programação do sistema foi feita de maneira que o mesmo fosse reiniciado automaticamente, já prevendo esses acontecimentos. Em nenhum momento o trabalho foi prejudicado por esses eventos.

Os dados de temperatura registrados foram analisados junto com os dados de temperatura ambiente e de precipitação. Esses foram fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa Soja/Londrina/PR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SISTEMA DE COLETA DE DADOS

5.1.1 A Validação do sistema de aquisição de dados

O sistema automatizado para coleta de dados desenvolvido no trabalho mostrou-se muito eficiente para este tipo de operação. Foram registradas leituras dos sensores de temperatura de hora em hora sem interrupção, salvo exceções de falta de energia no local, porém o sistema se auto-reiniciou logo após o restabelecimento do fornecimento de energia, voltando a operar normalmente.

Devido à grande quantidade de chuvas no período e à exposição total ao tempo, o cabo que ligava os sensores ao *datalogger* sofreu algumas deteriorações e se rompeu em vários pontos, sendo necessário refazer todas as soldas quando os sensores foram retirados para o revolvimento. Porém, em um ambiente protegido, o tipo de cabo utilizado não sofreria este problema.

5.1.2 Programação do Arduino

A programação realizada (Apêndice A) no microcontrolador ficou muito clara e fácil de ser entendida. Ao todo foram mais de 700 linhas de códigos, porém com partes repetidas para que fosse feito o endereçamento dos sensores, assim como comandos repetidos para impressão e salvamento dos dados no cartão de memória. A programação se mostrou muito eficiente e não apresentou problemas durante a coleta de dados. As falhas que aconteceram não foram causadas pela programação em si, mas sim por falhas no fornecimento de energia, conforme citado acima, e por falhas de comunicação no cabo que ligava os sensores ao *datalogger*.

5.2 DADOS DE TEMPERATURA COLETADOS

Ao todo foram coletados pelo sistema, cerca de 120 mil dados de temperaturas durante o período total de 4 meses de monitoramento da leira. Os resultados dessa coleta estão representados na Figura 14 e permitiram verificar que a atividade biológica que ocorre na leira está relacionada com fatores do meio, entre eles a temperatura e o teor de umidade, em concordância com Fernandes et al. (1999).

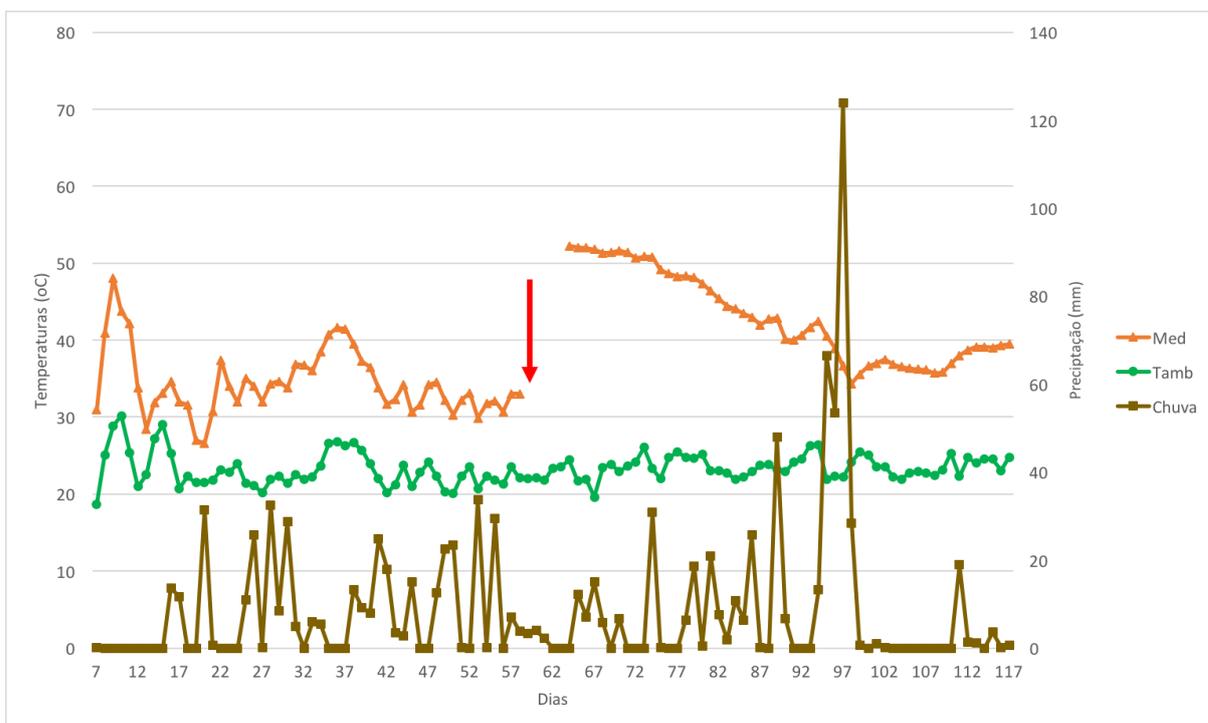


Figura 14 – Gráfico das temperaturas médias diárias da leira.

Nota: Temperaturas médias (Med.), temperaturas ambientes (Tamb.) e precipitações (Chuva) durante o período de execução do experimento. Dados de temperatura ambiente e precipitações fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa soja/Londrina/PR. Seta vermelha indica o revolvimento realizado.

Verificou-se que logo após o revolvimento da leira, ocorreu um aumento acentuado da temperatura, em todos os pontos de coleta. O revolvimento fornece oxigênio ao sistema e contribui para com o desenvolvimento dos microrganismos

decompositores (KIEHL, 2010; OLIVEIRA et al., 2004). As reações de oxidação do material orgânico pela microbiota resultam em um aumento acentuado da temperatura (TEIXEIRA, 2014) e é quando ocorre a máxima decomposição destes compostos orgânicos (PEIXOTO, 1988; PEREIRA NETO, 2007).

Hoje, em muitos dos processos de compostagem, essa aeração tem sido feita de forma empírica, sem o conhecimento do momento exato de se fazer o revolvimento da leira, o que torna o processo mais longo, caro e ineficiente. Portanto, a utilização de um sistema automatizado permite ao condutor verificar o momento em que a temperatura inicia seu declínio e então efetuar o revolvimento da leira no momento adequado, de forma a manter atuante a população de microrganismos decompositores.

No gráfico da Figura 14 existe uma interrupção nos dados de temperatura média, pois foi o período em que os sensores foram retirados para realizar o revolvimento e o cabo apresentou problemas, sendo necessário fazer a soldagem novamente de todos os sensores. Os dados coletados após a re-instalação dos sensores na leira mostram que o revolvimento auxiliou na aeração e ativação da atividade microbiológica. As temperaturas médias que antes estavam perto dos 30 °C passaram dos 50 °C após o revolvimento.

Nos gráficos das Figuras 15 a 18, são mostradas as temperaturas máximas, mínimas e médias diárias coletadas pelo sistema na leira de compostagem, como também as temperaturas ambiente e as precipitações ocorridas durante os 4 meses do experimento. Nos primeiros meses as temperaturas máximas na leira permaneceram, em maior parte, acima dos 50°C onde pode ser identificada a fase termofílica da compostagem (FERNANDES et al., 1999).

Após cinco dias do início da compostagem, as temperaturas médias da leira estavam abaixo dos 40 °C (Figura 15) não indicando a atividade dos microrganismos termófilos (TRAUTMANN et al., 2005). O ideal seria que tivesse sido feito um revolvimento quinze dias após o início do processo para melhorar a oxigenação no interior da leira e favorecer a atividade aeróbica dos microrganismos e também a umidificação, uma vez que a análise inicial (Tabela 4) mostrou baixo teor de umidade no material.

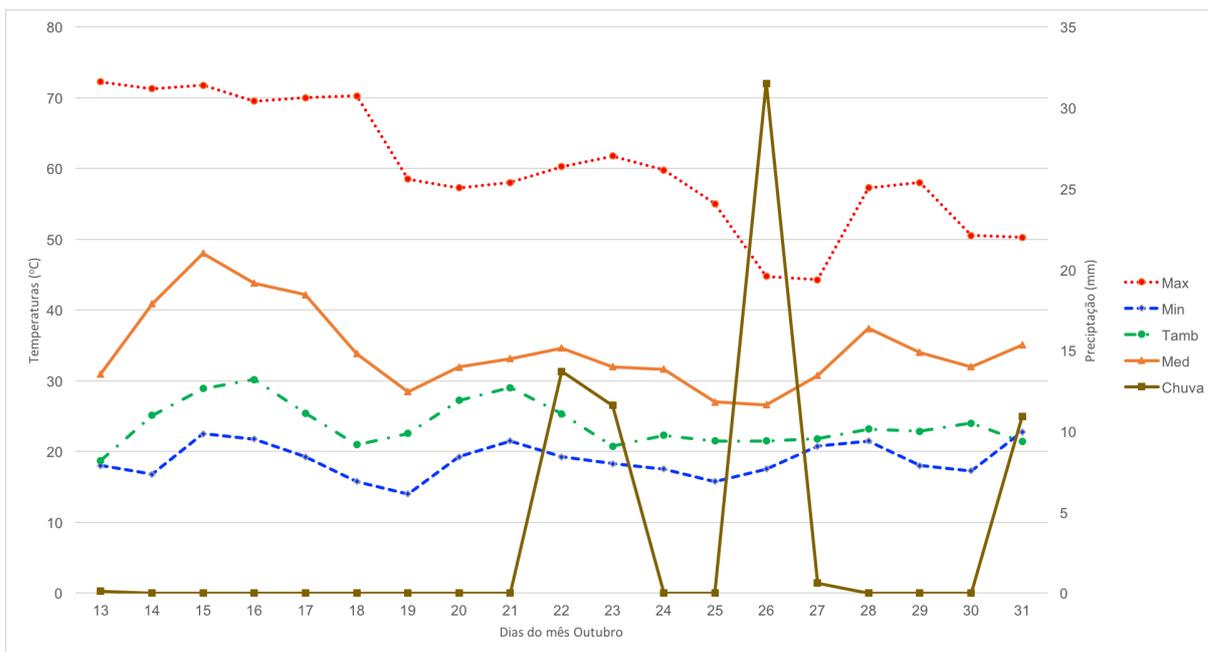


Figura 15 – Temperaturas registradas no mês de Outubro.

Nota: Max (temperatura máxima atingida na leira), Min (temperatura mínima registrada na leira), Med (temperatura média da leira), Tamb (temperatura ambiente), Chuva (precipitações). Dados de temperatura ambiente e precipitações fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa Soja/Londrina/PR.

Após um mês do início da compostagem, as temperaturas máximas ficaram, na grande maioria, totalmente abaixo dos 50°C, o que pode ser explicado pela elevada quantidade de precipitações (Figura 16), como também pela necessidade de aeração para disponibilidade de oxigênio nas atividades dos microrganismos. O mês de Novembro de 2015 foi o mês mais chuvoso da história de Londrina, com um total acumulado de 417 milímetros de precipitações (MAROS, 2015).

Também foi possível verificar que a chuva, em quantidade moderada, umidificou a leira e contribuiu para o aumento da temperatura. Porém, quando as chuvas foram muito intensas (Figura 16) a leira ficou enxarcada. Segundo Oliveira et al. (2004) e Fernandes et al. (1999) o alto teor de umidade impede que o oxigênio circule nos poros da leira, contribuindo para uma diminuição da atividade dos microrganismos aeróbicos. Muitas vezes esse encharcamento pode tornar o processo anaeróbio com produção de odores e chorume (PEREIRA NETO, 2007). A umidade deve ficar entre 50 e 60%, e a mínima não deve ser inferior a 40%, uma vez que abaixo desta taxa, a atividade microbiana se torna insuficiente para manutenção da compostagem (INÁCIO, 2009; FERNANDES et al., 1999 e KIEHL, 2010).

Na Figura 16 é possível verificar a ocorrência da diminuição das precipitações que vinham ocorrendo com muita frequência, entre os dias 07 e 12, o que fez com que a temperatura média da leira teve o maior patamar do mês, confirmando novamente a relação da umidade com a atividade aeróbica dos microrganismos.

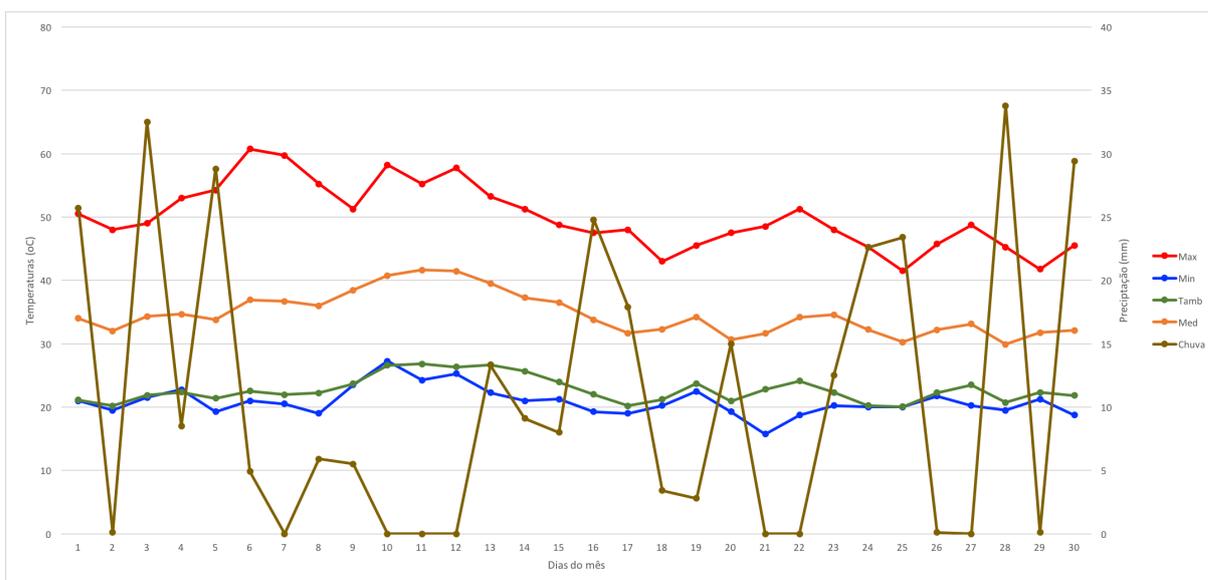


Figura 16 - Temperaturas registradas no mês de Novembro.

Nota: Max (temperatura máxima atingida na leira), Min (temperatura mínima registrada na leira), Med (temperatura média da leira), Tamb (temperatura ambiente), Chuva (precipitações). Dados de temperatura ambiente e precipitações fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa Soja/ Londrina/PR.

Após o revolvimento, realizado no 30º dia da compostagem, os sensores apresentaram problemas e tiveram que ser soldados novamente. Dessa forma, apenas a partir do 36º dia que as temperaturas puderam ser registradas novamente. Este problema, ocasionado pela exposição dos cabos a umidade e sol, pode ser contornado utilizando um sistema protegido nos cabos e nos sensores do sistema. Isto poderia ser feito, ou instalando as leiras sob coberturas ou protegendo os cabos com tubulação apropriada.

Na Figura 17 foi possível constatar que o revolvimento foi eficiente, demonstrando e comprovando a sua importância para manter a temperatura e, conseqüentemente, a atividade microbiana ativa (FERNANDES et al., 1999). Além disso, o sistema por si apontou a necessidade de aeração, visto que as

temperaturas no interior da leira mostraram um declínio acentuado. Esta indicação por parte do sistema auxilia na otimização do processo de compostagem, visto que hoje, como já citado anteriormente, as leiras tem sido revolvidas de forma empírica, sem levar em conta o momento em que se inicia o processo de declínio da atividade microbiológica decorrente da falta de oxigenação.

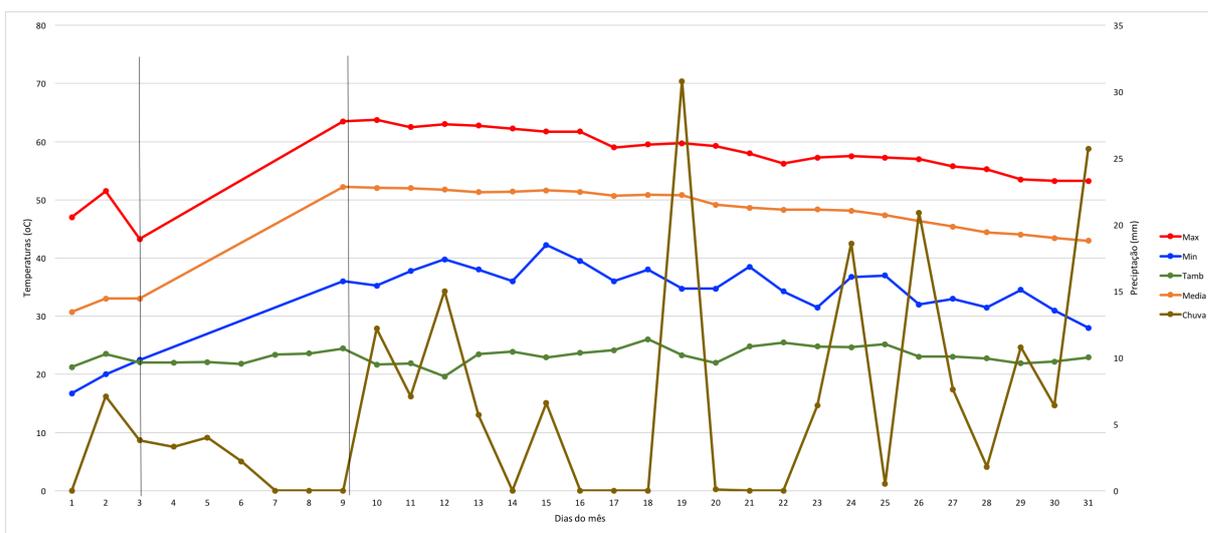


Figura 17 – Temperaturas registradas no mês de Dezembro.

Nota: Max (temperatura máxima atingida na leira), Min (temperatura mínima registrada na leira), Med (temperatura média da leira), Tamb (temperatura ambiente), Chuva (precipitações). Dados de temperatura ambiente e precipitações fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa Soja/Londrina/PR.

A partir do revolvimento realizado, as temperaturas médias decaíram gradativamente sem grandes variações (Figura 17), o que é esperado para o processo. O decaimento das temperaturas ocorreu até a faixa dos 30 aos 40 °C, ideal para a atividade dos microrganismos mesófilos, o que caracteriza a fase de maturação da compostagem (TRAUTMANN et al., 2005).

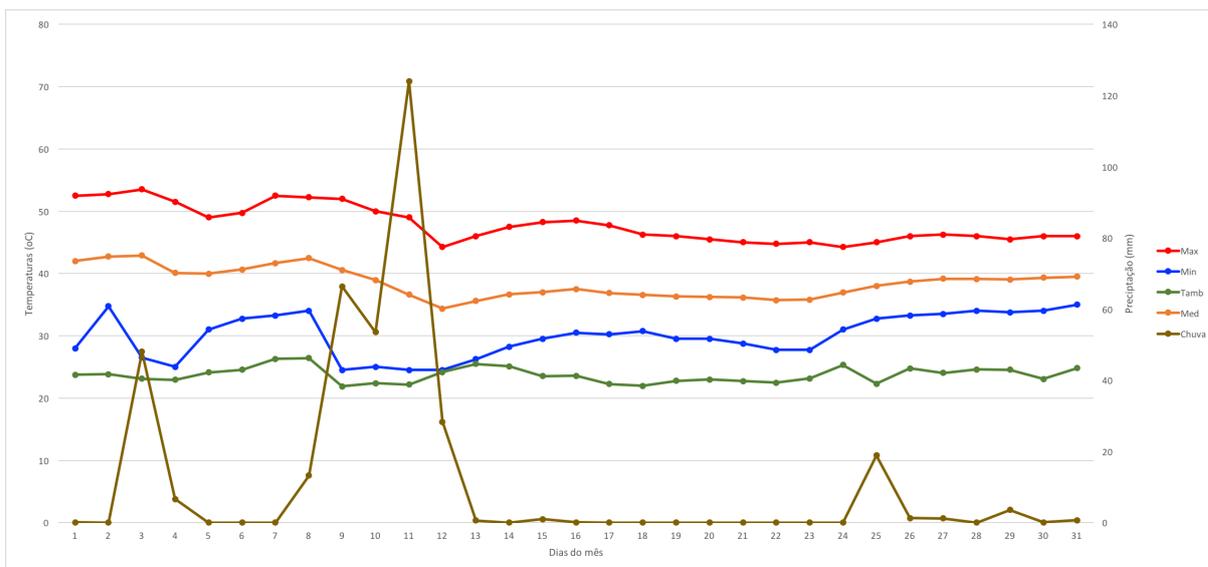


Figura 18 – Temperaturas registradas no mês de Janeiro.

Nota: Max (temperatura máxima atingida da leira), Min (temperatura mínima registrada da leira), Med (temperatura média da leira), Tamb (temperatura ambiente), Chuva (precipitações). Dados de temperatura ambiente e precipitações fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa Soja/Londrina/PR.

O sistema de automação aqui demonstrado, mostrou-se adequado e eficiente no monitoramento de leiras de compostagem para produção de adubos orgânicos e, poderia ser aplicado a outros tipos de compostagem, como por exemplo, na fungicultura, área que vem crescendo nos últimos anos no Brasil. O cultivo de algumas espécies de cogumelos, como o *Agaricus bitorquis* e *A. Bisporus*, requerem composto proveniente de material celulósico e lignocelulósico compostado e bastante degradado para seu desenvolvimento e frutificação. Já outras espécies, como as do genero *Pleurotus*, necessitam desse mesmo material porém de forma íntegra, sem degradação, ou seja apenas pasteurizado (PETRE, 2015). Em ambos os casos a implantação de um sistema automatizado, semelhante a este aqui apresentado, otimizaria o processo de produção do composto para o cultivo dessas espécies de cogumelos.

A reciclagem agrícola é adequada às condições do Brasil, pois pode ser implementada com baixo custo, segurança sanitária e com excelentes resultados agrônômicos. Essa reciclagem agrícola contribui para fechar o ciclo ecológico dos nutrientes retirados do solo pela agricultura, para melhorar a resistência à erosão das terras agriculturáveis e para a implantação de métodos sustentáveis de produção agrícola (FERNANDES e SILVA, 1999)

5.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS RESÍDUOS E DO COMPOSTO

Na Tabela 4 são apresentados os resultados médios obtidos nas análises físico-químicas realizadas.

Tabela 4 – Análise estatística do teor de Nitrogênio, carbono, relação C/N, pH e % de umidade dos resíduos no início e no fim do processo de compostagem

Parâmetro	Leitura inicial	Desvio padrão	Leitura final	Desvio padrão	F	Prob > F
Nitrogênio (g/kg)	12.68	0.09	9.36	0.30	218.48 **	0.0045
Carbono (g/kg)	155.37	26.62	76.36	2.76	17.43 ns	0.0528
Relação C/N	12.25	2.19	8.15	0.03	6.99 ns	0.1181
pH	7.55	0.78	7.20	0	0.40 ns	0.5896
Umidade (%)	40.14	2.33	31.90	2.88	9.86 ns	0.08818

Leitura Inicial: média dos resultados obtidos na primeira análise laboratorial.

Leitura Final: média dos resultados obtidos na segunda análise laboratorial.

** e ns : Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

A relação C/N inicial ficou muito abaixo do ideal, 13,8/1 e 10,7/1 para as amostras do mesmo composto submetidas à análise em repetição. Essa baixa relação pode ser justificada pela quantidade elevada de grãos ricos em nitrogênio como também pela baixa quantidade de material rico em carbono, ambos utilizados como matéria prima da compostagem.

A relação C/N é um dos parâmetros para avaliar a maturação do composto. Segundo Fernandes e Silva (1999) quando a relação C/N for inferior a 20 considera-se que o composto está maturado. Porém, os autores relatam a importância em se comparar a relação C/N após a maturação com a mesma relação no início do processo, pois quando se utiliza material rico em N, dependendo da proporção utilizada, há possibilidade da relação ser baixa desde o início do processo, o que limita a validade deste indicador. Essa condição foi a que ocorreu na composição da leira desenvolvida neste trabalho.

A relação C/N final do composto foi de 8,17/1 e 8,13/1 para as duas amostras (Tabela 4). Isso indica que ocorreu o processo de decomposição da matéria orgânica, porém como a relação inicial já era baixa não houve redução significativa desse parâmetro. Apenas os teores de Nitrogênio apresentaram diferenças significativas entre a coleta realizada no início e no final do processo de compostagem através do teste de Fisher. Os demais parâmetros químicos avaliados não apresentaram diferenças estatísticas entre as duas fases do processo de compostagem.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009), na Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009, classificou os fertilizantes orgânicos de acordo com as matérias-primas utilizadas em sua produção. Como resultado da compostagem realizada, o composto é classificado como Classe “A”:

Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura. (MAPA, 2009).

Ainda segundo MAPA (2009), as especificações exigidas para que um composto seja considerado um fertilizante orgânico são apresentadas no Quadro 1.

Especificações	Valores
Umidade (máx.)	50%
N total (mín.)	0,5 g/kg
Carbono orgânico (mín.)	15 g/kg
pH (mín.)	6,0
Relação C/N (máx.)	20

Quadro 1 – Especificações dos fertilizantes orgânicos exigidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Fonte: Adaptado de Mapa (2009).

Pelo exposto na Tabela 4, todos os parâmetros do composto final da compostagem realizada estão dentro do exigido na legislação vigente (Quadro 1). Dessa maneira pode ser considerado um fertilizante orgânico.

VALENTE et al. (2009) ressaltam que a qualidade do produto final da compostagem deve ser normatizada por legislação específica de cada país, pois o composto não é um produto único, podendo sua qualidade variar de acordo com os resíduos orgânicos e os processos empregados.

5.4 INATIVAÇÃO DAS SEMENTES

Apesar de não terem sido feitas análises para verificar a inativação das sementes utilizadas como matéria-prima para a compostagem, o estresse sofrido pelas mesmas pode ter causado a inibição da sua germinação. Segundo Pompelli (2013) a temperatura máxima para que ocorra a germinação de sementes de soja é de 42 °C. Temperaturas acima desta, considerada limitante para a germinação das sementes de soja, foram facilmente atingidas e mantidas pela compostagem realizada no presente trabalho. A intensa atividade biológica gerou temperaturas médias na leira superiores a 55°C. Estas condições provavelmente favoreceram a inativação da maior parte das sementes presentes na mistura (Dr. Carlos Arrabal Arias, informação pessoal).

De acordo com Metcalf e Eddy (2015), quando o processo de compostagem é conduzido adequadamente, é possível inativar todos os patógenos, ervas daninhas e sementes. Para atingir este nível de controle a temperatura deve ser mantida a níveis recomendados pela norma para Bioossólidos classe A, parte 503 da *Environmental Protection Agency* (EPA, 1994), que é de 55°C ou mais por 3 a 15 dias, dependendo do sistema utilizado na formação das leiras de compostagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no trabalho conclui-se que o sistema automatizado para coleta de temperaturas se mostrou eficaz e pode evidenciar os gradientes de temperatura durante o processo de compostagem. A programação utilizada foi muito eficiente, pois não apresentou problemas quanto ao registro dos dados mesmo quando o sistema foi reiniciado por alguma queda de energia.

Os resultados obtidos também demonstraram que a plataforma baseada no Arduino se mostrou uma ferramenta versátil, de fácil implementação e de fácil manuseio para as coletas de dados nos ambientes de compostagem, contribuindo para a otimização do processo. O mesmo sistema pode ser aplicado para outras culturas e outros experimentos em diversas áreas, bastando apenas alguns ajustes em relação a sua estrutura física e também a pequenas adaptações ao código programado para que atenda a necessidade do trabalho específico.

Mesmo sem ter sido realizadas análises laboratoriais para verificar se as sementes foram inativadas, a comparação das leituras obtidas de temperatura com dados da literatura sugerem que houve a inativação das mesmas durante o processo de compostagem.

7 REFERÊNCIAS

ALVES, W. L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano**. Jaboticabal: FUNEP. 1996. 47 p.

ARDUINO. Arduino Mega 2560. Disponível em <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 12 nov. 2014.

AXELSON, J. **The Microcontroller Idea Book Circuits, Programs, & Applications featuring the 8052-BASIC Microcontroller**. Lakeview Research 5310 Chinook Ln. Madison, WI 53704 USA, 1994.

AZEVEDO, M. A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. 1993. 230p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 1993.

BRASIL. Constituição (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Casa Civil**, 2010.

CAFÉ, L.; et al. **Proposta de um método para escolha de software de automação de bibliotecas CI**. Inf., Brasília, v. 30, n. 2, p. 70-79, maio/ago. 2001.

COMPOSTAGEM. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf>. Acesso em: 31 out. 2014.

DAI PRÁ, M.A. **Desenvolvimento de um sistema de compostagem para o tratamento de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS. 127 p. 2006.

DI RENNA, R. B. et al. Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino. **Tutoriais PET-Tele (Universidade Federal Fluminense–UFF), Niterói**, 2013.

DINIZ, E. **Cinco décadas de automação**. GV-executivo, vol. 3, n. 3, 2004.

DS18B20. **Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. Disponível em <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2014.

EPA. **A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule** (1994). Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/a_plain_english_guide_to_the_epa_part_503_biosolids_rule.pdf> Acesso em: 07 jun. 2016.

FERNANDES, F., SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. In: **Manual prático para a compostagem de biossólidos**, 1999.

FERNANDES, M. R. de P.; et al. Geração de energia para o desenvolvimento rural sustentável com inovação tecnológica de aproveitamento de biomassa residual. In: **Encontro De Energia No Meio Rural**, 5., Campinas, 2004.

FIALHO, L. L. et al. **Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos**. Circular técnica Embrapa. São Carlos, 2005.

FINSTEIN, M.S.; et al. **Analysis of EPA guidance on sludge composting**. Part I- Biological heat generation and temperature. *Biocycle*, v. 28, p. 56-61. 1987.

FREEDOM DEFINED - **Definição de open source hardware (OSHW) 1.0**. Disponível em <<http://freedomdefined.org/OSHW/translations/portuguese>> Acesso em: 05 nov. 2014.

GOMES, W.R. da; PACHECO, E. **Composto orgânico**. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988.

INÁCIO, C. T., MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. 1ª edição, Piracicaba, 2010.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 1ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba. 171 p. 1998.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba. 173 p. 2004.

MAKCHIT, J. et al. **An Inexpensive Sequential Injection Analyzer for the Analytical Laboratory instrumentation**. Science and Technology, 33: 565–573, 2005.

MALMBERG, C. G.; MARYOTT, A. A.. Dielectric Constant of Water from 0 0 to 1000 C. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**. Vol. 56, No. 1, p. 1-8, January 1956.

MAPA. Instrução Normativa no 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 jul. 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 01 Junho 2016.

MAROS, A. Novembro tem chuva recorde em todas as regiões do Paraná. *Gazeta do Povo*, Curitiba, 24 nov. 2015. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/novembro-tem-chuva-recorde-em-todas-as-regioes-do-parana-6c7o2suuruif83sunwnms9suf>> Acesso em 31 Maio de 2016.

MATOS, A. T. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos. Viçosa, MG: Editora UFV. 241 p. 2014

MATOS, A. T. et al. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, p. 199-203, 1998.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos** 5ed. McGraw Hill Brasil, 2008p. 2015

MORREL, J.L. et al. **Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost**. In: Gasser, J.K. Composting of agricultural and other wastes. Elsevier. London. p. 56-72. 1985.

NEGRO, M. J. et al. Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. *Bioresource Technology*, v. 67, p. 89-92, 1999.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo : Novatec Editora, 2011 .

MERCKEL, A. J. **Managing livestock wastes**. Westport: Avi Publishing Company, 1981.

MIZUGUCHI, J. et al. **Sensor pente capacitivo aplicado à determinação da umidade do solo**. Laboratório de Automação e Instrumentação Inteligente - Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Londrina, 2014.

OLIVEIRA NETO, B. B. et al. Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas . In: **CONNEPI**, VII, Paraíba, 2012.

OLIVEIRA, E. et al. Compostagem. **Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

OLIVEIRA, F. N. S. et al. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria tropical, 17 p., 2004.

PAIVA, E. C. R. Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas. 2008. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

PAIVA, E. C. R. Variáveis de projeto, operação de sistemas de leiras estáticas aeradas e qualidade do composto produzido com carcaças de aves mortas. 2011. 112p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

PAULA, L. G.; CEZAR, V. R. S. **Compostagem de resíduos orgânicos da área verde do campus Marechal Deodoro-IFAL em função do número de revolvimentos**. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 8, n. 4, p. 155-163, 2011.

PEIXOTO, R.T . dos. G. 1988. Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo. IAPAR. Londrina. 46 p.

PEREIRA NETO, J. T. **On the Tratment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting** – A Low Cost Technology Aproach. University of Leeds, Inglaterra. p. 839-845, 1987.

PEREIRA NETO, J. T. Compostagem: Fundamentos e Métodos. 1º Simpósio Sobre Compostagem: Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, 18 a 19 de Agosto de 2004 – FCA – GEMFER. 2004.

PEREIRA NETO, J.T.. Manual de compostagem: processo de baixo custo. UFV. Viçosa. 81 p. 2007.

PETRE, M.. Mushroom Biotechnology: Developments and Applications. Academic Press, 242p. 2015.

POMPELLI, M. F.. Germinação de Sementes. Ecofisiologia Vegetal. Recife, 2013.

PLANETA ORGÂNICO Compostagem: A arte de transformar o lixo em adubo orgânico, disponível em <http://www.planetaorganico.com.br/composto.htm> acessado em 29 de maio de 2016.

PROAKIS, J. G. et al. **Communication systems engineering**, Vol. 2. Englewood Cliffs: Prentice-hall, 1994.

RÊGO SEGUNDO, A. K. **Desenvolvimento de sensor do teor de água do solo e de sistema de controle e automação em malha fechada para uso em irrigação**. Universidade Federal de Viçosa, 2010.

RODRIGUES, M.S. et al. **Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos**. In: Spadotto, C.A.; Ribeiro, W. Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF. Botucatu. p. 63-94. 2006.

SILVA, E. T. Tratamento de lixo domiciliar e sua aplicação na recuperação de áreas degradadas. Rev. Acad. Curitiba v. 5. p. 197-209. 2007.

SILVA, R. A. **Programando microcontroladores PIC: Linguagem "C"**. São Paulo : Ensino Profissional, 172 p. 2006.

SILVA, N. C. L. et al. Variação na pressão estática de ar insuflado em diferentes vazões específicas em colunas de material orgânico com diferentes estádios de degradação bioquímica. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, p. 165-170, 2008.

SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC**: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A. 8 ed. São Paulo, SP, Brasil: Érica, 2005.

TAIATELE JUNIOR, I. Biodegradabilidade de biopolímeros e sua compostabilidade com resíduos orgânicos domiciliares. 2014. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V.S. (Org.) Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.5, p.120-123, 2002.

TEIXEIRA, D. L. Determinação do gradiente de pressão estática do ar para sistemas de compostagem por aeração forçada. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E.. **Compost Microorganisms – The Phases of Composting**. In: **Cornell Composting, Science & Engineering**. 2005. Disponível em: < <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html> > Acesso em: 21 mai. 2016.

TUOMELA, M. et al. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technol*, v.72, p.169-183. 2000.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de Zootecnia*, v.58, p.59-85, 2009.

WATERPROOF **DS18B20 Temperature Sensor**. Disponível em <<http://imall.iteadstudio.com/im130327002.html>>. Acesso em: 5 nov. 2014.

ZANCO, W. S. Microcontroladores PIC 16F628A/648A: **Uma Abordagem Prática e Objetiva**. 1a ed. São Paulo: Érica, 2005.

ZENG, Z. et al. **The analysis and comparison of soil dielectric constant-water content models**. *Resources, Environment and Engineering*, 85, 2014.

ZHANG, Y.; HE, Y. Co-compostig solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technol.*,v: 97, p: 2024- 2031. 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Programação realizada no microcontrolador através do programa Arduino.

```
#include <OneWire.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"

RTC_DS1307 rtc;

const int ONE_WIRE_BUS = 10; // signal pin of DS18B20 connected to pin 3
OneWire ourWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&ourWire);
#define ONE_WIRE_BUS 10
#define LOG_INTERVAL 20000 //define o intervalo entre o registro
//de duas medidas, neste caso 20000 ms, ou 20s.
#define SYNC_INTERVAL 1000 // milisegundos entre a chamada para
//limpar e para gravar dados no cartão. 2
uint32_t syncTime = 0; // time of last sync()
#define ECHO_TO_SERIAL 1 // echo data to serial port
#define WAIT_TO_START 0 // Wait for serial input in s

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DeviceAddress T1 = {0x28, 0xE8, 0x09, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0xC8};
DeviceAddress T2 = {0x28, 0x26, 0x60, 0x40, 0x05, 0x00, 0x00, 0xDE};
DeviceAddress T3 = {0x28, 0x15, 0xC4, 0xB4, 0x05, 0x00, 0x00, 0x39};
DeviceAddress T4 = {0x28, 0x75, 0x09, 0xB5, 0x05, 0x00, 0x00, 0xBB};
DeviceAddress T5 = {0x28, 0x18, 0x6A, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x81};
```

DeviceAddress T6 = {0x28, 0x7E, 0x17, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x71};
DeviceAddress T7 = {0x28, 0xA9, 0x51, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x45};
DeviceAddress T8 = {0x28, 0x8B, 0x47, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x7D};
DeviceAddress T9 = {0x28, 0x2A, 0x0D, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0x26};
DeviceAddress T10 = {0x28, 0x3D, 0x91, 0xB5, 0x05, 0x00, 0x00, 0xE6};
DeviceAddress T11 = {0x28, 0x63, 0x68, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0x06};
DeviceAddress T12 = {0x28, 0x37, 0x2F, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0x4C};
DeviceAddress T13 = {0x28, 0xF4, 0x69, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x9B};
DeviceAddress T14 = {0x28, 0x12, 0x7C, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xAE};
DeviceAddress T15 = {0x28, 0xF9, 0x82, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x7B};
DeviceAddress T16 = {0x28, 0x73, 0x7B, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x0B};
DeviceAddress T17 = {0x28, 0x44, 0x55, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x39};
DeviceAddress T18 = {0x28, 0xA4, 0x3C, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xF2};
DeviceAddress T19 = {0x28, 0x95, 0x67, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xCD};
DeviceAddress T20 = {0x28, 0x93, 0x35, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x69};
DeviceAddress T21 = {0x28, 0x74, 0x69, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x71};
DeviceAddress T22 = {0x28, 0x86, 0xE4, 0x14, 0x05, 0x00, 0x00, 0x80};
DeviceAddress T23 = {0x28, 0x86, 0x7C, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xC3};
DeviceAddress T24 = {0x28, 0xA9, 0x1D, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x8D};
DeviceAddress T25 = {0x28, 0x4A, 0x11, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xDC};
DeviceAddress T26 = {0x28, 0xBE, 0x1B, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xCF};
DeviceAddress T27 = {0x28, 0xB9, 0x32, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x41};
DeviceAddress T28 = {0x28, 0x79, 0x67, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x99};
DeviceAddress T29 = {0x28, 0x50, 0xA1, 0x14, 0x05, 0x00, 0x00, 0xCD};
DeviceAddress T30 = {0x28, 0xC8, 0x6E, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x5A};
DeviceAddress T31 = {0x28, 0x72, 0x61, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0xFD};
DeviceAddress T32 = {0x28, 0xE9, 0x1B, 0x48, 0x05, 0x00, 0x00, 0x64};
DeviceAddress T33 = {0x28, 0x91, 0xB9, 0xB4, 0x05, 0x00, 0x00, 0x8E};
DeviceAddress T34 = {0x28, 0x40, 0x3C, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0x63};
DeviceAddress T35 = {0x28, 0x23, 0xFE, 0xB4, 0x05, 0x00, 0x00, 0x5F};
DeviceAddress T36 = {0x28, 0x4E, 0x12, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0x2A};
DeviceAddress T37 = {0x28, 0x51, 0xCE, 0xB4, 0x05, 0x00, 0x00, 0x2D};
DeviceAddress T38 = {0x28, 0x71, 0xA9, 0xB5, 0x05, 0x00, 0x00, 0x54};
DeviceAddress T39 = {0x28, 0x93, 0x2C, 0xB6, 0x05, 0x00, 0x00, 0x82};
DeviceAddress T40 = {0x28, 0x3F, 0xF4, 0x40, 0x05, 0x00, 0x00, 0xBB};
DeviceAddress T41 = {0x28, 0x01, 0xEC, 0x40, 0x05, 0x00, 0x00, 0x07};
DeviceAddress T42 = {0x28, 0xE3, 0xA1, 0x40, 0x05, 0x00, 0x00, 0x45};
DeviceAddress T43 = {0x28, 0x5A, 0x19, 0x41, 0x05, 0x00, 0x00, 0x2A};
DeviceAddress T44 = {0x28, 0x0A, 0x3E, 0x51, 0x05, 0x00, 0x00, 0x95};
DeviceAddress T45 = {0x28, 0x1C, 0xE1, 0xE9, 0x05, 0x00, 0x00, 0xC0};

```

DeviceAddress T46 = {0x28, 0xA0, 0x0F, 0xE9, 0x05, 0x00, 0x00, 0xC2};
DeviceAddress T47 = {0x28, 0xF4, 0xE4, 0xFA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x2A};
DeviceAddress T48 = {0x28, 0x62, 0x10, 0xFB, 0x05, 0x00, 0x00, 0x1F};
DeviceAddress T49 = {0x28, 0xB8, 0xFD, 0xFA, 0x05, 0x00, 0x00, 0xAD};
DeviceAddress T50 = {0x28, 0xFD, 0xB4, 0xFA, 0x05, 0x00, 0x00, 0x29};
DeviceAddress T51 = {0x28, 0x83, 0x93, 0xFB, 0x05, 0x00, 0x00, 0x84};
DeviceAddress T52 = {0x28, 0xFF, 0x23, 0x58, 0x2C, 0x04, 0x00, 0x2E};
DeviceAddress T53 = {0x28, 0xFF, 0x5B, 0x69, 0x2C, 0x04, 0x00, 0xBA};
DeviceAddress T54 = {0x28, 0xFF, 0x27, 0x9F, 0x22, 0x14, 0x00, 0x96};
DeviceAddress T55 = {0x28, 0xFF, 0x1A, 0x4C, 0x2D, 0x04, 0x00, 0xC4};
DeviceAddress T56 = {0x28, 0xFF, 0x48, 0x47, 0x2B, 0x04, 0x00, 0x97};

```

```
const int chipSelect = 53;
```

```
int incomingByte;
```

```
float temp;
```

```
float tp[56];
```

```
float tempC;
```

```
void salvarSD()
```

```
{ SD.begin();
```

```
Wire.begin();
```

```
rtc.begin();
```

```
File dataFile = SD.open("DADOS00.txt", FILE_WRITE);
```

```
DateTime now = rtc.now();
```

```
if (dataFile) {
```

```
dataFile.print("\n\r");
```

```
dataFile.print(' ');
```

```
dataFile.print("\n\r\n\r");
```

```
dataFile.print(now.year(), DEC);
```

```
dataFile.print('/');
```

```
dataFile.print(now.month(), DEC);
```

```
dataFile.print('/');
```

```
dataFile.print(now.day(), DEC);
```

```
dataFile.print(' ');
```

```
dataFile.print(now.hour(), DEC);
```

```
dataFile.print(':');
```

```
dataFile.print(now.minute(), DEC);
```

```
dataFile.print(':');
```

```
dataFile.print(now.second(), DEC);
```

```
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[1]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[2]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[3]);  
// delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[4]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[5]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[6]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[7]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[8]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[9]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[10]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[11]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[12]);  
//delay (100);  
dataFile.print("\n\r");  
dataFile.print(tp[13]);
```

```
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[14]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[15]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[16]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[17]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[18]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[19]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[20]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[21]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[22]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[23]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[24]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[25]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[26]);
//delay (100);
```

```
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[27]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[28]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[29]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[30]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[31]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[32]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[33]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[34]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[35]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[36]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[37]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[38]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[39]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
```

```
dataFile.print(tp[40]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[41]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[42]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[43]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[44]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[45]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[46]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[47]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[48]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[49]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[50]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[51]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[52]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[53]);
```

```
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[54]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[55]);
//delay (100);
dataFile.print("\n\r");
dataFile.print(tp[56]);
//delay (100);
//dataFile.print("\n\r");
//dataFile.print(tp[57]);
//delay (100);
//dataFile.print("\n\r");
//dataFile.print(tp[58]);

dataFile.close();
}
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();

  pinMode(10, OUTPUT);

  Serial.print("Initializing SD card...");

  // see if the card is present and can be initialized:
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");
```

```
Wire.begin();
```

```
rtc.begin();
```

```
// if the clock isn't running, set the time:
```

```
if (! rtc.isrunning()) {
```

```
  Serial.println("RTC is NOT running!");
```

```
  // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
```

```
  rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
```

```
}
```

```
sensors.begin();
```

```
sensors.setResolution(T1, 10);
```

```
sensors.setResolution(T2, 10);
```

```
sensors.setResolution(T3, 10);
```

```
sensors.setResolution(T4, 10);
```

```
sensors.setResolution(T5, 10);
```

```
sensors.setResolution(T6, 10);
```

```
sensors.setResolution(T7, 10);
```

```
sensors.setResolution(T8, 10);
```

```
sensors.setResolution(T9, 10);
```

```
sensors.setResolution(T10, 10);
```

```
sensors.setResolution(T11, 10);
```

```
sensors.setResolution(T12, 10);
```

```
sensors.setResolution(T13, 10);
```

```
sensors.setResolution(T14, 10);
```

```
sensors.setResolution(T15, 10);
```

```
sensors.setResolution(T16, 10);
```

```
sensors.setResolution(T17, 10);
```

```
sensors.setResolution(T18, 10);
```

```
sensors.setResolution(T19, 10);
```

```
sensors.setResolution(T20, 10);
```

```
sensors.setResolution(T21, 10);
```

```
sensors.setResolution(T22, 10);
```

```
sensors.setResolution(T23, 10);
```

```
sensors.setResolution(T24, 10);
```

```
sensors.setResolution(T25, 10);
```

```
sensors.setResolution(T26, 10);
sensors.setResolution(T27, 10);
sensors.setResolution(T28, 10);
sensors.setResolution(T29, 10);
sensors.setResolution(T30, 10);
sensors.setResolution(T31, 10);
sensors.setResolution(T32, 10);
sensors.setResolution(T33, 10);
sensors.setResolution(T34, 10);
sensors.setResolution(T35, 10);
sensors.setResolution(T36, 10);
sensors.setResolution(T37, 10);
sensors.setResolution(T38, 10);
sensors.setResolution(T39, 10);
sensors.setResolution(T40, 10);
sensors.setResolution(T41, 10);
sensors.setResolution(T42, 10);
sensors.setResolution(T43, 10);
sensors.setResolution(T44, 10);
sensors.setResolution(T45, 10);
sensors.setResolution(T46, 10);
sensors.setResolution(T47, 10);
sensors.setResolution(T48, 10);
sensors.setResolution(T49, 10);
sensors.setResolution(T50, 10);
sensors.setResolution(T51, 10);
sensors.setResolution(T52, 10);
sensors.setResolution(T53, 10);
sensors.setResolution(T54, 10);
sensors.setResolution(T55, 10);
sensors.setResolution(T56, 10);
//sensors.setResolution(T57, 10);
//sensors.setResolution(T58, 10);
}

void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
{
  tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
  delay (100);
  if (tempC == -127.00) {
```

```
    Serial.print("Erro ao ler temperatura !");
  } else {

  }
}

void loop()
{

sensors.requestTemperatures(); // get data from DS18B20
  temp = sensors.getTempCByIndex(0);
  sensors.requestTemperatures();

  Serial.print("\n\r\n\r");
  DateTime now = rtc.now();
  Serial.print(now.year(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.month(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.day(), DEC);
  Serial.print(' ');
  Serial.print(now.hour(), DEC);
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.minute(), DEC);
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.second(), DEC);
  Serial.println();

  Serial.print("Temperatura Sensor 1: ");
  printTemperature(T1);
  tp[1]=tempC;
  Serial.print(tp[1]);
  Serial.print("\n\r");

  Serial.print("Temperatura Sensor 2: ");
  printTemperature(T2);
  tp[2]=tempC;
  Serial.print(tp[2]);
  Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 3: ");  
printTemperature(T3);  
tp[3]=tempC;  
Serial.print(tp[3]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 4: ");  
printTemperature(T4);  
tp[4]=tempC;  
Serial.print(tp[4]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 5: ");  
printTemperature(T5);  
tp[5]=tempC;  
Serial.print(tp[5]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 6: ");  
printTemperature(T6);  
tp[6]=tempC;  
Serial.print(tp[6]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 7: ");  
printTemperature(T7);  
tp[7]=tempC;  
Serial.print(tp[7]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 8: ");  
printTemperature(T8);  
tp[8]=tempC;  
Serial.print(tp[8]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 9: ");  
printTemperature(T9);
```

```
tp[9]=tempC;  
Serial.print(tp[9]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 10: ");  
printTemperature(T10);  
tp[10]=tempC;  
Serial.print(tp[10]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 11: ");  
printTemperature(T11);  
tp[11]=tempC;  
Serial.print(tp[11]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 12: ");  
printTemperature(T12);  
tp[12]=tempC;  
Serial.print(tp[12]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 13: ");  
printTemperature(T13);  
tp[13]=tempC;  
Serial.print(tp[13]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 14: ");  
printTemperature(T14);  
tp[14]=tempC;  
Serial.print(tp[14]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 15: ");  
printTemperature(T15);  
tp[15]=tempC;  
Serial.print(tp[15]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 16: ");  
printTemperature(T16);  
tp[16]=tempC;  
Serial.print(tp[16]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 17: ");  
printTemperature(T17);  
tp[17]=tempC;  
Serial.print(tp[17]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 18: ");  
printTemperature(T18);  
tp[18]=tempC;  
Serial.print(tp[18]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 19: ");  
printTemperature(T19);  
tp[19]=tempC;  
Serial.print(tp[19]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 20: ");  
printTemperature(T20);  
tp[20]=tempC;  
Serial.print(tp[20]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 21: ");  
printTemperature(T21);  
tp[21]=tempC;  
Serial.print(tp[21]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 22: ");  
printTemperature(T22);  
tp[22]=tempC;  
Serial.print(tp[22]);
```

```
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 23: ");  
printTemperature(T23);  
tp[23]=tempC;  
Serial.print(tp[23]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 24: ");  
printTemperature(T24);  
tp[24]=tempC;  
Serial.print(tp[24]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 25: ");  
printTemperature(T25);  
tp[25]=tempC;  
Serial.print(tp[25]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 26: ");  
printTemperature(T26);  
tp[26]=tempC;  
Serial.print(tp[26]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 27: ");  
printTemperature(T27);  
tp[27]=tempC;  
Serial.print(tp[27]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 28: ");  
printTemperature(T28);  
tp[28]=tempC;  
Serial.print(tp[28]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 29: ");  
printTemperature(T29);
```

```
tp[29]=tempC;  
Serial.print(tp[29]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 30: ");  
printTemperature(T30);  
tp[30]=tempC;  
Serial.print(tp[30]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 31: ");  
printTemperature(T31);  
tp[31]=tempC;  
Serial.print(tp[31]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 32: ");  
printTemperature(T32);  
tp[32]=tempC;  
Serial.print(tp[32]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 33: ");  
printTemperature(T33);  
tp[33]=tempC;  
Serial.print(tp[33]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 34: ");  
printTemperature(T34);  
tp[34]=tempC;  
Serial.print(tp[34]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 35: ");  
printTemperature(T35);  
tp[35]=tempC;  
Serial.print(tp[35]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 36: ");  
printTemperature(T36);  
tp[36]=tempC;  
Serial.print(tp[36]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 37: ");  
printTemperature(T37);  
tp[37]=tempC;  
Serial.print(tp[37]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 38: ");  
printTemperature(T38);  
tp[38]=tempC;  
Serial.print(tp[38]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 39: ");  
printTemperature(T39);  
tp[39]=tempC;  
Serial.print(tp[39]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 40: ");  
printTemperature(T40);  
tp[40]=tempC;  
Serial.print(tp[40]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 41: ");  
printTemperature(T41);  
tp[41]=tempC;  
Serial.print(tp[41]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 42: ");  
printTemperature(T42);  
tp[42]=tempC;  
Serial.print(tp[42]);
```

```
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 43: ");  
printTemperature(T43);  
tp[43]=tempC;  
Serial.print(tp[43]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 44: ");  
printTemperature(T44);  
tp[44]=tempC;  
Serial.print(tp[44]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 45: ");  
printTemperature(T45);  
tp[45]=tempC;  
Serial.print(tp[45]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 46: ");  
printTemperature(T46);  
tp[46]=tempC;  
Serial.print(tp[46]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 47: ");  
printTemperature(T47);  
tp[47]=tempC;  
Serial.print(tp[47]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 48: ");  
printTemperature(T48);  
tp[48]=tempC;  
Serial.print(tp[48]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 49: ");  
printTemperature(T49);
```

```
tp[49]=tempC;  
Serial.print(tp[49]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 50: ");  
printTemperature(T50);  
tp[50]=tempC;  
Serial.print(tp[50]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 51: ");  
printTemperature(T51);  
tp[51]=tempC;  
Serial.print(tp[51]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 52: ");  
printTemperature(T52);  
tp[52]=tempC;  
Serial.print(tp[52]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 53: ");  
printTemperature(T53);  
tp[53]=tempC;  
Serial.print(tp[53]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 54: ");  
printTemperature(T54);  
tp[54]=tempC;  
Serial.print(tp[54]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
Serial.print("Temperatura Sensor 55: ");  
printTemperature(T55);  
tp[55]=tempC;  
Serial.print(tp[55]);  
Serial.print("\n\r");
```

```
    Serial.print("Temperatura Sensor 56: ");  
    printTemperature(T56);  
    tp[56]=tempC;  
    Serial.print(tp[56]);  
    Serial.print("\n\r");  
  
    salvarSD();  
    delay(3600000s);  
}
```