

1-INTRODUÇÃO: Compostagem é o resultado da degradação biológica de materiais orgânicos, em presença de oxigênio do ar, sob condições controladas pelo homem. É um processo de transformação de algumas matérias primas orgânicas em adubos utilizáveis pela agricultura. Este processo envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovidas por inúmeros microrganismos do solo, os quais têm na matéria orgânica in natura sua fonte de energia. A decomposição biológica aeróbica (em presença de ar) e a estabilização de substratos orgânicos, ocorre entre 55°C e 70°C, temperaturas que são resultantes do calor produzido biologicamente por microrganismos termofílicos quando estão degradando as cadeias orgânicas, resultando em um produto mais estável e esterilizado, e que pode ser aplicado no solo produzindo efeitos benéficos. As plantas não têm capacidade de absorver as moléculas existentes nos resíduos orgânicos, por isso a necessidade da decomposição pelos microrganismos que farão a transformação desses elementos orgânicos em minerais disponíveis para a nutrição das plantas. Qualquer resíduo orgânico é compostável, no entanto, devemos definir as misturas ideais para que o processo ocorra num tempo viável para a produção do adubo orgânico e a utilização no plantio. Compostagem é um método largamente utilizado para se estabilizar resíduos sólidos orgânicos de origem vegetal e animal por intermédio de uma decomposição biológica realizada principalmente por microrganismos, para a obtenção de um fertilizante orgânico rico em húmus, com o intuito de favorecer o desenvolvimento das plantas e aumentar a produção agrícola. A produção de resíduos orgânicos domiciliares, assim como os resíduos de poda das árvores dos municípios aumenta a cada ano e sabidamente, estes materiais são destinados aos aterros sanitários, gerando altos custos à administração pública, além de sérios danos operacionais e ambientais como por exemplo a dificuldade na compactação das camadas além da geração dos gases de efeito estufa, culminando com o risco de explosão. A partir da implantação de usinas de compostagem com os resíduos urbanos, além de gerar a economia ao município pelo não envio destes materiais ao aterro sanitário, gera uma quantidade de adubo orgânico de excelente qualidade para suprir o fornecimento de nutrientes às plantas.

2 O processo de produção de composto orgânico, denominado de compostagem, é uma das melhores alternativas para a reciclagem de resíduos orgânicos no solo agrícola. O ataque dos microrganismos com conseqüente aumento da temperatura da massa produz um material estabilizado, higiênico e pronto para a liberação de nutrientes às plantas. Essa técnica, embora milenar, tem tido um grande impulso nas últimas décadas com a introdução de novas tecnologias e equipamentos mais sofisticados, que diminuem o impacto ambiental nos locais de produção do composto, gerando assim um produto de alta qualidade. O composto orgânico é muito utilizado em horticultura como fonte de nutrientes, supressor de doenças de plantas, para aumentar a retenção de água e do teor de matéria orgânica no solo. Vários horticultores produzem composto orgânico tanto para as suas necessidades como para o comércio fora de suas propriedades. No Brasil, a compostagem também

está sendo aplicada para a reciclagem da parte orgânica dos resíduos urbanos, ou seja, da fração orgânica do lixo doméstico e do lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos dos municípios, principalmente após a promulgação da Lei nº 12.305/2010 sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual proíbe a destinação desses resíduos para aterros sanitários. As publicações sobre compostagem são inúmeras, sendo algumas bem gerais e práticas sobre o processo e outras mais específicas, como as que tratam sobre a reciclagem da fração orgânica do lixo doméstico e do lodo de estações de tratamento de esgoto (BERTON et al, 2021). As atividades agrícolas e agropecuárias geram grande quantidade de resíduos, como por exemplo, restos de culturas, palhas e resíduos agroindustriais, dejetos de animais, os quais, em alguns casos, provocam sérios problemas de poluição. Entretanto, quando manipulados adequadamente, podem suprir, com vantagens, boa parte da demanda de fertilizantes químicos industrializados sem afetar adversamente os recursos do solo e do ambiente. O aproveitamento dos resíduos agrícolas, industriais, urbanos e florestais pode ser realizado a partir da compostagem, processo que pode ser realizado em pequena, média e grande escala desde que não cause distúrbios ao meio ambiente e a saúde pública. Produzir alimentos saudáveis, em terras sãs, conservando a saúde do agricultor, do consumidor, do solo e da água é a meta da Agroecologia. O custo cada vez mais elevado dos adubos químicos tem forçado agricultores convencionais a buscarem resíduos orgânicos que possam ser empregados como fertilizantes. Levados pela conjuntura econômica a questionar o modelo agrícola voltado para a produtividade em curto prazo com uso de agrotóxicos e fertilizantes, começam a considerar que a fertilidade do solo pode ir além do uso de calcário e NPK. Mais voltada à proteção do solo contra a erosão, com rotação e diversificação de culturas, com preservação da matéria orgânica, da atividade biológica do solo e do equilíbrio nutricional das plantas, esta visão mais holística leva à diminuição da dependência do agricultor aos insumos externos (ALMEIDA, 1991). O princípio da adubação orgânica é ativar e manter a vida do solo. Ao repor os nutrientes e a energia, os ciclos biogeoquímicos naturais são ativados e podem ser otimizados. Porém, a simples substituição dos adubos minerais pelos orgânicos pode levar à queda significativa de rendimento. Existe um tempo necessário para a conversão de sistemas convencionais para os orgânicos. Esse tempo depende da acomodação dos processos ecológicos às novas condições. Em vez da rapidez das respostas da adubação com fertilizantes químicos solúveis, é a vez da estabilidade das respostas dos fertilizantes orgânicos de base biológica (BUSATO, 2009). No adubo orgânico, os nutrientes, ao contrário do que ocorre com os adubos sintéticos, são liberados lentamente, realizando a chamada adubação de disponibilidade controlada, onde os minerais presentes são liberados de forma contínua e gradual. A adição de fertilizantes químicos ao solo durante longos períodos torna a sua estrutura química bastante simplificada, o estoque de nutrientes concentra-se em cálcio, fósforo e potássio, enquanto os demais elementos são deslocados e lixiviados pelas águas pluviais, causando o fenômeno da

eutrofização (MALAVOLTA, 2006). Segundo o professor Khiel, 2004 (conhecido como o “pai da compostagem”), a partir do processo de compostagem conseguimos:

- Transformar material orgânico (resíduos animais e vegetais) em um material biologicamente estável, sendo que no processo haverá uma redução do volume original;
- Destruir patógenos tais como ovos de insetos e demais organismos indesejáveis;
- Reter o máximo dos nutrientes contidos na matéria orgânica original;
- No adubo químico o Potássio se perde por lixiviação, o Nitrogênio por lixiviação e volatilização e o Fósforo se fixa no solo. No adubo orgânico, estes três fenômenos são evitados e os micronutrientes são mais bem aproveitados pelas plantas. As plantas absorvem o teor de fósforo disponível no adubo orgânico por completo;
- No fertilizante químico, a “carga” é representada por areia ou argila. No adubo orgânico, a “carga” é material de origem orgânica;
- Fertilizantes químicos têm ácidos e sais na formulação, por este motivo, acontece a acidificação e salinização do solo, muitas vezes de forma irreversível;
- Criar um produto que pode ser usado como suporte para o crescimento das plantas e um melhorador das propriedades do solo. Essa decomposição pode ocorrer naturalmente na natureza pelo ataque de microrganismos existentes principalmente no solo, ou pela adição de acelerador biológico, ou seja, microbiota selecionada em laboratório, com a função de acelerar esta degradação biológica. Todavia, para a obtenção de um produto de perfeito acabamento, são necessárias condições especiais de umidade, aeração, temperatura e outras mais, sobre as quais iremos discorrer durante a apresentação da metodologia a ser utilizada em nossa usina de compostagem.
- Aumento da capacidade de retenção de água, chegando a reter quatro a seis vezes mais que o próprio peso;
- Redução da densidade aparente e aumento da porosidade total do solo;
- Formação de agregados capazes de reduzir a susceptibilidade à erosão e aumentar a capacidade de adsorção do solo, com a modificação de sua superfície específica;
- Efeitos sobre a consistência, permeabilidade, aeração, temperatura e cor, reduzindo a plasticidade e coesão do solo, favorecendo operações de preparo;
- Aumento da CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC) pela ação de micelas húmicas coloidais, com atividade superior à das argilas. Quanto maior este parâmetro, maior a fixação dos nutrientes no solo, devido a armazenagem das cargas negativas;
- Durante a atividade de decomposição da matéria orgânica pela microbiota, formam-se os ácidos húmico e fúlvico, os quais funcionam como reserva para as plantas;
- Dentre os micronutrientes presentes no adubo orgânico, está o Silício, o qual, por uma via metabólica, evita a presença de aminoácidos livres nas plantas, fato que faz com que haja a diminuição de insetos que se alimentam das folhas;
- 5 • O adubo orgânico, além de mais barato, armazena água na forma de coloides e é disponibilizado aos poucos para o sistema radicular das plantas;
- É considerado “condicionador de solo”, pois aprofunda o sistema radicular das plantas.
- Estimula o desenvolvimento das raízes das plantas, que se tornam mais capazes de absorver água e nutrientes do solo;
- Aumento e/ou manutenção dos teores de nitrogênio, fósforo e enxofre, acarretando aumento da disponibilidade destes nutrientes, com a

decomposição e mineralização da matéria orgânica; • Redução da fixação do fósforo pelos óxidos amorfos (cristais de óxido de ferro e alumínio), bloqueando os sítios de fixação com os radicais orgânicos. • Favorecimento da atividade microbiológica pela adição de energia e substrato, assim como pela melhoria das propriedades físicas e químicas já mencionadas. • Aumento da capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão; • A temperatura e os níveis de acidez do solo (pH ou potencial hidrogeniônico) se mantêm estáveis; • Dificulta ou impede a germinação de sementes de plantas invasoras (daninhas); • Ativa a vida do solo, favorecendo a reprodução de microrganismos benéficos às culturas agrícolas; • Preparar o composto de forma correta significa proporcionar aos organismos responsáveis pela degradação, condições favoráveis ao desenvolvimento e reprodução, ou seja, a pilha de composto deve possuir resíduos orgânicos, umidade e oxigênio em condições adequadas.

2-OBJETIVOS: Elaborar uma compostagem a partir dos resíduos sólidos urbanos, em local coberto e pavimentado, projeto este que possa ser replicado nos demais municípios que compõe o Consórcio CONSIMARES.

3-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: 3.1. Definição do processo de Compostagem: O termo compostagem está associado ao processo de tratamento dos resíduos orgânicos, sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola e florestal. De acordo com Pereira Neto (1987), a compostagem é definida como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação. A compostagem é o processo de decomposição e estabilização biológica dos substratos orgânicos sob condições que favorecem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas que resultam da produção biológica de calor. Para os autores a compostagem é um processo de oxidação biológica através do qual os microrganismos decompõem os compostos constituintes dos materiais liberando dióxido de carbono e vapor de água. Apesar de ser considerado pela maioria dos autores como um processo aeróbio, a compostagem é também referida como um processo biológico de decomposição aeróbia e anaeróbia, sendo realizada em sua quase totalidade por processos aeróbios. O termo compostagem diz respeito a decomposição da matéria orgânica, porém está associada com a manipulação do material pelo homem, que através da observação do que acontecia na natureza desenvolveu técnicas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos que atendessem rapidamente as suas necessidades. O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico para a produção vegetal (ZUCCONI & BERTOLDI, 1987). A compostagem pode ser definida como um método de manejar resíduos sólidos de origem vegetal e animal, por processo de decomposição microbiológica sob condições controladas, obtendo-se um produto que pode ser manejado, estocado e aplicado como insumo agrícola, melhorando assim, as condições do solo e da cultura econômica nele instalada. O fato de a decomposição ser biológica, distingue a

compostagem de outros tratamentos de resíduos sólidos, como por exemplo, incineração, aterro sanitário, pirólise, biodigestor etc. (KIEHL E.J.,2008). A Compostagem é o destino mais ecológico que se pode dar aos resíduos sólidos orgânicos, comparando-se com a incineração e o aterro sanitário (KIEHL E.J.,2010). O adubo orgânico originado a partir da compostagem tem uma composição completamente diferente do material orgânico que deu origem ao processo (KIEHL, 2004). Resumidamente é a redução biológica de resíduos orgânicos para formação de húmus, que são precipitados escuros, com alto peso molecular e alta capacidade de troca catiônica e que aumentam a absorção dos íons pelo sistema radicular das plantas, incrementam a respiração e aumentam a formação de clorofila e a velocidade das reações enzimáticas das células. As substâncias húmicas podem atuar na proteção dos efeitos tóxicos para as plantas promovido pela ação dos pesticidas, fertilizantes químicos e esterco não curtidos. Esta proteção é decorrente da presença de uma rede de cargas negativas de grande complexidade na sua estrutura, o que permite que herbicidas desapareçam do ambiente do solo quando aplicados junto com as substâncias húmicas (CARON et al., 2015). Material orgânico + microrganismos + H₂O + Ar (O₂) = Matéria Orgânica estável + CO₂ + H₂O + calor + nutrientes minerais para plantas (moléculas orgânicas que foram mineralizadas no formato de elementos químicos). Durante todo o processo ocorre produção de gás carbônico e vapor de água. O líquido proveniente da umidade natural e da decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos, denomina-se chorume. Esse líquido possui uma cor marrom-escura, odor característico, quantidade elevada de matéria orgânica dissolvida, facilmente degradável, contendo alguns sais oriundos do processo de degradação. Para minimizar a produção de chorume é aconselhável diminuir a irrigação das leiras e aumentar os revolvimentos (BERTON et al., 2021). O adubo orgânico oriundo da compostagem é importante para o desenvolvimento das plantas, pois além de ser um ótimo nutriente é ainda um corretivo para o solo, diminuindo sua acidez e melhorando suas características físicas, químicas e biológicas. Como grande fornecedor de matéria orgânica, o composto melhora a capacidade do solo de reter água, facilita a vida microbiana e torna mais fácil o plantio.

3.2.- Matéria orgânica nas propriedades químicas do solo: A matéria orgânica quando mineralizada é fonte de nutrientes para o solo, que complexado pelos coloides, fica em parte disponível para a absorção pelas plantas. O subsídio da matéria orgânica para a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo é importante principalmente em solos sob condições tropicais (RAIJ, 1981). A capacidade de troca de íons é uma importante propriedade que permite aos solos reter elementos em formas acessíveis às plantas. Essa propriedade tem origem na presença de cargas elétricas existente nas superfícies dos coloides e matéria orgânica. Predomina na maioria dos solos a troca de cátions pela maior dominância de solos eletronegativos (RAIJ, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação. Nesses solos, o aumento da Capacidade de Troca Catiônica - CTC é resultado dos grupos carboxílicos, fenólicos, álcoois e metoxílicos, localizados na periferia dos

ácidos orgânicos presentes no húmus, que geram cargas negativas dependentes do pH (OLIVEIRA, 2000). Deste modo, a aplicação de resíduos orgânicos no solo terá efeitos benéficos, dependendo da taxa de aplicação, da reaplicação, do tipo de matéria orgânica contidos no resíduo, da capacidade do resíduo em elevar o pH do solo e dos teores de Nitrogênio (ABREU JUNIOR et al., 2005). Estudos realizados por Busato (2008), com a aplicação de vermicomposto em Latossolo promoveu aumento na CTC do solo em valores médios de 0,300 mmolc dm⁻³ para cada tonelada aplicada, sendo que a testemunha apresentou 67,6 mmolc dm⁻³, na amostra sem aplicação do resíduo, para 91 mmolc dm⁻³ com a dose de 80 toneladas ha⁻¹, fazendo com que a classificação da CTC nas amostras passasse de uma categoria média para outra considerada alta (RIBEIRO et al., 1999). A matéria orgânica apresenta elevada CTC, definida pela quantidade de nutrientes (mol) que uma superfície (ou massa) pode reter. São cargas negativas geradas pela dissociação de grupos ácidos, como, por exemplo, os ácidos carboxílicos (COOH) que, nos valores normais de pH do solo, ficam na forma ionizada (COO⁻). As cargas negativas geradas pela dissociação dos grupos funcionais ácidos são capazes de reter um íon de carga contrária (íons positivos: Potássio monovalente ou K⁺, Sódio monovalente ou Na⁺, Cálcio bivalente ou Ca⁺², Magnésio bivalente ou Mg⁺²). Caso a CTC do solo seja baixa, os nutrientes liberados pela decomposição (mineralização) da matéria orgânica podem ser lixiviados. (BUSATO, 2008; LOPES, 1998) Segundo Oliveira (2000), a decomposição da matéria orgânica do solo é fundamental para o desenvolvimento vegetal, pois mediante esse processo, ocorre o fornecimento de macro e micronutrientes para as plantas. Da decomposição dos resíduos orgânicos que chegam ao solo, resulta a liberação para as plantas de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K) e Enxofre (S) e micronutrientes. Dependendo da decomposição do resíduo vegetal, a taxa de mineralização durante o ano agrícola pode ser muito baixa principalmente de resíduos vegetais de cana-de-açúcar com elevada relação Carbono/Nitrogênio (C/N), provocando imobilização líquida da fonte nitrogenada (MELO, 1978; KIEHL, 1987). Os grupamentos funcionais presentes na matéria orgânica podem se ligar de forma estável aos íons de carga positiva elevada. É o caso do alumínio (Al⁺³), que em concentrações elevadas no solo, provoca danos ao crescimento radicular, reduzindo também a atividade microbiana e, portanto, diminui a produtividade. A formação de complexos estáveis do húmus com Al⁺³ e outros metais pesados desintoxica o solo. Por outro lado, solos com quantidade elevada de matéria orgânica podem apresentar problemas de carência de micronutrientes, como o cobre que, ao ser complexado pela matéria orgânica, fica pouco disponível para a absorção Busato (2008), estudando o composto orgânico na dose de 80 toneladas, em um Cambissolo, constatou que, no período de aproximadamente 360 dias após a aplicação dos adubos, os teores de Ca⁺² foram bastante próximos ao observado para o solo testemunha. Isso sugere que, em solos menos intemperizados e com elevado teor de Ca⁺², mesmo com a aplicação de grandes quantidades de matéria orgânica, os teores desse nutriente retornam

rapidamente aos níveis anteriores a aplicação. Essa retenção do Ca^{2+} ocorre provavelmente devido à sua estabilização, juntamente com outros nutrientes, na matéria orgânica humificada, em função da sua elevada densidade de cargas negativas, originada principalmente em grupamentos fenólicos. Esse Ca^{2+} retido, entretanto, pode retornar à solução, na medida em que os teores desse nutriente forem diminuídos. O Mg^{2+} é um dos macronutrientes exigidos em menor quantidade pela maioria das culturas. Na solução do solo as concentrações normalmente são pequenas, sendo que na ordem de 10 mmolc dm^{-3} , são consideradas satisfatórias (RIBEIRO et al., 1999). Deficiências desse nutriente são observadas geralmente em solos altamente intemperizados. O teor de Mg^{2+} no Latossolo, sem a aplicação dos adubos orgânicos, foi superior a 14 mmolc dm^{-3} , sendo considerado bom do ponto de vista agrônômico (RIBEIRO et al., 1999). Nesse solo, a aplicação de 80 toneladas ha^{-1} de vermicomposto resultou num incremento em torno de $17,6 \text{ mmolc dm}^{-3}$. Entretanto, aproximadamente 300 dias após a aplicação do vermicomposto, os teores desse nutriente estiveram próximos ao da amostra sem aplicação (BUSATO et al., 2008). Teores consideráveis de micronutrientes foram verificados encontrados nas amostras de compostos analisadas, destacando-se as altas concentrações de Ferro, este fato se deve, sem dúvida, à composição dos resíduos sólidos de frigorífico os quais apresentam quantidades consideráveis de sangue e conseqüentemente, altos teores de Ferro, pela presença de hemoglobina; (TRINDADE et al., 1996).

3.3. Transformação de resíduo em composto orgânico:

A palavra “composto” vem de muito tempo sendo utilizada para designar o fertilizante orgânico preparado pelo amontoamento de restos animais e vegetais, contendo substâncias nitrogenadas, misturados com outros resíduos vegetais pobres em nitrogênio e ricos em carbono (KIEHL, 1998). A mistura desses materiais orgânicos tem por finalidade sujeitá-los a um processo de compostagem que conduza essas matérias-primas, por processo de decomposição microbiológica, ao estado de parcial ou total humificação. O termo compostagem está associado ao processo de tratamento dos resíduos orgânicos, sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola ou florestal. A relação Carbono/Nitrogênio ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30. Dois terços do carbono são liberados como dióxido de carbono, que é utilizado pelos microrganismos para obter energia, e o outro terço do carbono em conjunto com o nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas. Nota-se que o protoplasma microbiano tem uma relação C/N próxima de 10, mas, para efetuar a síntese de 10 carbonos com um nitrogênio, e assim constituir o seu protoplasma, os microrganismos necessitam de aproximadamente 20 carbonos para obter energia. As perdas de nitrogênio podem ser muito elevadas aproximadamente 50% durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos, particularmente quando faltam os materiais com elevada relação C/N. Por esta razão, Lampkin (1992) refere à necessidade de uma relação C/N de 25 a 35 para uma boa compostagem. Para relações C/N inferiores, o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como

amoníaco, causando odores desagradáveis. Para relações C/N mais elevadas, a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será todo degradado, conduzindo para que a temperatura não aumente, fazendo com que a compostagem se processe mais lentamente. Os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem Carbono (C) e Nitrogênio (N), sendo o tempo necessário para que ocorra a decomposição e consequente mineralização, governado pela relação entre Carbono e Nitrogênio da matéria-prima. O teor de Nitrogênio dos resíduos a serem decompostos 11 deve ter teoricamente 1,7% ou 17g kg⁻¹. Quando o conteúdo for inferior a esse valor, o tempo de decomposição será maior (KIEHL, 1985). Os fertilizantes minerais nitrogenados podem ser adicionados na compostagem em vez de materiais orgânicos ricos em Nitrogênio. Neste caso, devem ser aplicados através da rega por aspersão em cada camada de 30 cm de matéria orgânica. Os fertilizantes amoniacais são preferíveis aos fertilizantes com Nitrogênio nítrico porque os microrganismos responsáveis pela compostagem preferem o Nitrogênio amoniacal ao nitrogênio nítrico. Segundo Aquino (2005), os resíduos orgânicos sofrem transformações metabólicas desde que fornecidas às condições de umidade, aeração e microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, além de larvas, insetos etc., que têm na matéria orgânica in natura sua fonte de matéria e energia. Como resultado da digestão da matéria orgânica por esses organismos, ocorre a liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio que se transformam em nutrientes minerais, ou seja, esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização. O pH do composto pode ser indicativo do estado de compostagem dos resíduos orgânicos. Jimenez & Garcia (1989) indicaram que durante as primeiras horas de compostagem, o pH decresce até valores de, aproximadamente 5,0 e posteriormente, aumenta gradualmente com a evolução do processo de compostagem e estabilização do composto, alcançando, finalmente, valores entre 7 e 8. Assim, valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha em compostagem. A matéria orgânica se divide em dois tipos de substâncias, as húmicas e as não húmicas (DEMÉTRIO, 1988). As substâncias não húmicas incluem aquelas com características físicas e químicas ainda reconhecíveis, tais como: carboidratos, proteínas, peptídeos, aminoácidos, óleos, ceras, as quais são prontamente atacadas pelos microrganismos. Já as substâncias húmicas, principal fração da matéria orgânica, correspondem à fração mais estável as quais apresentam algumas propriedades únicas como: capacidade de interagir com íons metálicos, manutenção do pH (efeito tampão), além de ser um potencial fonte de nutrientes para as plantas. Segundo Kiehl (1998), a maturidade do composto ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus. Esse produto da decomposição (húmus) é comumente utilizado para fins 12 agrícolas, devendo deter de características físicas e químicas que facilitem o seu uso como fertilizante e/ou

condicionador de solos. As substâncias húmicas constituem uma fração da matéria orgânica do solo, composta por substâncias amorfas, com estruturas químicas complexas, de natureza particular e de maior estabilidade do que os materiais que as originaram (FONTANA et al., 2007). A utilização do ácido húmico como fertilizante visa recuperar áreas esgotadas e degradadas, aumentando as atividades químicas e bioquímicas do solo. O cultivo dos solos sem adição de resíduos orgânicos propicia, em geral, redução dos teores de matéria orgânica com o passar dos anos. Essa redução pode ser favorecida pela prática de queimadas em canaviais e pelo revolvimento do solo excessivo. Assim ocorre queda exponencial do teor total de nitrogênio no solo, mais rápida no início e em proporção cada vez menor com o passar do tempo, até que seja atingido novo teor de equilíbrio, o que pode demorar muitas décadas para acontecer (RAIJ, 1991). Em cana crua devido à relação C/N elevada e o montante de matéria prima acumulada sobre o solo ocorrem a imobilização do Nitrogênio necessitando de aporte no fornecimento do Nitrogênio até a estabilização da mineralização do material.

3.4. Matéria Orgânica como fonte de Nitrogênio:

A matéria orgânica contém cerca de 5% de nitrogênio total; assim, ele serve como uma reserva de nitrogênio. Mas o nitrogênio na matéria está na forma de compostos orgânicos, não imediatamente disponíveis para o uso pelas plantas, uma vez, que a decomposição é lenta (LOPES, 1998). Os mecanismos de adição de nitrogênio ao solo podem ser resumidos em fixações biológicas, adição de matéria orgânica, aplicação de adubos orgânicos ou minerais e adições pelas águas pluviais. Já os mecanismos de perdas advêm de colheitas, lixiviação, erosão, volatilização e desnitrificação (MELLO, 1978). Sabe-se que resíduos orgânicos depositados na superfície do solo são fontes potenciais de nutrientes, principalmente nitrogênio. Entretanto, com os processos de mineralização e imobilização e com toda complexa dinâmica do Nitrogênio, fica difícil avaliar precisamente a disponibilidade desse nutriente nos diferentes resíduos vegetais (OLIVEIRA et al., 1999). No solo, o nitrogênio pode estar na forma mineral ou orgânica e a quantidade de Nitrogênio orgânico é maior em relação à quantidade de Nitrogênio inorgânico. Entretanto, existe muitos processos que resultam em transformações das formas orgânicas em inorgânicas e vice-versa, e que podem redundar em ganhos ou perdas do sistema como um todo (RAIJ, 1991). O processo que converte as formas orgânicas de N em formas inorgânicas denomina-se mineralização e ocorre à medida que os microrganismos do solo decompõem a matéria orgânica para obter energia. As diferentes fases que envolvem as transformações do N no solo são; amonificação e nitrificação (nitritação e nitratação). Após a amonificação, o primeiro produto resultante da decomposição da matéria orgânica é o íon amônio (NH_4^+), proveniente da decomposição de proteínas, aminoácidos e outros compostos. Em condições favoráveis para o crescimento das plantas, a maior parte do NH_4^+ do solo se converte em nitrato (NO_3^-) pela ação de bactérias nitrificantes. Esse processo denomina-se nitrificação e resulta em aumento da acidez no solo devido à liberação de íons H^+ (COSTA, 2001).

3.5. Ciclagem de Matéria Orgânica e dos Nutrientes:

As

plantas obtêm do solo a água e os nutrientes minerais necessários para o crescimento. Quando o cultivo é intenso, os ciclos naturais de decomposição dos minerais que abastecem o solo com íons (nutrientes), bem como a decomposição de resíduos de plantas, animais e microrganismos, que também liberam nutrientes, podem não atender às exigências nutricionais de crescimento das culturas que, em alguns casos, podem ser bastante elevadas. Para o atendimento à demanda das culturas, por muito tempo foi preconizado o uso de elementos nutritivos solúveis (Nitrogênio-N, Fósforo-P, Potássio-K, Cálcio-Ca, Magnésio-Mg, Enxofre-S e micronutrientes) provenientes de adubos químicos solúveis produzidos a partir de fontes não renováveis (o petróleo, como fonte de energia, e as rochas naturais tratadas com produtos químicos, como matéria prima). Com a alta do preço do petróleo, o custo dos nutrientes, especialmente do Nitrogênio (ureia, nitrato, sulfato de amônio), tem subido muito. Além disso, as jazidas de Fósforo não são infinitas e se estima que, num espaço relativamente curto de tempo, o custo de mineração do Fósforo provoque, também, aumentos significativos no seu preço. Dessa forma, a substituição dos fertilizantes químicos solúveis pelos de baixa solubilidade e pelos adubos orgânicos tem despertado interesse crescente. O uso da adubação orgânica procura imitar os processos naturais de ciclagem dos nutrientes, direcionando-os para o aproveitamento das culturas. Os restos de culturas, a queda de folhas, a morte de animais e microrganismos devolvem para o solo a matéria orgânica da qual são formados (Figura 1). A decomposição desses resíduos no solo libera energia e substâncias nutritivas que podem ser utilizadas novamente pelas plantas e pelos microrganismos, fechando, assim, um ciclo de vida, ou seja, de transformações químicas que conduzem à estabilidade da matéria orgânica do solo. 14

Figura 1. Ciclagem da matéria orgânica. Fonte: Piccolo, A. (2007), adaptada pelos autores. Esse ciclo é afetado pelas condições ecológicas locais. Por exemplo, na época mais seca do ano, as transformações são mais lentas, assim como é o crescimento das plantas, já que a água é essencial para que todas as reações ocorram. Em solos de baixada, sujeitos ao alagamento, é comum o acúmulo de material orgânico escuro e de restos vegetais, pois as reações de transformação necessitam de oxigênio e sua quantidade é diminuída nessas condições. Elementos tóxicos no solo, como alumínio ou metais pesados, ou, ainda, acidez excessiva, diminuem a atividade dos organismos decompositores. É bastante comum observar depósitos de folhas pouco transformadas na superfície de solos ácidos. Além dos muitos fatores ambientais que afetam a decomposição e o acúmulo da matéria orgânica no solo (temperatura, radiação etc.), também a qualidade química dos resíduos que serão decompostos apresenta papel preponderante (Figura 2). Por exemplo, enquanto um tronco de madeira de lei pode levar centenas de anos até começar sua decomposição, numa folha nova de feijão esse processo é concluído em poucos dias. Além, obviamente, da idade da planta, a proporção das substâncias que a compõem determina a velocidade de transformação. O principal componente da madeira é a lignina, um biopolímero bastante estável, de difícil decomposição e que confere rigidez. A

celulose, também um biopolímero, é mais fácil de ser decomposta, assim como o amido, os açúcares e as proteínas que formam as células e que, ao chegarem ao solo, servem de fonte de energia para os microrganismos. 15

Figura 2. Fatores bióticos e abióticos e a composição química dos resíduos orgânicos afetam a estabilização da matéria orgânica nas substâncias húmicas. Fonte: Piccolo, A. (2007), adaptada pelos autores. Uma proteína, quando decomposta, pode produzir amônia (NH_3) ou nitrato (NO_3^-) (e são essas formas de N absorvidas pelas plantas. As membranas celulares contêm fosfolípidos que, quando decompostas no solo, podem originar fosfatos (HPO_3^-). Enzimas que contêm enxofre podem ser transformadas até sulfatos. Todas essas formas, NO_3^- , HPO_3^- , SO_4^{2-} , são formas inorgânicas (ou minerais) e podem ser produzidas com a decomposição dos tecidos de plantas e animais. Esse processo é genericamente chamado de mineralização da matéria orgânica e é a base química do entendimento da adubação orgânica. Entender os fatores que afetam a mineralização é entender como funcionará a adubação orgânica, sendo maior a possibilidade de sucesso. Se a planta contiver muita lignina, a velocidade de decomposição é muito lenta. Por outro lado, se o conteúdo de nitrogênio for muito grande, a velocidade de decomposição é alta. Essa dinâmica de decomposição de resíduos orgânicos, liberação de nutrientes e formação de matéria orgânica humificada (húmus, o produto da decomposição) é equilibrada nos ambientes naturais, nos quais a diversidade de espécies de plantas providencia uma diversidade abundante de resíduos de diferentes qualidades, bem como a diversidade de organismos decompositores (ecologia microbiana). A simplificação da natureza proporcionada pelo monocultivo direciona os processos de decomposição para o desequilíbrio. Portanto, uma adubação orgânica adequada e racional requer, como princípio, que se adotem a rotação e a diversificação de culturas. 16

A rotação de culturas consiste no planejamento racional de diversas plantações, alterando a distribuição no terreno em certa ordem e por determinado tempo. O consórcio é o plantio de diferentes espécies vegetais, simultaneamente, sobre a mesma área. Essas estratégias (rotação, consórcios, policultivos) favorecem a diversidade de microrganismos necessária para a decomposição e, conseqüentemente, para a eficiência dos adubos orgânicos (Figura 3). Figura 3: A diversidade de culturas protege os solos e otimiza os ciclos biogeoquímicos Fonte: Fazenda Agroecológica, EMBRAPA-RJ. Os adubos orgânicos são uma cópia (concentrada e acelerada) dos processos que ocorrem gradualmente na natureza com a decomposição dos resíduos orgânicos de origem vegetal ou animal. Geralmente, é construída uma pilha de resíduos orgânicos (acúmulo de massa para decomposição) com a mistura de esterco (fonte de microrganismos para acelerar a decomposição), adiciona-se água, mistura-se para oxigenar e, rapidamente, a temperatura sobe como resultado da atividade decompositora dos microrganismos termofílicos. Depois de um tempo, a temperatura cai e a velocidade das reações diminui até a matéria orgânica estabilizar, formando o húmus ou composto. Esse material apresenta uma composição média estável e, ao ser adicionado ao solo, vai

decompor gradualmente e liberar nutrientes às plantas, além de fornecer energia para os microrganismos e afetar as propriedades do solo. A composição química equilibrada do húmus, em comparação com os resíduos não compostados, previne possíveis desequilíbrios nutricionais nas plantas. O mais comum desses desequilíbrios é a imobilização de nitrogênio. Se a relação entre a quantidade de carbono (C) e de nitrogênio (N) é muita alta, os microrganismos decompositores vão retirar N do solo (imobilizar) para decompor o resíduo orgânico, faltando N para o crescimento das 17 plantas. Cabe ressaltar que, para aproveitar os benefícios que a matéria orgânica proporciona ao solo, é preciso que o adubo seja de boa qualidade, além da necessidade de se conhecer os fatores que afetam a sua decomposição.

3.6. Benefícios da adição da matéria orgânica no solo: Além de adicionar nutrientes, os compostos orgânicos afetam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas (BUSATO, J. G., 2009).

3.6.1. Propriedades físicas:

3.6.1.1. Densidade do solo - a presença da matéria orgânica deixa o solo mais “fofo”, já que reduz sua densidade (relação entre a massa e o volume do solo). Além dos adubos orgânicos serem mais leves que o solo e, por isso, diminuírem a densidade do solo, eles colaboram na estruturação do solo.

3.6.1.2. Estruturação do solo - a estrutura é a união das partículas do solo (areia, silte, argila). A matéria orgânica funciona como agente cimentante das partículas. A sua incorporação libera substâncias orgânicas que funcionam como elementos aglutinantes destas partículas. A matéria orgânica dá mais liga aos solos arenosos, tornando-os mais bem arranjados, mais estruturados, e reduz a coesão dos argilosos, fazendo com que fiquem mais “leves”. Com menor densidade e solo estruturado, a compactação é diminuída e as raízes têm ambiente mais favorável para o seu crescimento.

3.6.1.3. Aeração e drenagem - a matéria orgânica melhora a aeração e a drenagem interna do solo. Promovendo a agregação e a estruturação, são formados poros com melhor distribuição de tamanho, facilitando a circulação do ar e da água. A infiltração da água da chuva é aumentada.

3.6.1.4. Retenção de água - a adubação orgânica aumenta a capacidade do solo de armazenar água. Isso ocorre indiretamente, por meio da estruturação do solo, formando macro e micro agregados e a rede de poros e diretamente, pela sua grande capacidade específica de retenção de água. Quem prepara os compostos orgânicos conhece na prática a grande capacidade de absorção de água que a matéria orgânica apresenta. Ela pode absorver de 5 a 6 vezes sua massa em quantidade de água.

3.6.1.5. Proteção do solo - apesar de reter grande quantidade de água, a maior parte da matéria orgânica humificada é composta por substâncias hidrofóbicas, ou seja, substâncias que repelem água. Assim, os compostos humificados contribuem para a diminuição da velocidade de hidratação dos poros, diminuindo o risco de explosão dos agregados pelo movimento da água.3.6.2. Propriedades químicas:3.6.2.1. Capacidade de troca de cátions (CTC) - a matéria orgânica apresenta elevada CTC, definida pela quantidade de nutrientes (mol) que uma superfície (ou massa) pode reter. São cargas negativas geradas pela dissociação

de grupos ácidos, como, por exemplo, os ácidos carboxílicos (COOH que, nos valores normais de pH do solo, ficam na forma ionizada:COO⁻). As cargas negativas geradas pela dissociação dos grupos funcionais ácidos são capazes de reter um íon de carga contrária (íons positivos: K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). Caso a CTC do solo seja baixa, os nutrientes liberados pela decomposição (mineralização) da matéria orgânica podem ser arrastados para fora do solo pela água da chuva.

3.6.2.2. Capacidade de complexação - os grupamentos funcionais presentes na matéria orgânica podem se ligar de forma estável aos íons de carga positiva elevada. É o caso do alumínio (Al³⁺), que, em concentrações elevadas no solo, provoca danos ao desenvolvimento radicular, reduz a atividade microbiana e, portanto, diminui a produtividade. A formação de complexos estáveis do húmus com Al³⁺ e outros metais pesados desintoxica o solo. Por outro lado, solos com quantidade elevada de matéria orgânica podem apresentar problemas de carência de micronutrientes, como o cobre que, ao ser complexado pela matéria orgânica, fica pouco disponível para a absorção.

3.6.2.3. Poder tampão - a matéria orgânica confere poder tampão ao solo. Em outras palavras, o poder tampão significa a resistência às mudanças nas propriedades do solo. Pode ser considerado como o poder de proteção do solo a mudanças nas condições químicas. A retirada de pequena quantidade de matéria orgânica solúvel diminui grandemente a capacidade de tamponamento das reações.

3.6.2.4. Fornecimento de nutrientes- a mineralização da matéria orgânica é fonte de nutrientes para o solo.

3.6.3. Propriedades biológicas: A matéria orgânica é a base da manutenção da vida no solo. É onde os organismos obtêm energia e alimento para sobreviverem. Além disso, as substâncias húmicas presentes nos compostos têm a capacidade de estimular diretamente o crescimento das plantas, especialmente das raízes. Para que um nutriente seja absorvido pela célula, é preciso que os transportadores sejam energizados. Os transportadores são proteínas que “capturam” o nutriente do lado de fora da célula (do solo) e levam para dentro da célula. Para fazer esse transporte, é preciso gastar energia. Existe uma série de enzimas, chamadas de bombas de prótons, que realizam a quebra do ATP e geram a energia necessária para energizar esses transportadores. Compostos químicos presentes no húmus têm a capacidade de induzir a síntese das bombas de prótons na célula, aumentando a sua energia. Com isso, as plantas ficam mais vigorosas e resistem mais aos mais diferentes tipos de estresse, além de, obviamente, absorverem e acumularem mais nutrientes. Figura 4. A matéria orgânica induz a formação de raízes laterais nas plantas (1), promove aumento da quebra de ATP para gerar energia (2) e transportar mais eficientemente os íons (3). Foi comprovado que a matéria orgânica humificada aumenta a quantidade de bombas de prótons nas membranas biológicas, tornando-as mais eficientes energeticamente (4). Fonte: CANELLAS, 2006.

3.7- Alguns dos benefícios da compostagem:

- Aumenta a matéria orgânica do solo;
- Aumenta a atividade dos microrganismos benéficos do solo;
- Transforma a estrutura física do solo, afofando e arejando-o;
- Aumenta a retenção de água (CRA) e de nutrientes, aumenta a CTC, Coeficiente de Troca Catiônica,

diminuindo perdas de umidade e lixiviação dos adubos orgânicos, evitando assim, a acidificação do solo; 20 • Promove a Biorremediação e a Biodegradação de resíduos perigosos visando a despoluição de um substrato; • Fornece macro e micronutrientes de forma lenta e na forma de quelatos e outros complexos orgânicos (efeito proporcionado pelos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos); • Forma substâncias ativadoras do crescimento das plantas, como os hormônios de crescimento; • Protege as plantas dos elementos prejudiciais às raízes como metais pesados e herbicidas; • Protege as raízes contra os choques térmicos e acidez dos solos; • Promove a liberação de nutrientes fixados nas argilas, pois aumenta a ação de microrganismos e concentração de ácidos orgânicos solubilizadores de nutrientes; • O processo termofílico proporciona a esterilização de algumas bactérias e fungos prejudiciais à saúde presentes na matéria prima, assim como a inativação de sementes de ervas daninhas que possam vir a causar danos futuros (Kiehl, 2010).

3.8- Por que realizar o processo de compostagem? A Política Nacional dos Resíduos Sólidos instituída em 2010 contempla a destinação ambientalmente correta dos resíduos orgânicos e sabemos que essa destinação não deve ser para os aterros sanitários, local onde todo este material orgânico é desperdiçado, além do alto custo envolvido nesta atividade. A PNRS preconiza a destinação dos resíduos orgânicos urbanos às usinas de compostagem. A Agricultura Regenerativa preconiza a recuperação dos solos a partir do maior aporte de matéria orgânica, grande parte oriunda do processo de compostagem. Portanto, realizando a compostagem de resíduos orgânicos, retornaremos ao solo os nutrientes tão importantes para mantê-lo vivo, saudável e altamente produtivo. A partir da adubação orgânica também conseguiremos substituir parcial ou totalmente os fertilizantes químicos, tão nocivos à saúde. Os microrganismos presentes no composto orgânico, também terão um papel muito importante na fisiologia das plantas.

3.9- Conceitos Associados à Compostagem: 3.9.1-Microrganismos: 21 Conforme Miller (1992), o processo de compostagem é marcado por uma contínua mudança das espécies de organismos envolvidos, devido às modificações nas condições do meio, sendo praticamente impossível identificar todos os presentes. Além disso, sabe-se que a intensidade da atividade dos microrganismos decompositores nos processos de compostagem está estritamente relacionada à diversificação e a concentração de nutrientes, sendo que a microbiota do composto determina a taxa de velocidade do processo de compostagem e produz a maior parte das modificações químicas e físicas do material Pereira Neto, (2007). Os principais nutrientes encontrados nos resíduos vegetais e animais estão na forma orgânica e são decompostos em diferentes estágios, com diferentes microrganismos, que secretam enzimas e digerem o seu alimento fora da célula Primavesi, (1981). Para que ocorra a digestão, os microrganismos liberam enzimas na presença de oxigênio (KIEHL, 2004). No início do processo de compostagem, agem microrganismos mesofílicos, com atividade ótima em ambiente de até 45°C, logo após se proliferam os termofílicos, com atividade ótima em ambiente de 45°C até 70°C. A temperatura é um fator limitante para a vida

desses microrganismos e, por isso, o processo de compostagem pode ser dividido em quatro fases: - A fase inicial se caracteriza pelo crescimento de colônias de microrganismos mesofílicos e conseqüente aumento da taxa de decomposição e da liberação de calor. Ela pode durar de 15 horas a 4 dias, dependendo das características do material a ser compostado e termina quando o interior da pilha de material atingir 45°C, sendo que o pH é ácido e a relação C/N é alta. Corrêa et al., (2005) afirmam que no início da decomposição dos resíduos orgânicos, na fase mesófila, predominam bactérias que são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, promovendo a liberação de calor na massa de compostagem. Nesta fase, ocorre também a atuação de fungos, que são seres heterotróficos, pois utilizam a matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e outros microrganismos, como fonte de energia (Pereira Neto, 2007). Esses microrganismos são produtores de ácidos, que degradam as proteínas, os amidos e os açúcares (TURNER, 2002). - Com o aumento da temperatura na fase termofílica que poderá atingir 650 -700 devido à liberação de calor, ocorre a morte de microrganismos mesofílicos (PEIXOTO, 1988), havendo a multiplicação de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos (RIFFALDI et al., 1986). Nesta fase, as bactérias degradam os lipídeos e frações de hemicelulose, 22 enquanto a celulose e a lignina são decompostas pelos actinomicetos e fungos (KIEHL, 1985). Há intensa geração de calor e vapor de água e o pH começa a diminuir com a volatilidade da amônia. - As substâncias orgânicas mais resistentes são degradadas na terceira fase, mesofílica. Há microrganismos que atuam na faixa de temperatura em torno de 45°C. A queda de temperatura se dá pela queda de atividade microbiana e esta fase se caracteriza pela atuação, principalmente de fungos e actinomicetos em substituição às bactérias das fases anteriores. - A última fase é a de maturação, na qual as substâncias húmicas são bioquimicamente formadas e a atividade biológica no composto é baixa. O pH se mantém neutro até alcalino, a relação C/N fica estável em torno de 10/1. O composto maturado já está pronto para ser aplicado no solo (INÁCIO & MILLER, 2009).

3.9.2- Padrões de monitoramento da compostagem:

3.9.2.1- Temperatura:

é um parâmetro fácil de ser medido e que pode nos elucidar quanto a maturidade do composto e andamento do processo. Ela é fator limitante do crescimento microbiano e influencia a velocidade de degradação do material. Portanto, Inácio & Miller (2009) sugerem que essa seja medida diariamente em três pontos da massa de compostagem: topo, centro e base. Caso as temperaturas estejam fora do esperado de 35°C a 65°C, medidas devem ser aplicadas como por exemplo o revolvimento quando as temperaturas estiverem muito altas e umidificação para temperaturas baixas. Figura 5 - Gráfico com as temperaturas na leira de compostagem (Brasil 2017)

23 A temperatura e o consumo de oxigênio são altamente correlacionados na compostagem, já que ambos os parâmetros medem a atividade microbiana. No processo de leiras estáticas, é fundamental favorecer a produção de calor, e principalmente, manejar a transferência deste calor dentro da leira sua saída junto com o vapor d'água. A produção de calor oriunda da atividade microbiana é o "motor" da compostagem e a

transferência desse calor rege os outros fatores ecológicos importantes, o fluxo de ar (aporte de oxigênio) e ao conteúdo de água da leira. A atividade de transformação da biomassa pela atividade microbiana gera grande quantidade de calor que se acumula. O aumento de temperatura na compostagem é resultado de uma maior retenção de calor de que de suas perdas. As perdas de calor seguem pela: (a) perda em forma de calor sensível com a saída dos gases e em forma de calor latente da evaporação do vapor d'água (mais intensa); (b) perdas por condução, convecção e radiativa. A baixa condutividade térmica típica da matéria orgânica reduz as perdas por condutividade e resultam em grande acúmulo de calor. No entanto, as leiras de pequeno volume (menor que 1 metro cúbico) ou com maior relação superfície/volume (baixas e largas ou estreitas e compridas) tendem a perder mais calor. A escolha das dimensões da leira de compostagem pode ser um fator usado para regular a temperatura média do processo. Mas sempre lembrando que a principal forma de perda de calor das leiras é via a saída ascendente do vapor d'água.(INÁCIO et. al, 2009.) Apesar de diversos autores citarem a importância de se controlar temperaturas em torno de 55°C para evitar perdas de nitrogênio e a inibição da atividade dos microrganismos termofílicos, na compostagem em leiras estáticas o manejo do fluxo de calor é fundamental. A manutenção de altas temperaturas como 65°C ou mais tem papel na ativação do fluxo de ar. Portanto não se faz qualquer controle de temperatura no processo de leiras estáticas, ao contrário, procura-se reter o calor gerado. Os níveis de temperatura são autorregulados pela atividade microbiana. Os revolvimentos sempre resultam no imediato resfriamento da leira, que voltará a se aquecer com o aumento da atividade biológica. Áreas centrais e na base das leiras têm a tendência de mostrar temperaturas em torno de 70°C associadas a concentrações de 2% de Oxigênio. A temperatura interna de uma leira de compostagem é influenciada por condições atmosféricas como variação de umidade relativa do ar e velocidade do vento. O aumento na velocidade dos ventos, reduz a umidade relativa do ar ambiente fazendo com que o fluxo de vapor saindo da leira se intensifique. A saída do vapor contendo grande quantidade de calor faz a curva de temperatura decrescer. Ambos os efeitos, retirada de umidade e perda de calor, podem reduzir a atividade microbiana e dependendo da intensidade, interrompê-la. Este efeito, quando ocorre no início do processo de compostagem, na transição da fase mesofílica para a termofílica, pode gerar condições para a ocorrência de eventos anaeróbicos no interior da leira, gerando um processo de decomposição anaeróbia e fermentação. Este quadro favorece a formação de larvas de mosca doméstica e formação de fortes odores. No processo de leiras estáticas, o armazenamento de calor é conseguido através do uso de aparas de madeira como material volumoso. Por sua baixa condutividade, as aparas de madeira tem o efeito de retenção de calor. Esta camada de aparas de madeira, com alta capacidade de absorção retém parte do fluxo ascendente de vapor que sai da leira, evitando forte perda de calor via saída do vapor de água (INÁCIO et. al, 2009). Figura 6- Variações de temperatura e pH na leira durante o

tempo de compostagem (Berton et.al, 2021). 3.9.2.2- pH: O pH do meio influencia diretamente a seleção de espécies microbianas na leira, sendo o meio ácido favorável a algumas espécies, o meio básico a outras e o neutro a outras. Pensando na eficiência do processo de compostagem, o pH ótimo indicado por Kiehl (2008) está na faixa entre 6,5 e 8,0. Normalmente, o pH é baixo no início da compostagem, com faixas entre 5,0 e 6,0, por conta da acidez de cascas de frutas e restos vegetais. Valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devida à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbicos no interior da pilha de compostagem. À medida que os fungos e bactérias digerem a matéria orgânica, ácidos são liberados que se acumulam e acidificam o meio. Essa diminuição do pH favorece a proliferação dos fungos e a decomposição da lignina e da celulose. Posteriormente esses ácidos são decompostos até serem completamente oxidados. Há também a volatilização da amônia por conta das altas temperaturas, o que causa o aumento do pH do meio. No entanto, se existir escassez de oxigênio, a atividade microbiana entrará em anaerobiose, e o pH poderá diminuir a valores inferiores a 4,5 e limitar a atividade da microbiota que se desenvolve em aerobiose, retardando assim o processo de compostagem. Nesses casos, deve-se revolver a pilha para o pH voltar a subir. Porém, o pH ideal para o composto final deve estar na faixa entre 8,0 e 9,0, após a fermentação nas leiras. 3.9.2.3- Umidade: A umidade é um fator de influência direta na atividade microbiana quanto à regulação do metabolismo e na disponibilidade de oxigênio na leira. Sabemos que níveis abaixo de 15% de umidade cessam inteiramente a atividade biológica, enquanto níveis acima de 65% proporcionam condições para atividade microbiana anaeróbia (Inácio & Miller, 2009). Portanto, a umidade considerada ótima ao crescimento microbiano aeróbio é em torno de 55%. Caso a umidade esteja elevada, é indicado que se faça o revolvimento da leira, de forma que a água em excesso evapore. 3.9.2.4- Relação Carbono/Nitrogênio (C/N): A abundância de microrganismos na decomposição é determinada também pela relação C/N. O carbono é fonte de energia para os microrganismos, então sua presença no processo de compostagem é essencial. O nitrogênio é elemento básico na reprodução protoplasmática, estrutura celular básica, o que também o torna vital aos microrganismos. Outros fatores também são influenciados pela relação C/N como por exemplo o tempo de compostagem, aeração e temperatura do processo. Isso porque materiais de alta relação C/N tem estrutura mais forte e conferem à leira mais aeração e conseqüentemente alteração no padrão de temperatura. Caso a relação C/N esteja muito alta, o processo de compostagem levará um período maior para se concretizar, 26 enquanto uma concentração elevada de nitrogênio resultará na volatilização de amônia e conseqüente odor ruim (Pereira Neto, 2007). Em geral, resíduos orgânicos palhosos e celulósicos tem nível de carbono elevado enquanto legumes frescos e resíduos fecais contém alto teor de nitrogênio. A fração orgânica do resíduo urbano tem relação C/N dentro da faixa considerada ótima de 25:1 a 30:1 (Inácio & Miller, 2009). 3.9.2.5 - Tamanho das partículas do material: Além das características químicas da matéria-

prima, o tamanho das partículas também é importante para o processo de compostagem. Todo o processo de decomposição inicia-se na superfície das partículas e depende da existência de água e oxigênio para que os microrganismos tenham acesso ao material orgânico. Com a redução do tamanho da partícula, aumenta-se a sua superfície específica fazendo com que os microrganismos acessem mais facilmente. Por outro lado, partículas muito pequenas tendem a sofrer riscos de compactação, que podem ocasionar a formação de micro sítios com falta de oxigênio. Idealmente, as partículas dos materiais a serem compostados devem ter cerca de 3 a 4 cm (BERTON et al, 2021).

3.9.2.6 - Ciclo de Revolvimento: Revolver o material é um procedimento essencial para o bom resultado da compostagem, pois proporciona aeração do composto e conseqüente adequação do meio à vida de microrganismos aeróbios. Temperaturas elevadas também podem ser controladas com o revolvimento criando um ambiente ótimo para o desenvolvimento microbiano. O ciclo de revolvimento da leira depende da temperatura e necessidade de aeração do composto, porém Pereira Neto (2007) recomenda que ocorra a cada três dias do início do processo até o final da fase termofílica (duração de aproximadamente 30 dias) e a cada 6 dias até a temperatura diminuir para valores abaixo de 40°C. O ideal é que ocorra a inversão das camadas superficial e central da pilha, já que aquela, por estar em contato direto com o ar, perde mais calor. Esse procedimento garante que todo o composto fique submetido a temperaturas entre 35° e 70°C, essenciais à degradação completa. Na fase de cura do composto, não são realizados revolvimentos.

3.9.2.7 - Emissão de odores: O mal cheiro exalado pela leira é decisivo na permanência de uma unidade de compostagem em determinado local. Para um bom controle deste problema, é importante se conhecer a origem e os tipos de odores associados ao sistema de compostagem. A principal causa da emissão de odores é a decomposição anaeróbica do material orgânico presente nas leiras. Apesar de se tomar todos os cuidados em proporcionar um ambiente aeróbio, sempre ocorrem bolsões durante a fase mais ativa da compostagem, nos quais o oxigênio não consegue penetrar, quer por excesso de umidade ou por maior compactação do material orgânico, causando assim condições de anaerobiose. As substâncias associadas ao mau cheiro incluem gases inorgânicos (NH₃ e H₂S) e/ou compostos orgânicos voláteis derivados dos compostos nitrogenados (aminas, cetonas, fenóis e índios) e dos compostos contendo enxofre (mercaptanas). A maioria destes compostos são produtos intermediários de decomposição e necessitam de uma rota aeróbia para completar a sua degradação. A produção do gás amônia (NH₃) é muito comum durante a compostagem e não está associada apenas à anaerobiose. A degradação de compostos proteicos em misturas de materiais com baixa relação C/N produz NH₃ em quantidades maiores às requeridas para o crescimento dos microrganismos. Em condições de pH baixo (<8,5), esse gás produzido permanece em solução na forma de íon amônio (NH₄⁺), mas em condições de pH acima de 8,5, este íon perde um átomo de hidrogênio e passa para a forma gasosa (NH₃), deixando a pilha de compostagem por volatilização e por ser

mais leve que o ar atmosférico. Os compostos sulfurosos são muito encontrados na decomposição de resíduos de comida ou outro resíduo rico em aminoácidos (INÁCIO e MILLER, 2009), o que representa um problema em unidades de compostagem de lixo doméstico. A presença de sulfeto de hidrogênio (H₂S) é causada pela atividade de microrganismos redutores de sulfatos em ambiente com baixo potencial de oxirredução, entre 150 e 350 mV. O resultado desta reação é a produção de gás sulfídrico (H₂S). O material orgânico adicionado à pilha de compostagem dentro de sacos plásticos já se encontra em decomposição, liberando odores desagradáveis. Resíduos orgânicos devem ser processados o mais rápido possível para evitar mau cheiro e proliferação de moscas. O próprio composto em fase de maturação também pode produzir odores por falta de aeração da pilha.

4- INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA PARA A COMPOSTAGEM:

4.1. Local de instalação:

28 O local de instalação é de primordial importância para que a compostagem possa ser feita por um longo tempo na mesma área. Deve-se levar em conta a proximidade da vizinhança, tanto no presente como no futuro, em virtude da possível ocorrência de maus odores, barulho de máquinas e de veículos, poeira e moscas. As condições de microclima, principalmente com relação à direção predominante dos ventos e ao regime de chuvas; proximidade de rodovias e mananciais; profundidade do lençol freático e a declividade do terreno também merecem consideração.

4.2. Pátio de compostagem:

O pátio de compostagem deve ser pavimentado de forma a evitar a infiltração do chorume no perfil do solo. Para impermeabilização pode-se usar a cobertura asfáltica, compactação do solo ou mesmo o emprego do concreto. O pátio deve ter uma inclinação de 2% a 3% para melhor escoação do chorume e da água de chuva. Com esta inclinação evita-se o encharcamento da parte inferior da leira do composto. A disposição da leira deve ser no sentido da declividade e de forma a deixar um corredor entre elas, para o escoamento da água de chuva e circulação de caminhões, pás carregadeiras e das máquinas de revolvimento das leiras. No dimensionamento do pátio deve-se prever também áreas para a fase de maturação e de estocagem do composto orgânico pronto.

4.3. Cobertura:

Embora não seja essencial para a realização da compostagem, a cobertura do pátio de compostagem é uma prática que está sendo cada vez mais adotada nas empresas que produzem o composto orgânico para fins comerciais. A cobertura do pátio assegura um controle maior da umidade e da temperatura, dois requisitos básicos para a obtenção de um produto de maior qualidade. Recomenda-se a cobertura do pátio também quando o local se encontra próximo à vizinhança, pois evita que as chuvas incidam sobre as leiras provocando odores fortes devido às condições anaeróbias nelas formadas.

4.4. Maquinário para revolvimento das leiras:

Atualmente existem diversas máquinas para o revolvimento de leiras, tanto nacionais como importadas. O revolvimento mecânico é altamente eficiente por trazer para cima a parte inferior da leira, a qual se encontra mais úmida, menos decomposta e com temperatura mais baixa, de forma a realizar uma inversão quase completa das camadas. Da mesma forma, esta prática injeta ar (oxigênio) ao sistema e ajuda a 29 2 expulsar o ar rico em CO₂ de

dentro das leiras, aumentando a eficiência dos microrganismos aeróbios. O revolvimento também colabora para a diminuição do tamanho das partículas do material sendo compostado. As revolvedoras de leira podem ser acopladas a um trator ou autopropelidas, sendo que o revolvimento se dá por meio de um rotor que atravessa as leiras de compostagem em velocidade baixa e em apenas uma direção. No mercado encontram-se máquinas de vários tamanhos, tanto em largura como em altura e com dois tipos de tração: rodados ou por esteira. A escolha da tração depende do tipo de terreno empregado. Tração por rodados é mais usada em terrenos secos e com piso sólido, enquanto a tração por esteira é preferível em situações de encharcamento e piso desagregado. Pás carregadeiras devem ser utilizadas com cuidado para a movimentação das leiras, devido à sua pouca eficiência no arejamento e à maior compactação que ocorre do material sendo compostado. Entretanto, são úteis na mistura dos resíduos, na formação das leiras e no carregamento do composto maturado em caminhões (BERTON et al, 2021).

4.5. Tamanho e formato das leiras de compostagem:

Assume-se a leira como um ecossistema microbiano com capacidade de autorregulação que tem a capacidade de decompor a matéria orgânica. No entanto a biodecomposição aeróbica e termofílica ocorrerá apenas sob certas condições de estrutura de leira, transferência de calor, do fluxo de ar e vapor, e de balanço hídrico (umidade). Tais fenômenos serão manejados a partir de práticas de montagem da leira de compostagem e não apenas ao longo do processo. Brito et.al (2011) constatou que a evaporação é superior em pilhas altas, que alcançaram temperaturas mais elevadas deixando condições para a ação de microrganismos termofílicos. Mais usualmente as leiras têm 1,0 m a 1,8m de altura para garantir essas temperaturas esperadas. Pereira Neto (2007) recomenda que a base da leira tenha de 1,5 m a 3 m.

5- Conceito de qualidade do composto orgânico:

5.1.- Controle de organismos patogênicos:

A intensa atividade microbiológica durante a fase termofílica consegue manter a temperatura elevada por vários dias, destruindo assim a maioria dos patógenos presentes no material sendo compostado. Além da esterilização realizada pela combinação de temperaturas elevadas e o tempo de exposição, os organismos patogênicos ainda sofrem com a presença da amônia liberada durante a compostagem, a qual é tóxica para muitas bactérias e vírus, e com a liberação de substâncias antagônicas, como antibióticos, pelos organismos saprofílicos presentes na leira de compostagem. Para complicar mais a vida desses microrganismos, a maioria deles não sobrevive no solo ou nas plantas por um período longo. Neste ambiente, estes patógenos irão sofrer nova competição com os microrganismos do solo, mudanças de temperatura, ressecamento, dissecação e exposição à luz ultravioleta (BERTON, et al, 2021).

5.2- Monitoramento da qualidade do composto orgânico:

Finalizada a fase termofílica caracterizada pelas altas temperaturas da massa do composto, considera-se que o composto está estabilizado, porém não maturado ou humificado. A estabilização é um estágio de decomposição da matéria orgânica com influência da atividade biológica, a maturação é uma condição organo-

química do composto que indica a presença ou ausência de ácidos orgânicos tóxicos e a presença de moléculas húmicas ou que estão sendo humificadas. Bernal et. Al (1998) descreveram que a maturidade do composto implica na estabilidade da matéria orgânica e na ausência de compostos fitotóxicos e de patógenos de plantas e de animais. Compostos imaturos ou pouco estabilizados podem causar problemas durante a estocagem, a venda e o uso. Durante a estocagem, esses materiais podem criar bolsões anaeróbios e causar maus odores e o desenvolvimento de substâncias tóxicas no produto. A aplicação desse material imaturo no solo também pode causar impacto negativo no crescimento das plantas, devido à diminuição no suprimento de oxigênio e/ou nitrogênio para as raízes e a liberação de substâncias tóxicas no solo (BERNAL et al., 2009). Em geral, um composto será considerado humificado quando apresentar-se com coloração escura, cheiro característico de consistência amanteigada (quando molhado e esfregado entre as palmas das mãos). Esta condição irá ocorrer após o composto ter permanecido por algum tempo com temperatura acima de 55°C e depois cair e permanecer constante, mesmo após o revolvimento. Nesta situação provavelmente o composto deverá ter a relação C/N inferior a 17/1 e pH maior ou igual a 7,0.

5.3- Características do composto maduro: - Redução de aproximadamente 1/2 do volume da massa inicial, - Degradação física dos componentes, não sendo possível identificar os constituintes, 31 - Permite que seja moldado facilmente nas mãos, - Cheiro de terra molhada, tolerável e agradável, - PH alcalino, mínimo de 40% de matéria orgânica, - Teor de Nitrogênio acima de 1%, - Relação C/N entre 10 e 12.

6- MATERIAIS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO PILOTO : - Veículos para entrega do material no pátio de compostagem da CODEN Ambiental (ETE Quilombo), - Triturador para galhadas, - Pás e enxadas para a quebra manual do FLV, - Trator BobCat com concha (minicarregadeira) para a montagem e revolvimento das leiras. Operador para o trator BobCat e duas pessoas para realizarem a irrigação e revolvimento da leira, registros fotográficos, coleta de amostras e dados referentes ao processo. - Metodologia e equipamentos laboratoriais para análises de pH, umidade e densidade, balança laboratorial para as análises de densidade, umidade e pH das amostras; termômetro para as medições das temperaturas em três pontos distintos da leira. - Ponto de água e mangueira para irrigação da leira.

Foto 1 – Coletiva de imprensa em 02 de dezembro de 2022 para a divulgação do projeto piloto “Composta Nova Odessa”, no anfiteatro da Prefeitura da cidade.

7-METODOLOGIA PROPOSTA: 32

7.1. Preparo para o início do processo de compostagem: Foto 2- Resíduo de poda previamente estocado no pátio de compostagem da ETE Quilombo para a secagem e perda de umidade, servindo assim como base para as leiras de compostagem sendo o substrato que permitirá a aeração do material. Foto 3- Na foto vemos o trator espalhando os resíduos de poda para que sejam secos ao tempo e para que sirvam como base para as leiras de compostagem. Foto 4: Funcionários da CODEN Ambiental preparando a ligação de água para o ponto de irrigação da compostagem. Funcionários da Prefeitura de Nova Odessa instalando o triturador para hortifruti. Foto 5: Seleção dos resíduos de

hortifruti do Supermercado “Pague Menos” de Nova Odessa que serão usados na composição da leira de compostagem. 33

7.2. Análise prévia dos materiais a serem usados na composição da leira de compostagem:

Em 15 de março de 2023 recebemos os laudos do Laboratório LAGRO (ANEXO 1) com os resultados das relações C/N dos dois materiais que serão utilizados na compostagem; 1- Resíduo de Poda Municipal; Relação C/N 27,81 , umidade 52,89% 2- Resíduo de Hortifruti (FLV) do Supermercado Pague Menos: Relação C/N 28,89, umidade 38,55%.

7.3. Previsão das quantidades dos materiais que serão recebidas e as respectivas misturas:

- Deveremos receber 10 viagens de resíduo de FLV totalizando de 5.000 kg, completando com aproximadamente 5.000 kg de resíduo de poda municipal.
- A proporção de material deverá ser de 50% de FLV para 50% de resíduo de poda, entre o resíduo mais seco e o mais úmido.
- Estamos projetando uma leira com 20 m³ ou aproximadamente 10.000 kg de material porque a densidade do material inicial total é de 0,50 a 0,60 g/l, volume testado previamente com os nossos materiais no laboratório da CODEN Ambiental. Foto 6- Cálculo da densidade do resíduo de poda: peso do material (174,243 g) em béquer de 300 ml = 0,58 mg/kg
- A montagem das leiras com a concha do trator BobCat, começará com materiais mais fibrosos como por exemplo folhas mais secas e galhos para que a base proporcione a aeração da pilha. Esse material denominado “resíduo de poda 34 seca” foi previamente estocado no pátio da CODEN Ambiental para que perdesse um pouco da umidade e pudesse proporcionar a estrutura da leira (Fotos 1 e 2).
- A área do pátio de compostagem a ser utilizada para a montagem e movimentação da leira, assim como para a estocagem do resíduo de hortifruti será de aproximadamente 80 m².
- O ponto de água foi instalado na lateral do muro do galpão da compostagem, a partir do qual foi acoplada uma mangueira de 10 metros para realizarmos a irrigação da leira durante os revolvimentos e durante os tombos realizados com o trator (Foto 3).
- Cálculo das dimensões da leira de compostagem TRAPEZOIDAL: Figura 7 – Cubicagem do trapézio Portanto montaremos uma leira com aproximadamente 8,5 m como medida da base maior (B), 6,5 m como medida da base menor (b), com 1 m de altura(h) e 2,80 de largura (H), sendo $8,5 + 6,5 = 15/2 = 7,5 \times 1 = 7,5 \times 2,80 = 21\text{m}^3$ x densidade do resíduo de poda + resíduo de FLV que é de aproximadamente 0,5 g/l = aproximadamente 10.500 kg de material dispostos na leira trapezoidal.
- Suposição para termos relação C/N 25-30: Mistura de 50% de resíduo de poda + 50 % de hortifruti (FLV), diante da disponibilidade dos materiais. Conforme o FLV for chegando em viagens de 500 kg/cada, serão dispostos sobre a camada de resíduo de poda previamente montada em forma de cocho. Acontecerá o revolvimento dos materiais para que a exposição dos resíduos de hortifruti não atraia insetos e outros animais.
- As irrigações serão feitas a cada adição de material à leira.
- As medidas volumétricas da leira serão tiradas a cada etapa de revolvimento.
- As medidas de pH, temperatura, umidade e densidade serão aferidas antes de cada revolvimento da leira. 35

• Serão promovidas visitas ao pátio da CODEN para a demonstração do processo de compostagem aos técnicos dos municípios que compõe o CONSIMARES,

assim como aos alunos de escolas e demais interessados. Realizaremos palestras técnicas para a demonstração da elaboração do processo de compostagem utilizando os resíduos urbanos.

8- PROCEDIMENTOS E REGISTROS FOTOGRÁFICOS:

Faremos a discriminação dos procedimentos realizados em todos os dias nos quais estivemos presentes na Coden Ambiental, em ordem cronológica, com as fotos numeradas na sequência dos acontecimentos:

Dia 1 -Início dos trabalhos para elaboração da leira de compostagem em 30 de março de 2023: Foto 7- Primeira carga de 450 kg de FLV coletada na loja do Supermercado “Pague Menos”, sendo transportada ao pátio da CODEN Ambiental pelo carro da Secretaria de Meio Ambiente de Nova Odessa. Foto 8- Primeira carga de FLV disposta sobre o resíduo de poda previamente seco para que ele absorva a umidade do material e não forme chorume no piso. A mangueira está presente porque fizemos a irrigação sobre o resíduo de poda anteriormente disposto no pátio de compostagem. A lona azul ao fundo da foto foi usada para a cobertura dos resíduos de hortifruti para que, até o dia seguinte não acontecesse o acúmulo de animais indesejados no local. O procedimento funcionou muito bem.

36 Dia 2 – Em 31 de março, segundo dia de entrega de FLV no pátio da CODEN Ambiental: Foto 9- Segunda viagem de 450 kg de FLV. Tentamos utilizar o triturador manual, mas não conseguimos atingir uma velocidade de trabalho necessária para o processamento do material diário. Foto 10- Carga sendo descarregada, triturada na enxada e misturada à carga de FLV do dia anterior (dia 1). Foto 11- Duas viagens de frutas, legumes e verduras sobre aproximadamente 2.000 Kg de resíduo de poda. Processo de montagem da leira com a concha do trator. Foto 12 - Primeira irrigação da leira de aprox. 2.900 kg de material misturado, sem revolvimento.

37 Dia 5 – Em 03 de abril recebemos terceira carga de FLV formada por aproximadamente 450 kg de material estocado nas caixas plásticas do Supermercado estando um pouco mais decomposto por conta do final de semana. A medição da temperatura na leira em formação foi feita a partir de 3 pontos distintos e a média nesse dia foi de 50°C, antes de adicionarmos o material do dia, antes dos revolvimentos e da irrigação. A umidade do material que compunha a leira nesse dia foi de 38% somente, provavelmente por conta do resíduo de poda que já estava no pátio e talvez tenha perdido um pouco da umidade inicial. Sabemos que o ideal é que a umidade do material seja mantida entre 55-60%. Usamos aproximadamente 1.200 kg de resíduo de poda verde previamente entregues no pátio como “tapete” para receber o FLV do dia. A BobCat misturou o FLV recebido no dia com o tapete formado pela poda verde, totalizando 1.650 kg de material misturado que foi adicionado aos 2.900 kg que já existiam na leira em formação. Fizemos a irrigação da leira de aproximadamente 4.600 kg de material verde. Foto 13 - Leira com os 2.900 kg de material do dia anterior mais o resíduo de poda verde ao lado, aguardando a descarga da terceira carga de 450 kg de FLV. Foto 14 - A terceira carga de FLV descarregada sobre o resíduo de poda verde. Foto 15 – Material recebido no dia 03 de abril sendo colocado sobre o material dos dois dias anteriores. Leira formada com aproximadamente 4.600 kg entre FLV e resíduo de

poda seca e verde. Foto 16 – Irrigação da leira pronta no dia 03 de abril. Foto 17 – Visão geral da leira, com o material em pedaços ainda visíveis, porém sem chorume, sem insetos e roedores, sem nenhum odor. 39 Dia 6 – Em 04 de abril, recebemos a quarta carga de 450 kg de FLV depositada sobre o tapete de aproximadamente 500 kg de resíduo de poda verde. A umidade da leira foi medida e obtivemos o resultado de 38%. Tivemos que aumentar a irrigação para atingirmos um patamar de pelo menos 50% de umidade. Dia 7 – Em 05 de abril, recebemos a quinta carga de 450 kg de FLV sobre 500 kg de poda verde. A medida do pH do material da leira deu 4,93, indício de que o material ficou ácido por conta da forte proliferação bacteriana que está degradando rapidamente o material. A umidade ainda está baixa com 34%, provavelmente devido a quantidade de resíduo de poda seca que foi adicionado no início da formação da leira. Foto 18 – Leira no dia 05 de abril recebendo mais uma viagem de FLV. Foto 19 – Leira sendo irrigada no dia 05 de abril com aproximadamente 5.500-6.000 kg de material. Dia 8 – Em 06 de abril (véspera da Páscoa) recebemos 550 kg de FLV sobre 500 de resíduo de poda verde. Dia 9 – Em 07 de abril (véspera de Páscoa) recebemos 550 kg de FLV colocado sobre o material do dia anterior. Dia 12 - Em 10 de abril (após a Páscoa) recebemos a oitava carga de FLV com 550 kg depositada sobre a carga anterior. A temperatura foi medida e detectamos que a leira chegou a 70°C por conta da proliferação da microbiota causando a forte quebra na matéria orgânica (reações exotérmicas). Nesse dia, a leira em formação estava com aproximadamente 8.700-9.000 kg de material entre FLV e resíduo de poda. Porém não havia odor desagradável nem insetos e 40 roedores. O pH medido estava subindo em torno de 7,8 por conta da volatilização da amônia que anteriormente deixava o pH do material mais ácido. A acidez do material está diminuindo também por conta do processo biológico de formação de moléculas orgânicas. A umidade da leira aumentou para 41%, mas ainda está abaixo do nível ótimo para a proliferação da microbiota, ou seja, entre 55-60%. Na leira é possível enxergar a proliferação de fungos termofílicos e há muita fumaça na porção interna e externa da leira. O material foi adicionado à leira com a BobCat, mantendo o formato trapezoidal, a irrigação foi bem intensa nesse dia para que pudéssemos aumentar o teor de umidade no sistema e a quebra final do material foi realizada manualmente com enxadas. Foto 20 – Material de 3 dias depositado no chão, ou seja, 1.650 kg de FLV somado aos 500 kg do tapete de poda verde formando um caldo de degradação no chão contendo muitos microrganismos (espuma branca), o que funcionou como “acelerador biológico do processo”. Material parcialmente degradado por conta da exposição à temperatura alta do final de semana. 41 Foto 21 – Máquina adicionando o material acumulado nos três dias de coleta à leira encostada na parede. Foto 22 – Leira com o material todo misturado, porém percebe-se que ainda há partículas muito grandes. A máquina continuou o revolvimento para intensificar a quebra das partículas, além de usarmos as enxadas como ferramentas auxiliares. A água da degradação do material que estava no meio do pátio foi acrescentada à leira por intermédio de rodo e pelo arraste da própria

máquina. Foto 23 – Leira ao final do dia 10 de abril com material bem misturado e parcialmente quebrado, após muita irrigação. O trator espalhou o tapete de resíduo de poda para receber o material do próximo dia. A temperatura da leira diminuiu porque a fumaça não era mais visualizada na parte externa da leira. 42 Dia 13 – Em 11 de abril, recebemos a nona carga de 45º kg FLV dispostos sobre o tapete de 500 kg de poda seca espalhada no chão no dia anterior. A temperatura da leira estava em 700C com fumaça interna e externamente. A irrigação da leira foi bem intensa por conta do risco de incêndio a partir da combustão do material em processo de compostagem. Também se faz necessário o arrefecimento da leira para que a microbiota não morra por conta das altas temperaturas, visto que mesmo a microbiota termofílica não consegue sobreviver às temperaturas mais altas. Foto 24 – Penúltima carga de FLV. Foto 25 - Mistura do material à leira que já se encontrava no meio do pátio. Dia 14 – Em 12 de abril aconteceu a última entrega de 450 kg FLV pelo Supermercado “Pague Menos”, totalizando aproximadamente 10.100 kg de material compondo a leira de compostagem, com uma densidade menor que 0,50 por conta do material verde e ainda não muito bem compactado. Usamos aproximadamente 50% de resíduo de poda entre material verde e seco e mais 50% de frutas, legumes e verduras. A temperatura em três pontos da leira no último dia de adição do material permanecia 700C, umidade de 40% e pH neutro. Neste dia, foram entregues ao laboratório de Ciência do Solo da ESALQ/USP três amostras do material, sendo uma amostra composta do FLV triturado, uma amostra composta de resíduo de poda entre material verde e seco e por fim, uma amostra composta do material que compunha a leira após a adição da décima carga de FLV com o tapete de poda e posterior revolvimento e irrigação da leira. Os resultados analíticos referentes a estes resultados estão no ANEXO 2 deste trabalho. Estes parâmetros 43 analíticos validaram a escolha pela mistura 50/50 dos materiais, pois obtivemos o valor de 28 na relação C/N inicial do processo de compostagem, o que é considerado um número excelente para início do processo biológico. Resultados de densidade de 0,22 também estava dentro do esperado. Foto 26 – Em 12 de abril, leira com aproximadamente 700C. Foto 27 – Leira finalizada com aproximadamente 10.000 kg de material bem umedecido e ainda bem particulado. Dia 16 – Em 14 de abril, a partir de agora, com a leira formada iremos fazer os revolvimentos e irrigação a cada três dias em média. Percebemos a leira com o material bem escuro e com pedaços ainda bem visíveis. Revolvimento com muita fumaça, temperatura de 650C, sem moscas, sem cheiro, sem chorume, com umidade de 66% e pH 7,0 em decorrência da boa degradação biológica. Foto 28 - Revolvimento da leira com aproximadamente 10.000 kg. 44 Foto 29 – Revolvimento e irrigação da leira em 14 de abril de 2023. Dia 19 – Em 17 de abril, fizemos novamente os revolvimentos e a irrigação da leira com 65-700C e 65% de umidade. Dia 22 – Em 20 de abril, fizemos mais revolvimentos do que o normal porque o material da leira estava com cheiro de apodrecimento, havia chorume formado no pátio e a presença de moscas, temperaturas entre 60 e 700C e umidade de 68% , um pouco acima do esperado que é no máximo 65%. Por conta do

aumento na umidade, o material começou a entrar em processo de anaerobiose devido a diminuição da oxigenação da leira em presença da água. Jogamos o chorume que estava no chão sobre a leira porque neste líquido a carga microbiológica é muito alta. O pH estava alcalino em 8,47 por conta do início da formação dos ácidos húmicos que são oriundos da degradação microbiológica, densidade de 0,53 mg/l o que significa que o material particulado estava sendo bem degradado formando uma massa mais uniforme. Foto 30 e 31 – Presença de muitos fungos termofílicos na parte interna da leira, presença de fumaça. Leira revolvida com o material mais uniforme e parcialmente degradado. 45 Dia 26 – Em 24 de abril, temperatura da leira começou a cair para 58°C em alguns pontos de medição, umidade de 65%, pH 8,7 e o tamanho da leira começou a diminuir para 9.000 kg de material, devido à degradação dos compostos e transformação das moléculas em calor e gases voláteis. Sem cheiro, sem moscas, sem chorume. Dia 29 – Em 27 de abril fizemos revolvimentos e irrigação e as características da leira estavam similares as da visita anterior. Foto 32 – Temperatura alta e presença de fungos terofílicos. Foto 33 – Leira com aproximadamente 8.500 kg e material mais degradado. Dia 34 – Em 02 de maio, fizemos as medições de temperatura e detectamos um ponto com 55°C, os demais parâmetros estavam similares aos anteriores. O tamanho da leira estava em torno de 8.000 kg de material. Dia 37 – Em 05 de maio, material esterilizado pela permanência de pelo menos 30 dias em temperaturas altas, material bem uniforme na leira. 46 Foto 34 - Material bem esterilizado, por conta da temperatura acima de 60°C por mais de 30 dias. Foto 35 – Metodologia de cubicagem do trapézio para determinação do volume da leira e logo após, multiplicação deste número pela densidade do material para a definição do peso em kg. 47 Dia 42 – Em 10 de maio, passamos a revolver num intervalo um pouco maior de tempo, visto que as temperaturas registradas em vários pontos da leira começaram a baixar para 55-58°C, demonstrando que a fase termofílica está chegando ao final., umidade de 60% e pH de 8,59. Dia 47 – Em 15 de maio cubicamos a leira e verificamos que a quantidade caiu para aproximadamente 7.000 kg e pH aumentou para 9,18, demonstrando que o processo de degradação biológico continua a pleno. Dia 49 – Em 17 de maio ministramos uma palestra no anfiteatro da Prefeitura de Nova Odessa para apresentar o “Composta Nova Odessa”. Nesse dia, estivemos no pátio de compostagem e fizemos um revolvimento parcial da leira para a demonstração aos convidados presentes. Foto 36 - Apresentação do Projeto “Composta Nova Odessa” no pátio da Coden. 48 Dia 55 – Em 23 de maio coletamos uma amostra composta da leira para enviar à ESALQ/USP para análise da relação C/N na metade do processo de compostagem. Material com 59% de umidade, pH 8,70, temperaturas variando de 50-60°C e medidas da leira totalizando aproximadamente 6.300 kg, sem cheiro, sem bichos. O resultado analítico referente a essa amostra está no ANEXO 3 e obtivemos o valor de 25 para a relação C/N , o que está muito satisfatório para exemplificar o aproveitamento do carbono como fonte energética para os microrganismos em proliferação. Dia 63 – Em 31 de maio a

temperatura no ponto mais externo da leira estava em 45°C, demonstrando que o material se encontra na fase mesofílica. Foto 37 – Produto em processo de maturação. Dia 68 – Em 05 de junho a leira encontrava-se com aproximadamente 5.900 kg, temperatura média de 50°C e alguns insetos sobrevoando a pilha, possivelmente procurando local para a postura de ovos, visto que a temperatura está baixando, umidade 57%. Dia 78 – Em 15 de junho percebemos muitos fungos mesofílicos no interior da leira, temperatura de 45 – 50°C, iniciamos um peneiramento manual do material e percebemos a humificação do material que já se apresentava coloidal de cor bem escura., umidade 58%, pH 8,8. A quantidade de material em torno de 5.300 kg. 49 Foto 38 – Presença de muitos fungos mesofílicos que degradam a matéria orgânica na segunda fase mesofílica. Foto 39 – Adubo peneirado e parcialmente humificado. Dia 84 – Em 21 de junho tivemos a visita do presidente do Consimares ao pátio de compostagem, assim como do presidente da CODEN e do prefeito de Nova Odessa. Todos conferiram os bons resultados que obtivemos com as misturas de resíduos orgânicos municipais. Apresentamos também o adubo embalado em sacos plásticos. A leira estava com aproximadamente 5.000 kg, ou seja, a metade da quantidade inicial. 50 Nesse dia foi colhida a última amostra composta do adubo para envio à ESALQ e análise da relação C/N. Obtivemos o resultado de 12, sendo que partimos de 28, o que é muito satisfatório porque esse número é o principal indicador de que o processo de compostagem está finalizado, ANEXO 4. Fotos 40 a 43 – Projeto “Composta Nova Odessa”, com a presença do presidente do Cosimares, o prefeito de Elias Fausto Sr. Maurício Baroni, o prefeito Leitinho de Nova Odessa e Sr. Élsio Boccaletto, presidente da CODEN Ambiental. 51 Dia 91 – Em 28 de junho, leira com 4.900 kg, pH 8,9 e temperatura média de 45°C. Foto 44 – Adubo peneirado. Dia 100 – Em 07.07.2023 finalizamos o processo de degradação da matéria orgânica e a partir de agora o adubo será mantido por aproximadamente 10 dias para ser estabilizado (resfriar) antes de ser peneirado. A temperatura ainda estava em torno de 45°C, com muitos insetos no entorno da leira por conta do resfriamento e postura dos ovos, com cheiro característico de terra molhada, umidade 50% e quantidade de aproximadamente 4.600 kg (menos da metade da quantidade inicial), pH 9,0. Foto 45 e 46 – Leira com 100 dias de trabalho e 4.600 kg, adubo esterilizado. 52 Dia 111- Em 18 de julho retiramos 1/3 da leira, ou aproximadamente 3.000 kg de adubo compostado e humificado do pátio da Coden Ambiental para levar ao Aterro Sanitário de Rio Claro para o peneiramento e embalagem do material em sacos de 1 kg rotulados. O transporte do material foi realizado pelo caminhão e funcionários do município de Elias Fausto até o aterro em Rio Claro operado pela empresa Sustentare. Foto 47 – Motorista colocando a lona sobre a carga de aproximadamente 2.000 kg de adubo para o transporte à Rio Claro. Foto 48 – Aproximadamente 2.000 kg do adubo pronto que foram deixados no pátio da Coden ambiental para visita ao projeto piloto. 53 Foto 49 e 50 – Peneiramento do adubo. Foto 51 – Adubo peneirado pronto para ser embalado 54 Foto 52 – Embalagem do adubo em sacos de 1 kg com rótulo. Foto 53 –

Selando e rotulando as embalagens de 1 kg de adubo. 55 Fotos 54 a 56 – Adubo ensacado e rotulado, pronto para a distribuição à população. 9- CONCLUSÕES: Com este estudo, pudemos concluir que é absolutamente possível realizar a implantação de usinas de compostagem utilizando como matérias primas, os resíduos de poda municipais e resíduos de hortifrutí como as frutas, legumes e verduras gerados em supermercados e feiras livres. No entanto, se os resíduos forem mais bem triturados, podemos obter um processo de compostagem mais rápido. Da mesma forma, se fizermos a adição de aceleradores biológicos como por exemplo um percentual de estercó bovino ou adicionando parte de uma leira em processo de compostagem na fase termofílica, iremos obter uma velocidade maior nas reações metabólicas. Percebemos também que o trator é um implemento excelente para a montagem e deslocamento do material no pátio, no entanto há outros sistemas de revolvimentos mais eficientes no quesito de homogeneizar e triturar melhor a massa. Concluímos também que é imprescindível a pavimentação do pátio de compostagem, assim como a sua cobertura. Abaixo estão dois gráficos, sendo que a figura 8 demonstra a evolução da temperatura x tempo de compostagem, assim como na figura 9 estão as mudanças de pH ocorridas no decorrer do processo de degradação biológica. Ambas as curvas aconteceram conforme o esperado e exemplificam muito bem como deve ser um bom processo de compostagem. Figura 8 – Temperatura x duração do processo de compostagem. Percebemos no gráfico acima, que mantivermos o material pelo menos há 45 dias numa temperatura igual ou acima de 60°C, o que nos garante um produto esterilizado e livre de contaminantes, podendo ser manuseado sem riscos à saúde. 57 Figura 9 – Nesse gráfico percebemos que o pH, normalmente neutro no início do processo de compostagem, tem uma queda nos primeiros dias devido à presença de muitas cascas de alimentos e das frutas cítricas, no entanto, conforme acontece a volatilização da amônia, o pH vai se tornando cada vez mais alcalino, o que é um dos indicadores de que o processo de compostagem foi satisfatório. Figura 10 – Nesse gráfico percebemos que a mistura inicial de materiais tinha relação C/N 28, ou seja, 28 moléculas de carbono para 1 molécula de nitrogênio e com o passar do tempo, essa relação foi mudando por conta do consumo energético dos microrganismos que estavam crescendo e degradando o substrato. No final de 3 meses, obtivemos a relação c/N 12, um dos indicadores de que o processo chegou ao final. 58 10- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: VIAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. Tópicos em Ciência do Solo IV. Viçosa: SBCS, 2005. p.391-470. AQUINO, A. M. Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos. EMBRAPA. Circular Técnica. n. 12. 2005. ALMEIDA, D. L. Contribuição da adubação orgânica para a fertilidade do solo. 1991. 192 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1991. BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ–MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different

composting stages during their incubation with soil. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 69, p. 175-189, 1998a. BERTON, R.S 2021. Compostagem para fins agrícolas. IAC, Campinas, 116 p. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Compostagem Doméstica, Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos – Manual de Orientação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017a. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 481, de 3 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017b. BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2 ago. 2010a. BRITO, L.M., Amaro A. L., Mourão I. e Coutinho, J. Evolução das características físico-químicas e a dinâmica dos nutrientes durante a compostagem da fração sólida do chorume. *Rev. de Ciências Agrárias* vol.34 no.2 Lisboa jul. 2011. BUSATO, J. G. Química do húmus e fertilidade do solo após adição de adubos orgânicos. 2008. 135 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)–Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008. 59 CANELLAS, L. P. et al. Efeitos fisiológicos de substâncias húmicas – o estímulo às H⁺-ATPases. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 175-200. CARON, V.C. 2015. Condicionadores de solo: ácidos húmicos e fúlvicos. *Série Produtor Rural* no 58, ESALQ-USP, Piracicaba, 48 p. CORRÊA, M. S., LANGE, L. C. Gestão de Resíduos Sólidos no Setor de Refeição Coletiva. ISSN 1984-6983, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 29 – 54, jan. /mar., 2001. CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. *Sci. Agric.*, 62:274-280, 2005. COSTA, M. C. G. Eficiência agrônômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo. 2001. 79. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. DEMÉTRIO, R. Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa – C microbiana do solo e o crescimento e absorção de nitrogênio em milho (*Zea mays* L.). Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ. 1988. FONTANA et al. Húmus, substâncias húmicas e a ciência do solo. In: Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas – EBSH 7, Florianópolis, p. 2-2, 2007. INÁCIO, C. T.; Miller, P. R. 2009. Compostagem - Uma Solução para o Lixo Orgânico. Brasília: Embrapa. JIMÉNEZ, E. I. e GARCÍA, V. P. Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canárias CSIC, Avda. Francisco Sanchez 3, 38206 La Laguna, Tenerife, Canary Islands, Spain. Accepted 4 July 1991. Available online 24 June 2003. KIEHL, E.J. 1985. Fertilizantes orgânicos. Editora Agrônômica Ceres Ltda. Piracicaba. 492 p. KIEHL, J. C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: KIEHL, J.C. Curso de atualização em fertilidade do solo. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.139-157. KIEHL, E.J. 2004. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba. 173 p. KHIEL, E. J. Adubação Orgânica, 500

Perguntas e Respostas, 2a edição, Piracicaba 227 p, 2008. 60 KIEHL, E.J. 2010. Novo fertilizantes orgânicos. Revisto e atualizado, Piracicaba. 247 p., 2010. LAMPKIN, N. Organic Farming. Farming Press, UK, 1992. LOPES. S. Manual internacional de fertilidade do solo / Tradução e adaptação. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1998. p.177. MALAVOLTA, E. Manual de calagem e adubação das principais culturas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 496 p. MELLO, F.A.F. Fixação de nitrogênio por algumas leguminosas. Revista de Agricultura, Piracicaba, v.53, p, 59-63, 1978. MILLER, F.C. 1992. Composting as a process base on the control of ecologically selective factors. In: Meeting, F.B. Soil Microb. Ecol., 18: 515- 543. OLIVEIRA, F.C. Disposição de “resíduo orgânico” e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. 2000. 247f. (Tese de Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, PEIXOTO, R.T. dos.G. 1988. Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo. IAPAR. Londrina. 46p. PEREIRA NETO, J.T. (1989). Conceitos Modernos de Compostagem. Engenharia Sanitária, v.28, n.3, p. 104-09. PEREIRA NETO, J. T. Manual de Compostagem. Processo de Baixo Custo. Editora UFV. Viçosa. 2007. PICCOLO, A. Natural organic matter: a resource for environment and nanotechnologies. In: INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL, 1., 2007, Portici. Portici, Italy: Università di Napoli Federico II, Faculty of Agricultural Sciences, 2007. 14 p. PREMUSIC, Z. et al. Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. HortScience, v. 33, p. 255-257, Apr. 1998. PRIMAVESI, A. 1981. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. Nobel. São Paulo, 535 p. RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van., (ed.). Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p.17-31. RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p. 61 RIFFALDI, R., R. Levi-Minzi, A. Pera and M. de Bertoldi. 1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. Waste Manage. Res., 4: 96-387. TRINDADE, A. V.; AGUILAR - VILDOSO, C. I.; MUCHOVEJ, R. M. C.; COSTA, L. M. Interação de composto de lixo urbano e fungos micorrízicos na nutrição e crescimento do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. v.20, n.2, p.199- 208, 1996. ZUCCONI F & BERTOLDI M. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In Compost: production, quality and use, M de Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L'Hermite, F.Zucconi eds. Elsevier Applied Science, London, 30-50 p, 1987. Nova Odessa, agosto