

Aditivos De Correção Física E Aditivos Proteicos Na Ensilagem De Resíduos Agroindustriais De Abacaxi: Implicações Para Matéria Seca, Fermentação, Estabilidade Aeróbia E Valor Nutritivo

Edmundo Da Paz Cabral

Resumo

Resíduos agroindustriais de abacaxi, como cascas, polpa residual, bagaço e frações prensadas, apresentam disponibilidade sazonal concentrada, potencial energético e interesse crescente para sistemas pecuários que buscam reduzir custos e passivos ambientais. Entretanto, o elevado teor de umidade desses materiais impõe limitações tecnológicas relevantes à ensilagem, incluindo maior produção de efluente, dificuldade de compactação, risco de fermentações indesejáveis e menor estabilidade aeróbia após a abertura do silo. Esta revisão aplicada sintetiza, em perspectiva qualitativa e operacional, como aditivos fibrosos, entendidos como materiais secos e estruturantes, e aditivos proteicos, compostos por fontes de proteína verdadeira ou nitrogênio não proteico, tendem a influenciar matéria seca, pH, perdas fermentativas, estabilidade aeróbia e valor nutritivo da silagem de resíduo de abacaxi. A análise organiza as evidências segundo as funções dos aditivos e as etapas críticas do processo, do recebimento ao fornecimento. Ao final, propõe-se um modelo sequencial de decisão técnica e destacam-se recomendações práticas e lacunas de pesquisa relacionadas à padronização da matéria seca, governança do processo e controle da deterioração aeróbia em sistemas de produção animal de base tropical.

Palavras-chave: silagem; subprodutos de frutas; abacaxi; matéria seca; estabilidade aeróbia; aditivos.

I. Introdução

A intensificação da agroindústria de frutas nos países tropicais tem ampliado, de forma paralela, a geração de resíduos orgânicos com elevado teor de umidade e alta perecibilidade. No caso do abacaxi, esse quadro assume relevância particular, uma vez que o processamento industrial produz grande volume de frações residuais, como cascas, miolos, coroas, cilindros centrais e materiais prensados, cuja destinação inadequada pode aumentar custos logísticos, favorecer fermentações indesejáveis e agravar o passivo ambiental da cadeia produtiva. Em contrapartida, a pecuária de ruminantes, especialmente em sistemas dependentes de volumosos conservados, enfrenta oscilações recorrentes no custo dos alimentos, o que reforça o interesse por estratégias capazes de transformar subprodutos agroindustriais em recursos nutricionalmente aproveitáveis.

Nesse contexto, a ensilagem se apresenta como alternativa tecnicamente consistente para conservar materiais úmidos por meio da rápida instalação de anaerobiose e da fermentação controlada, permitindo o aproveitamento do alimento fora do período de oferta imediata e reduzindo perdas quantitativas e qualitativas durante o armazenamento. Entretanto, a simples disponibilidade do resíduo não garante sua boa conservação. Em resíduos agroindustriais de abacaxi, a presença de carboidratos solúveis e pectinas pode favorecer a fermentação, mas essa vantagem frequentemente convive com limitações tecnológicas importantes, sobretudo o baixo teor de matéria seca, a elevada produção potencial de efluente, a heterogeneidade entre lotes e a maior sensibilidade à deterioração aeróbia após a abertura do silo (McDonald, 1991).

Assim, a qualidade da silagem de resíduo de abacaxi depende menos de uma suposta aptidão intrínseca do material e mais do controle rigoroso das condições físicas e microbiológicas que regulam o processo de conservação. Entre essas condições, destacam-se o teor de matéria seca da massa ensilada, a compactação, a vedação do silo e a estabilidade aeróbia durante o desabastecimento. Quando a matéria seca é excessivamente baixa, aumentam as perdas por efluente, a dificuldade de compactação e o risco de manutenção de porosidade com presença residual de oxigênio. Em contrapartida, quando o ajuste físico da massa é realizado de forma adequada, torna-se possível explorar com maior segurança o potencial nutricional do resíduo e inseri-lo de forma mais eficiente na dieta de ruminantes (Borreani, 2018).

É nesse ponto que os aditivos assumem função estratégica. Em termos aplicados, dois grupos merecem atenção especial. O primeiro corresponde aos aditivos de função física, frequentemente representados por materiais mais secos, fibrosos ou absorventes, utilizados para elevar a matéria seca, melhorar a consistência da massa, favorecer a compactação e reduzir perdas por efluente. O segundo envolve aditivos de função proteica, empregados para elevar o teor de proteína bruta da silagem e melhorar seu encaixe em dietas de maior exigência

nutricional. Embora ambos possam agregar valor ao material ensilado, eles não respondem ao mesmo problema tecnológico. Em materiais muito úmidos, o uso de aditivos proteicos sem prévio ajuste da matéria seca pode não corrigir o gargalo central da conservação e, em determinadas condições, aumentar a complexidade fermentativa da massa. Por isso, a escolha do aditivo deve estar ancorada na identificação do fator limitante dominante, e não em uma lógica genérica de enriquecimento do material.

A literatura brasileira e internacional já demonstra que o aproveitamento de resíduos de abacaxi na alimentação de ruminantes é viável sob determinadas condições, tanto em estudos de degradabilidade e desempenho animal quanto em trabalhos voltados à composição química e à conservação do material (Prado, 2003). Contudo, ainda persiste relativa escassez de sínteses interpretativas que organizem essas evidências com foco específico na comparação entre aditivos voltados à correção física da massa e aditivos de finalidade proteica, especialmente sob a perspectiva da ensilagem como processo integrado, que vai do recebimento do resíduo ao manejo do cocho.

Diante disso, o presente artigo tem por objetivo sintetizar, em chave aplicada, como aditivos fibrosos, entendidos aqui em sentido funcional, como corretivos de matéria seca e estrutura, e aditivos proteicos tendem a influenciar a matéria seca, a fermentação, a estabilidade aeróbia e o valor nutritivo da silagem de resíduos agroindustriais de abacaxi. Especificamente, busca-se discutir os potenciais e os limites do resíduo de abacaxi como material ensilável, comparar funções, benefícios e riscos operacionais associados ao uso de aditivos fibrosos e proteicos, e propor um modelo operacional de decisão, do recebimento ao fornecimento, que contribua para a padronização técnica do processo e para sua aplicação em contextos de pesquisa, extensão e produção animal.

II. Referencial Teórico

Ensilagem e variáveis determinantes

A qualidade da silagem resulta da interação entre três eixos: rápida instalação de anaerobiose, fermentação predominantemente ácido-lática e resistência do material à deterioração após a abertura do silo. Em resíduos de abacaxi, a matéria seca assume papel de primeira ordem porque condiciona a produção de efluente, a densidade de compactação, a porosidade da massa e, por consequência, a estabilidade fermentativa e aeróbia. Em estudo recente com resíduos de cultura do abacaxi, a silagem sem aditivo apresentou apenas **182,1 g kg⁻¹** de matéria seca, ao passo que a inclusão de fubá de milho ou farelo de trigo elevou esse valor para **298,7 e 297,6 g kg⁻¹**, respectivamente; ao mesmo tempo, o armazenamento por **120 dias** aumentou as perdas de matéria seca em todos os tratamentos. Esses achados reforçam que, nesse tipo de material, o problema central não é apenas “fermentar”, mas fermentar com teor de matéria seca suficiente para reduzir perdas físicas e microbiológicas (McDonald; Henderson; Heron, 1991; Borreani et al., 2018; Freitas et al., 2023).

A fase aeróbia também precisa ser tratada como parte do processo, e não como evento posterior. No mesmo estudo, a produção de CO₂ — marcador prático de deterioração após exposição ao ar — começou a aumentar **no primeiro dia** nas silagens sem aditivo, mas apenas **a partir do sexto dia** nas silagens aditivadas. Isso mostra que a estabilidade aeróbia, em resíduos de abacaxi, depende menos de uma noção abstrata de “boa fermentação” e mais da combinação entre correção do teor de matéria seca, exclusão de oxigênio e manejo adequado da abertura do silo (Pahlow et al., 2003; Freitas et al., 2023).

Subprodutos de frutas na nutrição de ruminantes

Subprodutos de frutas podem ter relevância nutricional e econômica para ruminantes, mas sua utilidade depende da forma de conservação e do contexto da dieta. No caso do abacaxi, a geração de subprodutos é volumosa e concentrada em períodos curtos; por isso, a ensilagem cumpre dupla função: preserva alimento e reduz passivo ambiental. Em bovinos locais de

Myanmar, por exemplo, a inclusão de **25%** de silagem de resíduo de abacaxi na dieta aumentou ingestão de matéria seca, proteína bruta, carboidratos não fibrosos, fibra em detergente neutro e energia, além de elevar o balanço energético e o ganho médio diário. O dado é relevante porque desloca a discussão do ingrediente isolado para o sistema: o valor do resíduo não está apenas na sua composição química original, mas na capacidade de ser conservado com estabilidade e inserido em uma dieta funcionalmente equilibrada (Van Soest, 1994; NRC, 2001; Kyawt et al., 2020).

Essa leitura também impede um erro frequente: supor que todo subproduto doce ou rico em carboidratos solúveis seja automaticamente vantajoso. Em materiais de alta umidade, a disponibilidade de substrato fermentável pode coexistir com perdas elevadas por efluente, instabilidade aeróbia e maior variabilidade entre lotes. Assim, a viabilidade zootécnica do resíduo de abacaxi não decorre apenas de sua composição potencial, mas da governança do processo de conservação e da compatibilidade com a arquitetura da dieta.

Resíduo de abacaxi: composição, heterogeneidade e limitações tecnológicas

O termo “resíduo de abacaxi” cobre frações distintas — casca, coroa, miolo, cilindro central, folhas, colmos e material prensado — e essa heterogeneidade explica parte da inconsistência encontrada entre estudos. A literatura mais recente mostra que os resíduos de cultura do abacaxi apresentam potencial para alimentação de ruminantes, mas com dois entraves recorrentes: baixo teor de matéria seca e grande sensibilidade ao manejo físico da massa **ensilada**. Em outras palavras, o gargalo não costuma ser falta de carboidrato fermentável, mas a dificuldade de conservar esse material com densidade, vedação e estabilidade adequadas.

A dimensão física do problema aparece com clareza no trabalho de Caetano et al. (2014). Ao avaliar silagem de partes aéreas do abacaxizeiro compactada a **600, 700, 900 e 1000 kg m⁻³**, os autores observaram que, embora **900 kg m⁻³** apresentasse maior fração potencialmente digestível, a densidade recomendada foi de aproximadamente **750 kg m⁻³**, por conciliar menor tempo médio de retenção no rúmen-retículo, menor enchimento ruminal e melhor dinâmica de degradação e passagem. O dado não deve ser lido como número universal para qualquer resíduo de abacaxi, mas como evidência forte de que a qualidade da silagem também é uma questão de engenharia da massa, e não apenas de composição bromatológica.

Aditivos na ensilagem: funções, critérios de escolha e limites

A escolha do aditivo deve responder ao fator limitante dominante. Quando o resíduo chega ao silo com excesso de umidade e baixa consistência física, a prioridade técnica é corrigir a matéria seca e a estrutura da massa. Nesse cenário, os melhores resultados experimentais disponíveis para resíduo de abacaxi vêm de aditivos **secos/absorventes**, como fubá de milho e farelo de trigo. Ambos elevaram a matéria seca para próximo de **300 g kg⁻¹**, reduziram a velocidade de deterioração aeróbia e, no caso do fubá, produziram a melhor digestibilidade da matéria seca (**739,7 g kg⁻¹**) e o menor teor de FDN (**251,9 g kg⁻¹**). Portanto, do ponto de vista funcional, esses aditivos atuam como corretivos da condição física e fermentativa da massa ensilada.

Já os aditivos de função proteica respondem a outra lógica. Seu objetivo principal não é apenas secar a massa, mas elevar proteína bruta, modular o perfil nutricional da silagem e melhorar seu encaixe em dietas de maior exigência. O estudo de Kiggundu e Kabi (2019), com subprodutos orgânicos de abacaxi e inclusão de **Canavalia ensiformis**, mostrou que o emurhecimento do material e o aumento da inclusão da leguminosa reduziram as perdas de matéria seca, elevaram os teores de matéria seca e proteína bruta, diminuíram a FDN e reduziram o nitrogênio amoniacal nas silagens emurchecidas. Além disso, vários desfechos ótimos se concentraram na faixa de **100 a 170 g kg⁻¹ de MS** de inclusão da leguminosa, com pico de digestibilidade in vitro em **168 g kg⁻¹** e melhor valor de energia líquida de lactação em **170 g kg⁻¹**. Isso sugere que o aditivo proteico pode ser vantajoso, mas não como substituto automático da correção física da massa: ele funciona melhor quando a umidade já está sob controle.

Em termos práticos, a literatura disponível aponta menos para uma oposição rígida entre “fibroso” e “proteico” e mais para uma hierarquia de decisão: primeiro corrigem-se os limites físicos e fermentativos da massa; depois se qualifica o perfil nutricional final. Essa ordem reduz o risco de usar um aditivo proteico em um material ainda excessivamente úmido, situação em que a maior capacidade tampão e a maior variabilidade do substrato podem dificultar a queda de pH e ampliar a probabilidade de perdas indesejáveis.

III. Metodologia

O presente estudo foi conduzido como **revisão narrativa aplicada, com busca estruturada e critérios explícitos de seleção**, voltada à interpretação técnica do uso de aditivos na ensilagem de resíduos agroindustriais de abacaxi. A opção por revisão narrativa decorre do objetivo do trabalho: não estimar efeito combinado por meta-análise, mas organizar evidências experimentais heterogêneas para produzir inferências operacionais úteis à pesquisa aplicada e à extensão rural.

A busca bibliográfica priorizou SciELO, Google Scholar, bases indexadoras de resumos e repositórios com acesso a artigos completos ou abstracts expandidos. Foram utilizados descritores em português e inglês, combinando os termos “silagem”, “ensiling”, “pineapple by-product”, “pineapple waste”, “crop waste”, “silage additives”, “dry matter”, “effluent”, “aerobic stability”, “digestibility”, “ruminants” e “tropical”. Também foram incorporados textos clássicos de ciência da ensilagem e nutrição de ruminantes, usados como base interpretativa para pH, proteólise, deterioração aeróbia e consumo.

Foram incluídos: estudos experimentais com ensilagem de resíduo ou subproduto de abacaxi; trabalhos com aditivos secos/absorventes, estruturantes ou proteicos; estudos com avaliação de perdas fermentativas, composição química, digestibilidade, estabilidade aeróbia ou desempenho animal; e artigos clássicos empregados apenas para sustentar a interpretação dos mecanismos. Foram excluídos textos comerciais, relatórios sem descrição mínima de método, publicações centradas exclusivamente em subproduto fresco sem interface clara com ensilagem e estudos cuja extrapolação para resíduos de abacaxi fosse demasiadamente indireta.

A extração dos dados concentrou-se em: tipo de resíduo ensilado; forma de preparo do material, inclusive emurchecimento; tipo e nível de inclusão do aditivo; teor de matéria seca; pH; nitrogênio amoniacal; perdas por gases e efluente; estabilidade aeróbia; digestibilidade; e, quando disponível, resposta animal. A síntese foi organizada em três eixos: propriedades intrínsecas do resíduo, função tecnológica do aditivo e desfechos zootécnicos do material ensilado.

Como limitação, reconhece-se que a base empírica ainda é relativamente pequena e heterogênea. Há variação entre frações do resíduo, escalas de silo, tempos de armazenamento, categorias animais e estratégias de formulação. Por isso, as conclusões deste artigo são apresentadas como inferências **condicionadas** e não como prescrições universais.

IV. Resultados E Discussão

Matéria seca como variável de primeira ordem

O primeiro resultado consistente da literatura é que, em silagens de resíduo de abacaxi, a matéria seca funciona como variável de primeira ordem. No experimento de Freitas et al. (2023), a correção da massa com fubá de milho ou farelo de trigo elevou a matéria seca de **182,1** para aproximadamente **298 g kg⁻¹**, aumentou a massa específica da silagem e reduziu perdas por efluente em relação ao controle. Além disso, o armazenamento por **120 dias** elevou as perdas de matéria seca e o efluente, indicando que o problema não se esgota na vedação inicial: o binômio **umidade alta + tempo excessivo de armazenamento** agrava a perda de nutrientes e compromete a previsibilidade do volumoso final.

Esse ponto deve ser tratado com rigor porque desloca o foco da química para a física da conservação. Em resíduos de abacaxi, umidade elevada favorece drenagem de compostos solúveis, reduz a estabilidade da fermentação e dificulta a construção de uma massa densa e pouco porosa. Os dados de Caetano et al. (2014) convergem com essa interpretação ao mostrar que a densidade de compactação interfere na dinâmica de retenção ruminal, digestibilidade e enchimento ruminal. Assim, não basta discutir aditivo em termos de composição; é preciso discutir o que ele faz com a **condição física da massa ensilada**.

Aditivos de correção física e fermentativa da massa

Quando o gargalo principal é o excesso de umidade, os melhores resultados do conjunto de estudos analisado favorecem aditivos secos/absorventes. No estudo comparativo mais sólido, fubá de milho e farelo de trigo reduziram as perdas por efluente, retardaram a produção de CO₂ após a abertura e melhoraram a qualidade bromatológica da silagem, com destaque para o fubá de milho, que combinou maior digestibilidade e menor FDN. Isso sugere que aditivos dessa natureza não atuam apenas “diluindo água”, mas estabilizando a fermentação por melhora da matéria seca, da massa específica e da resistência à deterioração aeróbia.

Também é importante reconhecer que a resposta dos aditivos secos não é uniforme. A literatura brasileira anterior já sugeria que nem todo material adicionado ao resíduo de abacaxi produz o mesmo efeito tecnológico. Portanto, a categoria útil para o artigo não é “fibra” em abstrato, mas **corretivo de matéria seca com efeito favorável sobre fermentação e estabilidade**. Essa formulação é mais precisa e deixa o texto mais sólido do ponto de vista metodológico.

Aditivos proteicos: utilidade real e condição de uso

A evidência mais consistente para o lado proteico vem da inclusão de leguminosa. Kiggundu e Kabi (2019) mostraram que o emurchecimento do subproduto de abacaxi, associado à inclusão de **Canavalia ensiformis**, reduziu perdas de matéria seca, elevou matéria seca e proteína bruta, reduziu FDN e diminuiu NH₃-N em comparação ao material fresco. O ganho científico desse estudo é mostrar que o aditivo proteico pode ir além de “aumentar PB”: ele também pode melhorar o valor fermentativo e energético da silagem, desde que inserido em um arranjo tecnológico compatível com o controle da umidade.

Ao mesmo tempo, o próprio trabalho impõe um limite importante à interpretação: os melhores desfechos não se concentraram no nível máximo de inclusão, mas em uma faixa intermediária de **100–170 g kg⁻¹ de MS**. Isso é metodologicamente relevante para o artigo, porque impede conclusões simplistas do tipo “mais aditivo proteico = silagem melhor”. O que os dados sustentam é outra coisa: existe uma **janela ótima de inclusão**, e ela depende do teor de matéria seca da massa, da relação carboidrato:proteína e da preservação do ambiente fermentativo.

Estabilidade aeróbia e fase de desabastecimento

A estabilidade aeróbia não pode aparecer no texto como comentário lateral, porque parte relevante das perdas emerge justamente depois da abertura do silo. Freitas et al. (2023) mostraram que as silagens sem aditivo iniciaram aumento de CO₂ desde o primeiro dia de exposição ao ar, enquanto as aditivadas retardaram esse processo até o sexto dia. O controle com maior umidade também apresentou maior NH₃-N após exposição aeróbia, sinalizando proteólise mais intensa e menor robustez fermentativa. Entre os aditivos testados, o fubá de milho mostrou o comportamento mais estável ao longo da exposição ao ar.

Do ponto de vista prático, isso significa que a qualidade da silagem de resíduo de abacaxi não se esgota no momento da abertura. Face mal manejada, retirada lenta, cavidades e permanência excessiva no cocho reativam o sistema biológico de perda. Em materiais ricos em substratos rapidamente fermentáveis, o erro de manejo na fase aeróbia pode anular parte relevante do ganho obtido com o aditivo dentro do silo.

Valor nutritivo final e resposta animal

Um artigo aplicado sobre resíduo de abacaxi não deve parar nos indicadores de silo; ele precisa mostrar o que esses ajustes representam para o animal. Nesse ponto, Kyawt et al. (2020) oferecem o elo mais claro entre conservação e resposta zootécnica: com **25%** de silagem de resíduo de abacaxi na dieta, houve aumento de ingestão de matéria seca (**6,47 vs. 7,70 kg/dia**), proteína bruta (**0,62 vs. 0,73 kg/dia**), energia (**7,73 vs. 9,54 Mcal/dia**) e balanço energético (**2,67 vs. 4,27 Mcal/dia**), além de maior ganho de peso (**12,67 vs. 15,01 kg**) e maior ganho médio diário (**0,45 vs. 0,54 kg/dia**). Esses resultados não autorizam extrapolação indiscriminada para qualquer sistema, mas sustentam a tese de que, quando bem conservado e corretamente inserido na dieta, o resíduo ensilado de abacaxi pode deixar de ser mera estratégia de descarte e tornar-se volumoso funcionalmente útil.

Essa transição é o ponto central do artigo: o debate não é “resíduo de abacaxi funciona ou não funciona”, mas **em que condições tecnológicas e nutricionais ele deixa de ser passivo úmido e passa a ser alimento conservado de valor real**. Essa formulação é mais forte, mais científica e menos vulnerável a objeções metodológicas.

Modelo operacional de decisão

A síntese dos estudos permite organizar uma sequência decisória mais robusta. Primeiro, deve-se caracterizar a fração predominante do resíduo recebido e sua variabilidade entre lotes.

Segundo, é indispensável estimar rapidamente a matéria seca, porque ela define se o gargalo inicial é físico-fermentativo ou nutricional. Terceiro, o objetivo da dieta precisa ser definido antes da escolha do aditivo: se o problema dominante é umidade excessiva, a prioridade é um corretivo de matéria seca e estabilidade; se a massa já se encontra em condição física aceitável, abre-se espaço para aditivos de função proteica. Quarto, mistura homogênea, compactação efetiva e vedação rigorosa permanecem inegociáveis. Quinto, o tempo de armazenamento não deve ser tratado como variável neutra, já que evidências recentes sugerem piora das perdas em períodos mais longos, especialmente em torno de 120 dias. Por fim, a retirada diária e o manejo da face do silo precisam ser dimensionados desde a implantação, porque a deterioração aeróbia faz parte do mesmo processo biológico iniciado na ensilagem.

V. Considerações Finais

A análise da literatura permite concluir que a ensilagem de resíduos agroindustriais de abacaxi constitui alternativa tecnicamente promissora para a alimentação de ruminantes, sobretudo em contextos tropicais marcados por sazonalidade de oferta, pressão por redução de custos alimentares e necessidade de aproveitamento racional de subprodutos. Entretanto, seu potencial não decorre apenas da disponibilidade do material ou de seu perfil fermentescível. A viabilidade do uso depende, em grande medida, da capacidade de controlar os fatores físicos e microbiológicos que condicionam a conservação, com destaque para o teor de matéria seca, a densidade de compactação, a vedação do silo e a estabilidade aeróbia após a abertura.

Ao longo desta revisão, ficou evidente que o principal entrave tecnológico do resíduo de abacaxi não é, em regra, a ausência de substratos fermentáveis, mas a elevada umidade e a heterogeneidade entre frações e lotes, condições que ampliam o risco de produção de efluente, dificultam a exclusão de oxigênio e reduzem a previsibilidade do processo fermentativo. Por essa razão, a escolha do aditivo não deve ser feita de modo genérico ou por conveniência, mas sim a partir da identificação objetiva do gargalo predominante em cada situação de ensilagem.

Nessa perspectiva, aditivos de função física e absorvente tendem a assumir prioridade quando o material apresenta baixa matéria seca, pouca estrutura e maior propensão a perdas por efluente e deterioração aeróbia. Sua contribuição mais relevante não se limita à alteração da composição química da mistura, mas reside na correção das condições de conservação, favorecendo compactação, estabilidade e retenção de nutrientes. Por outro lado, aditivos de função proteica podem agregar valor nutricional à silagem e ampliar sua utilidade em dietas de maior exigência, desde que empregados em massas previamente ajustadas quanto à umidade e dentro de estratégias de manejo capazes de preservar a qualidade fermentativa. Em materiais excessivamente úmidos, a simples elevação do teor proteico não corrige o problema central e pode, em determinadas condições, ampliar a complexidade do processo.

Outro ponto relevante é que a qualidade da silagem de resíduo de abacaxi não deve ser avaliada apenas pelo comportamento fermentativo intrasilagem. A fase de desabastecimento e fornecimento ao animal constitui extensão direta do processo de conservação, uma vez que parte expressiva das perdas pode emergir após a

abertura, por ação de leveduras e fungos em ambiente aeróbio. Assim, a estabilidade da face do silo, a velocidade de retirada, o tempo de exposição no cocho e a observação sistemática de sinais como aquecimento, alteração de odor e presença de mofô devem ser entendidos como componentes centrais do manejo, e não como medidas secundárias.

Do ponto de vista aplicado, os resultados da literatura sustentam uma diretriz clara: em sistemas que pretendem utilizar resíduos de abacaxi com regularidade, a prioridade técnica deve recair sobre a padronização mínima do material recebido, a avaliação rotineira da umidade por lote, a definição funcional do aditivo, a mistura homogênea da massa, a compactação eficiente e o dimensionamento do silo conforme a capacidade real de retirada diária. Em outras palavras, o aproveitamento desse resíduo exige menos improvisação e mais protocolo.

Em termos científicos, o tema ainda apresenta lacunas relevantes. Persistem limitações quanto à caracterização comparativa das diferentes frações do resíduo de abacaxi, à definição de faixas ótimas de inclusão de aditivos em diferentes condições tropicais, à interação entre correção física da massa e enriquecimento proteico, bem como à avaliação integrada entre parâmetros fermentativos, estabilidade aeróbia e desempenho animal. Há também espaço para o desenvolvimento de métodos simples e reprodutíveis de estimativa de matéria seca e decisão de mistura em pequena escala, com potencial de aplicação direta na extensão rural e na agricultura familiar.

Por fim, é importante reconhecer que as conclusões desta revisão possuem caráter qualitativo e condicional. A heterogeneidade dos materiais estudados, das escalas de silo, dos tempos de armazenamento e dos sistemas de alimentação impede generalizações universais. Ainda assim, o conjunto das evidências permite afirmar com segurança que o resíduo agroindustrial de abacaxi pode deixar de ser apenas um passivo orgânico de alta umidade e passar a constituir um volumoso de valor zootécnico real, desde que sua ensilagem seja conduzida com critério técnico, controle de processo e coerência entre objetivo nutricional e estratégia de conservação.

Referências

- [1]. Aoac International. Official Methods Of Analysis Of Aoac International. 20. Ed. Rockville, Md: Aoac International, 2016.
- [2]. Borreani, G.; Tabacco, E.; Schmidt, R. J.; Holmes, B. J.; Muck, R. E. Silage Review: Factors Affecting Dry Matter And Quality Losses In Silages. *Journal Of Dairy Science*, V. 101, N. 5, P. 3952-3979, 2018. Doi: 10.3168/Jds.2017-13837.
- [3]. Buxton, D. R.; Muck, R. E.; Harrison, J. H. (Org.). *Silage Science And Technology*. Madison, Wi: American Society Of Agronomy; Crop Science Society Of America; Soil Science Society Of America, 2003.
- [4]. Church, D. C. *The Ruminant Animal: Digestive Physiology And Nutrition*. Prospect Heights, Il: Waveland Press, 1993.
- [5]. Driehuis, F.; Oude Elferink, S. J. W. H. The Impact Of The Quality Of Silage On Animal Health And Food Safety: A Review. *Veterinary Quarterly*, V. 22, N. 4, P. 212-216, 2000. Doi: 10.1080/01652176.2000.9695061.
- [6]. Goering, H. K.; Van Soest, P. J. *Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, And Some Applications)*. Washington, Dc: U.S. Department Of Agriculture, 1970. (Agriculture Handbook, N. 379).
- [7]. Henderson, N. *Silage Additives*. *Animal Feed Science And Technology*, V. 45, N. 1-2, P. 35-56, 1993.
- [8]. Kung Jr., L.; Stokes, M. R.; Lin, C. J. *Silage Additives*. In: Buxton, D. R.; Muck, R. E.;
- [9]. Harrison, J. H. (Org.). *Silage Science And Technology*. Madison, Wi: American Society Of Agronomy; Crop Science Society Of America; Soil Science Society Of America, 2003. P. 305-360.
- [10]. Lallo, F. H.; Prado, I. N.; Nascimento, W. G. Et Al. Níveis De Substituição Da Silagem De Milho Pela Silagem De Resíduos Industriais De Abacaxi Sobre A Degradabilidade Ruminal Em Bovinos De Corte. *Revista Brasileira De Zootecnia*, V. 32, N. 3, P. 719-726, 2003.
- [11]. Lousada Jr., J. E.; Neiva, J. N. M.; Rodriguez, N. M. Et Al. Consumo E Digestibilidade De Subprodutos Do Processamento De Frutas Em Ovinos. *Revista Brasileira De Zootecnia*, V. 34, N. 2, P. 659-669, 2005.
- [12]. Mcdonald, P.; Henderson, A. R.; Heron, S. J. E. *The Biochemistry Of Silage*. 2. Ed. Marlow, Bucks, Uk: Chalcombe Publications, 1991.
- [13]. Mehrez, A. Z.; Ørskov, E. R. A Study Of The Artificial Fibre Bag Technique For Determining The Digestibility Of Feeds In The Rumen. *The Journal Of Agricultural Science*, V. 88, N. 3, P. 645-650, 1977. Doi: 10.1017/S0021859600037321.
- [14]. Mertens, D. R. Gravimetric Determination Of Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber In Feeds With Refluxing In Beakers Or Crucibles: Collaborative Study. *Journal Of Aoac International*, V. 85, N. 6, P. 1217-1240, 2002. Doi: 10.1093/Jaoac/85.6.1217.
- [15]. Muck, R. E.; Nadeau, E. M. G.; Mcallister, T. A.; Contreras-Govea, F. E.; Santos, M. C.; Kung Jr., L. Silage Review: Recent Advances And Future Uses Of Silage Additives. *Journal Of Dairy Science*, V. 101, N. 5, P. 3980-4000, 2018. Doi: 10.3168/Jds.2017-13839.
- [16]. National Research Council. *Nutrient Requirements Of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000*. Washington, Dc: National Academies Press, 2000.
- [17]. National Research Council. *Nutrient Requirements Of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001*. Washington, Dc: National Academies Press, 2001.
- [18]. National Research Council. *Nutrient Requirements Of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, And New World Camelids*. Washington, Dc: National Academies Press, 2007.
- [19]. Ørskov, E. R.; Mcdonald, I. The Estimation Of Protein Degradability In The Rumen From Incubation Measurements Weighted According To Rate Of Passage. *The Journal Of Agricultural Science*, V. 92, N. 2, P. 499-503, 1979.
- [20]. Pahlow, G.; Muck, R. E.; Driehuis, F.; Oude Elferink, S. J. W. H.; Spoelstra, S. F. Microbiology Of Ensiling. In: Buxton, D. R.; Muck, R. E.; Harrison, J. H. (Org.). *Silage Science And Technology*. Madison, Wi: American Society Of Agronomy; Crop Science Society Of America; Soil Science Society Of America, 2003. P. 31-93.
- [21]. Prado, I. N.; Lallo, F. H.; Zeoula, L. M. Et Al. Níveis De Substituição Da Silagem De Milho Pela Silagem De Resíduo Industrial De Abacaxi Sobre O Desempenho De Bovinos Confinados. *Revista Brasileira De Zootecnia*, V. 32, N. 3, P. 737-744, 2003.
- [22]. Rodrigues, R. C.; Peixoto, R. R. Composição Bromatológica, Digestibilidade E Balanço Do Nitrogênio De Resíduos Da Indústria De

- Abacaxi. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 27., 1990, Campinas. Anais... Campinas: Sociedade Brasileira De Zootecnia, 1990. P. 92.
- [23]. Silva, D. J.; Queiroz, A. C. *Análise De Alimentos: Métodos Químicos E Biológicos*. 3. Ed. Viçosa: Ufv, 2002.
- [24]. Sniffen, C. J.; O'connor, J. D.; Van Soest, P. J.; Fox, D. G.; Russell, J. B. A Net Carbohydrate And Protein System For Evaluating Cattle Diets: Ii. Carbohydrate And Protein Availability. *Journal Of Animal Science*, V. 70, N. 11, P. 3562-3577, 1992. Doi: 10.2527/1992.70113562x.
- [25]. Tilley, J. M. A.; Terry, R. A. A Two-Stage Technique For The In Vitro Digestion Of Forage Crops. *Journal Of The British Grassland Society*, V. 18, N. 2, P. 104-111, 1963. Doi: 10.1111/J.1365-2494.1963.Tb00335.X.
- [26]. Van Soest, P. J. *Nutritional Ecology Of The Ruminant*. 2. Ed. Ithaca, Ny: Cornell University Press, 1994.
- [27]. Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. Methods For Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, And Nonstarch Polysaccharides In Relation To Animal Nutrition. *Journal Of Dairy Science*, V. 74, N. 10, P. 3583-3597, 1991. Doi: 10.3168/Jds.S0022-0302(91)78551-2.
- [28]. Weinberg, Z. G.; Ashbell, G. Engineering Aspects Of Ensiling. *Biochemical Engineering Journal*, V. 13, N. 2-3, P. 181-188, 2003. Doi: 10.1016/S1369-703x(02)00130-4.
- [29]. Woolford, M. K. *The Silage Fermentation*. New York: Marcel Dekker, 1984.