REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR NO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS PÓS-INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

VALUE STREAM MAPPING IN POST-INDUSTRIAL PLASTIC WASTE PROCESSING: A CASE STUDY IN THE MANAUS INDUSTRIAL POLE

Engenharias • 10/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794130654

Lucas Alfaia Rodrigues[1]

Eliakim Marques Serrão[2]

Raelen Paz Fonseca[3]

Evely Laranjeira Marrque[4]

Ligiane de Almeida Gaspar[5]

Emilly Felipe de Lima e Lima[6]

Elenilda Serrão Rodrigues[7]

Rute Holanda Lopes[8]

Joel Castro Nascimento[9]

RESUMO

A eficiência da reciclagem de resíduos plásticos pós-industriais depende da integração entre as operações que compõem o fluxo produtivo, uma vez que diferenças de capacidade, retornos e descontinuidades podem limitar o desempenho global do processo. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), o processo produtivo de reciclagem de resíduos plásticos pós-industriais em uma empresa localizada no Polo Industrial de Manaus, identificando pontos críticos e desequilíbrios de capacidade e propondo um estado futuro para o fluxo. A pesquisa caracteriza-se como aplicada e foi desenvolvida mediante estudo de caso, combinando descrição qualitativa do fluxo produtivo e análise quantitativa descritiva dos indicadores operacionais disponíveis. A base empírica compreendeu análise documental, entrevistas com gestores ambientais e responsáveis pela produção e observação direta das operações. O fluxo analisado abrangeu recebimento, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, extrusão, controle de qualidade, ensacamento e logística. Entre as operações expressas em unidades diretamente comparáveis, foram registradas capacidades de 300 kg/dia na lavagem, 700 kg/dia na moagem e até 1.600 kg/dia na aglutinação. A moagem apresentou capacidade aproximadamente 2,33 vezes superior à lavagem, enquanto a aglutinação atingiu aproximadamente 5,33 vezes esse valor, evidenciando desequilíbrio entre operações sucessivas. A lavagem apresentou a menor capacidade entre as etapas comparáveis, constituindo um potencial ponto de restrição do fluxo. Também foram identificadas ocorrências de retorno associadas à triagem e ao controle de qualidade após a extrusão. A partir do diagnóstico, estruturou-se um estado futuro contendo alterações propostas no recebimento e coleta, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, controle de qualidade e logística. Os valores

estabelecidos para esse cenário possuem caráter prospectivo e não representam resultados de intervenções já implementadas. Conclui-se que o MFV contribuiu para sistematizar o processo, evidenciar diferenças de capacidade e localizar pontos de retorno, fornecendo suporte à definição de prioridades e à proposição de melhorias para o fluxo produtivo.
Palavras-chave: Mapeamento do Fluxo de Valor; manufatura enxuta; reciclagem de plásticos; resíduos pós-industriais; eficiência operacional.

ABSTRACT

The efficiency of post-industrial plastic waste recycling depends on the integration among the operations that comprise the production flow, since capacity differences, material returns, and discontinuities can limit overall process performance. This study aimed to analyze, through Value Stream Mapping (VSM), the production process for recycling post-industrial plastic waste in a company located in the Manaus Industrial Pole, identifying critical points and capacity imbalances and proposing a future state for the flow. This applied research was conducted as a case study, combining a qualitative description of the production flow with a descriptive quantitative analysis of the available operational indicators. The empirical basis comprised document analysis, interviews with environmental managers and production personnel, and direct observation of operations. The analyzed flow included receiving, sorting, washing, grinding, agglomeration, extrusion, quality control, bagging, and logistics. Among operations expressed in directly comparable units, recorded capacities were 300 kg/day for washing, 700 kg/day for grinding, and up to 1,600 kg/day for agglomeration. Grinding capacity was approximately 2.33 times that of washing, while agglomeration capacity was approximately 5.33 times higher,

indicating an imbalance between successive operations. Washing presented the lowest capacity among the comparable stages, representing a potential flow constraint. Material returns associated with sorting and post-extrusion quality control were also identified. Based on the diagnosis, a future state was structured with proposed changes involving receiving and collection, sorting, washing, grinding, agglomeration, quality control, and logistics. The values established for this scenario are prospective and do not represent results from interventions that have already been implemented. It is concluded that VSM contributed to systematizing the process, revealing capacity differences and locating return points, thereby supporting the definition of priorities and the proposal of improvements to the production flow.
Keywords: Value Stream Mapping; Lean Manufacturing; plastic recycling; post-industrial waste; operational efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A crescente produção e utilização de materiais plásticos tem ampliado os desafios relacionados à gestão dos resíduos e à recuperação desses materiais após o uso. Segundo a Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2022), a produção mundial de plásticos alcançou aproximadamente 460 milhões de toneladas em 2019, enquanto a geração de resíduos plásticos atingiu cerca de 353 milhões de toneladas. No mesmo período, apenas 9% desses resíduos foram efetivamente reciclados. Esse cenário evidencia que a ampliação da reciclagem depende não somente da coleta e destinação adequada dos resíduos, mas também do desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas capazes de processá-los de maneira eficiente.

No ambiente industrial, essa questão assume características específicas. A recuperação de resíduos plásticos pós-industriais envolve operações sucessivas de recebimento, separação, preparação e transformação dos materiais, cujo desempenho depende da articulação entre diferentes recursos e capacidades produtivas. Nesse contexto, diferenças de capacidade entre operações consecutivas, retornos de materiais, retrabalho, estoques intermediários e interrupções podem comprometer a continuidade do fluxo, mesmo quando determinadas etapas apresentam elevada capacidade individual. Consequentemente, a avaliação do desempenho desses sistemas requer uma perspectiva integrada, capaz de compreender não apenas cada operação isoladamente, mas também as relações estabelecidas ao longo do processo.

A abordagem Lean Manufacturing oferece fundamentos para essa perspectiva ao direcionar a análise dos sistemas produtivos para a geração de valor, a continuidade do fluxo e a redução de atividades que utilizam recursos sem contribuir proporcionalmente para o resultado do processo. Entre as ferramentas associadas a essa abordagem, destaca-se o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), internacionalmente denominado Value Stream Mapping (VSM). Rother e Shook (1999) sistematizaram o VSM como instrumento capaz de representar conjuntamente os fluxos de materiais e informações, permitindo compreender o estado atual de um processo e subsidiar a construção de um estado futuro orientado à melhoria.

Embora originalmente associado à manufatura enxuta, o escopo do VSM foi progressivamente ampliado. Faulkner e Badurdeen (2014), por exemplo, desenvolveram o Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM), incorporando indicadores relacionados às dimensões

econômica, ambiental e social à análise do fluxo. Brown, Amundson e Badurdeen (2014) avançaram nessa perspectiva ao aplicar o Sus-VSM em diferentes configurações de sistemas de manufatura, demonstrando que as características do sistema produtivo influenciam a forma como os indicadores podem ser incorporados ao mapeamento.

A expansão da ferramenta também é observada na literatura mais recente, onde Lee *et al*. (2021), ao revisarem estudos relacionados às aplicações do VSM orientadas à sustentabilidade, identificaram diferentes extensões ambientais, sociais e integradas da ferramenta e apontaram a necessidade de ampliar sua aplicação em diferentes contextos produtivos. De forma complementar, Batwara *et al*. (2023), em revisão sistemática da literatura, identificaram uma crescente aproximação entre VSM, sustentabilidade, tecnologias digitais e economia circular, evidenciando a evolução da ferramenta para além da análise convencional dos fluxos produtivos.

Essa ampliação é particularmente relevante para sistemas relacionados à recuperação e ao processamento de resíduos. Schoeman, Oberholster e Somerset (2021) utilizaram o VSM como ferramenta de apoio à gestão para identificar e representar fluxos de resíduos industriais, demonstrando sua aplicabilidade à análise de materiais residuais ao longo dos processos produtivos. No campo específico da reciclagem de plásticos, Amran (2020) empregou o VSM na análise de um processo de reciclagem de resíduos plásticos, utilizando a representação do fluxo para identificar oportunidades de melhoria. Mais recentemente, Temiz e Yontar (2025) aplicaram princípios da manufatura enxuta e o VSM a processos de reciclagem de polietileno de baixa densidade, utilizando os estados atual e

futuro como instrumentos para identificar desperdícios e estruturar propostas de intervenção.

Paralelamente, estudos têm aproximado o VSM das discussões relacionadas à circularidade dos sistemas produtivos, nisso, Hedlund *et al.* (2020) discutiram a incorporação de princípios da economia circular ao mapeamento do fluxo de valor, enquanto Hernandez Marquina, Zwolinski e Mangione (2021) exploraram a aplicação do VSM como instrumento de melhoria de sistemas circulares. Kalemkerian *et al.* (2024), por sua vez, avaliaram processos produtivos mediante uma abordagem de Circular Value Stream Mapping em estudos de caso reais. Esses avanços demonstram o potencial de adaptação do VSM a sistemas nos quais materiais residuais retornam aos processos produtivos como recursos.

Entretanto, a existência de aplicações do VSM em sustentabilidade, resíduos e reciclagem não elimina a necessidade de investigações empíricas em diferentes configurações produtivas. As características das operações, capacidades instaladas, retornos de materiais, condições logísticas e disponibilidade de indicadores variam entre sistemas e podem produzir diferentes pontos críticos ao longo do fluxo. Assim, embora estudos anteriores demonstrem que o VSM pode representar processos, identificar desperdícios e subsidiar a construção de estados futuros (Amran, 2020; Schoeman; Oberholster; Somerset, 2021; Batwara *Et Al.*, 2023; Temiz; Yontar, 2025), permanece relevante ampliar as evidências empíricas sobre sua aplicação em sistemas de recuperação de resíduos pós-industriais caracterizados por operações sucessivas com diferentes capacidades de processamento e ocorrências de retorno de materiais.

Essa questão assume particular interesse em contextos industriais nos quais a recuperação dos resíduos está integrada às dinâmicas produtivas e logísticas locais, pois no Polo Industrial de Manaus, o caso investigado compreende uma empresa dedicada ao processamento de resíduos plásticos pós-industriais, cujo fluxo envolve recebimento, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, extrusão, controle de qualidade, ensacamento e logística. No levantamento que fundamenta esta pesquisa foram registradas diferenças entre as capacidades de operações sucessivas e ocorrências de retorno de materiais ao longo do processo. Essas características fornecem uma base empírica para examinar como o MFV pode contribuir para sistematizar o fluxo, evidenciar desequilíbrios operacionais e subsidiar a proposição de melhorias.

Diante desse contexto, formula-se a seguinte questão de pesquisa: como o Mapeamento do Fluxo de Valor pode contribuir para identificar pontos críticos e desequilíbrios de capacidade no processamento de resíduos plásticos pós-industriais e subsidiar a proposição de um estado futuro para o fluxo produtivo? A partir dessa questão, o presente estudo teve como objetivo analisar, por meio do Mapeamento do Fluxo de Valor, o processo produtivo de reciclagem de resíduos plásticos pós-industriais em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, identificando pontos críticos e desequilíbrios de capacidade e propondo um estado futuro para o fluxo.

A contribuição do estudo reside na aplicação do MFV a um processo de reciclagem de resíduos plásticos pós-industriais inserido em contexto industrial amazônico, articulando a configuração do fluxo, as capacidades operacionais registradas e as ocorrências de retorno na identificação de pontos críticos. Sob a perspectiva aplicada, o

estudo fornece elementos para orientar a priorização de melhorias no processo analisado. Sob a perspectiva acadêmica, acrescenta evidência empírica sobre a aplicação do MFV em um sistema de recuperação de resíduos pós-industriais, preservando a distinção entre os indicadores observados no estado atual e aqueles estabelecidos como projeções para o estado futuro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Lean Manufacturing e Mapeamento do Fluxo de Valor

A abordagem Lean fundamenta-se na busca pela geração de valor mediante redução de desperdícios e melhoria contínua do fluxo produtivo. Sob essa perspectiva, o desempenho de um sistema não deve ser avaliado exclusivamente pela produtividade individual de suas operações, mas pela forma como elas se relacionam ao longo do fluxo. Desbalanceamentos entre processos, esperas, movimentações, estoques intermediários, defeitos e retrabalhos podem reduzir o desempenho global mesmo quando determinadas operações apresentam elevada capacidade.

O MFV consolidou-se como instrumento de representação integrada dos fluxos de materiais e informações, permitindo relacionar a configuração do processo a indicadores operacionais e subsidiar a construção de estados futuros (Rother; Shook, 1999). A elaboração do mapa do estado atual permite compreender como o processo funciona em determinado momento, enquanto o estado futuro representa uma configuração proposta a partir dos problemas identificados.

A literatura posterior ampliou progressivamente o escopo dessa ferramenta. Faulkner e Badurdeen (2014) desenvolveram o

Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM), incorporando métricas econômicas, ambientais e sociais à análise do fluxo. Brown, Amundson e Badurdeen (2014) demonstraram a aplicação dessa abordagem em diferentes configurações de manufatura, evidenciando que a estrutura do sistema influencia a forma como indicadores adicionais podem ser integrados ao mapa.

Lee *et al.* (2021), ao revisar 57 estudos relacionados às aplicações do VSM orientadas à sustentabilidade, identificaram diferentes extensões da ferramenta, incluindo abordagens ambientais, sociais e integradas. Os autores também apontaram a concentração das aplicações no setor manufatureiro e a necessidade de ampliar investigações para outros contextos produtivos.

Batwara *et al.* (2023) reforçam essa trajetória ao identificar a crescente integração do VSM com sustentabilidade, tecnologias digitais e economia circular. Em conjunto, esses estudos demonstram que o VSM evoluiu de uma ferramenta predominantemente voltada à análise temporal e operacional para uma estrutura capaz de receber diferentes conjuntos de indicadores, desde que sustentados por dados compatíveis com a dimensão investigada.

Essa condição é particularmente importante em aplicações empíricas. A extensão das conclusões obtidas por meio do MFV depende da disponibilidade e da consistência dos indicadores incorporados ao mapa. A ausência de informações sobre estoques intermediários, disponibilidade de equipamentos ou frequência de retrabalho, por exemplo, restringe determinadas análises, mas não impede a utilização do mapa para representar o fluxo e comparar indicadores efetivamente disponíveis.

2.2. Mapeamento do Fluxo de Valor Aplicado à Sustentabilidade e à Reciclagem

A aplicação do VSM a sistemas de recuperação de resíduos amplia a perspectiva tradicional da ferramenta porque o material que deixa determinado sistema como resíduo pode constituir a entrada de outro processo produtivo. Nesses sistemas, a eficiência depende da articulação entre operações de recebimento, separação, preparação, transformação e controle.

Schoeman, Oberholster e Somerset (2021) utilizaram o VSM como ferramenta de apoio à gestão para identificar o fluxo de resíduos industriais. O estudo evidencia a possibilidade de empregar a representação do fluxo não somente para observar produtos convencionais, mas também para compreender a movimentação de resíduos e identificar oportunidades associadas à sua gestão.

No processamento de resíduos plásticos, essa abordagem apresenta aplicação particularmente relevante devido à sucessão de operações necessárias à transformação do material. Amran (2020) aplicou o VSM à reciclagem de resíduos plásticos, demonstrando sua utilização na representação do processo e na identificação de oportunidades de melhoria. Temiz e Yontar (2025), por sua vez, aplicaram técnicas Lean à reciclagem de polietileno de baixa densidade e utilizaram mapas dos estados atual e futuro para analisar o processo e estruturar intervenções.

A literatura também evidencia a aproximação entre VSM e circularidade. Hedlund *et al.* (2020) discutem a expansão do mapeamento do fluxo de valor mediante princípios da economia circular. Hernandez Marquina, Zwolinski e Mangione (2021)

propuseram a aplicação do VSM a sistemas circulares, enquanto Kalemkerian *et al.* (2024) desenvolveram uma abordagem de Circular Value Stream Mapping aplicada a casos reais.

Essas extensões, contudo, requerem indicadores específicos quando se pretende avaliar sustentabilidade ou circularidade. Faulkner e Badurdeen (2014) incorporam métricas ambientais e sociais ao Sus-VSM, enquanto Lee *et al.* (2021) destacam a necessidade de conjuntos de indicadores capazes de representar as dimensões analisadas.

Assim, a presença de uma operação de reciclagem não constitui, isoladamente, mensuração de sustentabilidade ou circularidade, em que no presente estudo, o MFV é empregado prioritariamente como instrumento de análise operacional. A recuperação de resíduos plásticos constitui o contexto produtivo investigado, enquanto o desempenho é examinado a partir da sequência das operações, capacidades registradas e ocorrências de retorno.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento, Unidade de Análise e Coleta de Dados

A pesquisa caracteriza-se como aplicada e foi desenvolvida mediante estudo de caso, combinando descrição qualitativa do fluxo produtivo e análise quantitativa descritiva dos indicadores operacionais disponíveis. O estudo de caso possibilita examinar um fenômeno em seu contexto e integrar diferentes fontes de evidência na construção da análise (Yin, 2018).

A unidade de análise correspondeu ao fluxo produtivo de processamento de resíduos plásticos pós-industriais de uma

empresa localizada no Polo Industrial de Manaus, Amazonas. O processo investigado compreendeu recebimento, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, extrusão, controle de qualidade, ensacamento e logística. A estrutura produtiva registrada incluía três extrusoras, cinco aglutinadores, um triturador de borras plásticas, uma peneira elétrica e duas empilhadeiras.

A base empírica foi constituída por análise documental, entrevistas com gestores ambientais e responsáveis pela produção e observação direta das operações. A utilização de documentos, entrevistas e observação como fontes convergentes de evidência é compatível com o desenho de estudo de caso proposto por Yin (2018). No levantamento disponível, as entrevistas e observações forneceram informações complementares à caracterização do processo, enquanto os indicadores quantitativos foram utilizados de acordo com os registros disponíveis.

3.2. Construção e Análise do Mapeamento do Fluxo de Valor

O estado atual foi reconstruído a partir da sequência das operações e dos indicadores registrados no levantamento. Foram considerados tempos operacionais, capacidades de processamento e ocorrências de retorno do material. Os registros disponíveis incluíram aproximadamente um dia para o recebimento, 30 min/bag para a triagem, 300 kg/dia para a lavagem, 700 kg/dia para a moagem, até 1.600 kg/dia para a aglutinação, 600 kg/h para a extrusão, aproximadamente três minutos para o ensacamento de sacos com massa entre 25 e 30 kg e aproximadamente 12 horas para a logística de expedição realizada em Manaus. Os registros de recebimento e logística foram utilizados na caracterização do fluxo, enquanto a

comparação direta das capacidades produtivas foi restrita às operações expressas em unidades equivalentes.

As capacidades foram comparadas somente quando expressas em unidades equivalentes, dessa forma, lavagem, moagem e aglutinação foram relacionadas por apresentarem capacidade em kg/dia. A extrusão, registrada em kg/h, permaneceu separada da comparação por não haver informação suficiente sobre o tempo efetivo de operação diária. As relações entre capacidades foram calculadas tomando-se a lavagem como referência.

As ocorrências de retorno foram examinadas segundo sua posição no fluxo, e a ausência de dados padronizados sobre frequência, volume e duração desses eventos impossibilitou o cálculo de taxas de retrabalho. Da mesma forma, indicadores que exigiriam informações adicionais, como lead time global, disponibilidade dos equipamentos e eficiência do ciclo, não integraram a análise.

O estado futuro foi construído a partir das alterações propostas no levantamento original, e para preservar a distinção entre diagnóstico e desempenho posterior, seus indicadores foram tratados como valores prospectivos, e não como resultados de uma intervenção já mensurada. Essa opção é coerente com a lógica do MFV, na qual o mapa futuro representa uma configuração proposta a partir da análise do estado atual (Rother; Shook, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estado Atual do Fluxo Produtivo

O mapeamento do estado atual permitiu sistematizar o fluxo de processamento dos resíduos plásticos pós-industriais desde o

recebimento dos materiais até sua expedição. O processo analisado compreende as etapas de recebimento, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, extrusão, controle de qualidade, ensacamento e logística, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Estado atual do fluxo de processamento de resíduos plásticos pós-industriais.



Fonte: dados da pesquisa.

O recebimento dos resíduos constitui a etapa inicial do fluxo e envolve a entrada e a organização dos materiais destinados ao processamento. No levantamento, essa operação apresentou registro temporal de aproximadamente um dia. Após o recebimento, os materiais são direcionados à triagem, responsável pela separação dos resíduos de acordo com suas características e condições para processamento. Para essa operação foi registrado tempo aproximado de 30 minutos por bag.

Na sequência, os materiais passam pela lavagem, cuja capacidade registrada foi de aproximadamente 300 kg/dia. Posteriormente ocorre a moagem, com capacidade de 700 kg/dia, seguida da aglutinação, que apresenta capacidade de até 1.600 kg/dia. A extrusão, etapa responsável pela transformação do material processado, possui capacidade registrada de 600 kg/h. Após a extrusão, o material é submetido ao controle de qualidade e, quando aprovado, segue para o ensacamento, cujo tempo registrado é de aproximadamente três minutos por saco com massa

entre 25 e 30 kg. Finalmente, o produto é encaminhado à logística de expedição, para a qual foi registrado tempo aproximado de 12 horas nas operações realizadas em Manaus.

A representação conjunta dessas etapas evidencia que o fluxo não apresenta capacidades uniformes entre as operações. Essa característica é relevante para a análise por MFV, uma vez que o desempenho global de um processo sequencial não depende exclusivamente da capacidade isolada de cada equipamento ou operação, mas também da relação existente entre as diferentes etapas do sistema. Rother e Shook (1999) destacam que o MFV permite deslocar a análise de operações isoladas para a compreensão integrada do fluxo de valor, tornando visíveis relações que podem permanecer pouco evidentes quando cada atividade é avaliada separadamente.

A utilização do MFV em processos de reciclagem também encontra respaldo em estudos anteriores. Amran (2020) empregou a ferramenta na análise de processos de reciclagem de resíduos plásticos, enquanto Temiz e Yontar (2025) utilizaram o VSM para representar e avaliar diferentes operações em um processo de reciclagem de polietileno de baixa densidade. Neste último estudo, o mapeamento permitiu relacionar diferentes indicadores operacionais e estruturar um estado futuro para o sistema analisado.

Na caracterização do fluxo produtivo, a Figura 2 reúne registros de aspectos relacionados ao acondicionamento e ao manuseio de resíduos plásticos, às amostras de materiais granulados e à movimentação interna de cargas. Eles evidenciam elementos materiais e operacionais da atividade analisada.

Figura 2. Registros fotográficos das atividades e dos materiais associados ao processamento de resíduos plásticos pós-industriais: (A) acondicionamento de resíduos plásticos; (B) manuseio de filmes plásticos; (C) amostras de materiais plásticos granulados; e (D) equipamento de movimentação interna de cargas.



Fonte: Registros fotográficos da pesquisa (2026).

4.2. Capacidades Operacionais e Pontos Críticos

Para examinar as diferenças existentes entre as etapas produtivas, foram comparadas as operações cujos registros estavam disponíveis em unidades diretamente comparáveis. A Tabela 1 apresenta as capacidades registradas para lavagem, moagem e aglutinação.

Tabela 1. Capacidades registradas nas operações diretamente comparáveis

Operação	Capacidade registrada

Lavagem	300 kg/dia
Moagem	700 kg/dia
Aglutinação	até 1.600 kg/dia

Fonte: dados da pesquisa.

A comparação evidencia diferenças expressivas entre as três operações. A capacidade registrada da moagem corresponde a aproximadamente 2,33 vezes a capacidade da lavagem, enquanto a capacidade máxima registrada da aglutinação corresponde a aproximadamente 5,33 vezes a capacidade da lavagem. Entre essas operações, portanto, a lavagem apresenta a menor capacidade nominal registrada.

Esses resultados indicam um desequilíbrio de capacidade entre operações sucessivas. Entretanto, a menor capacidade registrada não deve ser interpretada isoladamente como comprovação definitiva de gargalo. A identificação rigorosa de um gargalo operacional exigiria informações adicionais sobre demanda, disponibilidade dos equipamentos, regime efetivo de funcionamento, estoques intermediários, paradas, tempos de ciclo e utilização real da capacidade. Considerando que esses indicadores não foram registrados em sua totalidade durante a etapa de coleta de dados, a lavagem é interpretada neste estudo como um potencial ponto de restrição do fluxo.

Essa distinção é metodologicamente importante, pois o MFV pode contribuir para localizar pontos que demandam investigação ou intervenção prioritária, mas a intensidade da restrição depende das condições reais de operação. Em estudo recente sobre reciclagem

de LDPE, por exemplo, Temiz e Yontar (2025) combinaram tempos de ciclo, taxas de perdas, OEE e outros indicadores para identificar restrições no sistema produtivo. No presente estudo, a disponibilidade mais limitada de indicadores exigiu interpretação mais conservadora.

Ainda assim, a diferença observada entre as capacidades forneceu evidência suficiente para indicar a necessidade de atenção à integração entre as operações. Se uma etapa anterior possui capacidade inferior àquela disponível nas etapas subsequentes, o aproveitamento potencial dessas operações pode ser condicionado pelo volume de material efetivamente disponibilizado pelo processo precedente. Esse resultado converge com a lógica central do MFV, segundo a qual melhorias localizadas não necessariamente produzem melhoria equivalente no desempenho global quando permanecem descontinuidades ou desequilíbrios ao longo do fluxo.

4.3. Retornos no Fluxo e Retrabalho

Além das diferenças de capacidade, o levantamento revelou ocorrências de retorno de materiais em pontos específicos do processo. Um primeiro retorno está associado à triagem, quando a separação inadequada exige nova avaliação ou redirecionamento do material. Outro ocorre após a extrusão, quando o controle de qualidade identifica material que não atende às condições esperadas e demanda retorno ao processo.

Essas ocorrências são relevantes porque introduzem movimentos adicionais no fluxo e aumentam a quantidade de processamento necessária até a obtenção do produto nas condições requeridas. Sob a perspectiva Lean, retornos e reprocessamentos representam

oportunidades de análise por utilizarem recursos produtivos sem gerar, na mesma proporção, novo valor ao produto.

Entretanto, a coleta de dados inicial não contemplou o registro sistemático da frequência dos retornos, do volume de material reprocessado e do tempo adicional demandado por essas atividades. Essa limitação impossibilitou a quantificação da taxa de retrabalho, dos impactos sobre a capacidade produtiva, dos custos de reprocessamento e da contribuição dessas ocorrências para o lead time total. Dessa forma, a análise limitou-se à identificação qualitativa dos retornos e à sua localização no fluxo produtivo.

Essa limitação, contudo, não compromete a relevância dos resultados para o diagnóstico do processo produtivo. Ao evidenciar os pontos em que o material retorna a etapas anteriores, interrompendo a sequência regular das operações, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) contribui para a identificação de possíveis fontes de ineficiência e orienta investigações futuras sobre suas causas. Essa abordagem está alinhada às aplicações do VSM na gestão de resíduos, em que a visualização integrada dos fluxos possibilita identificar oportunidades de melhoria e subsidiar a tomada de decisões voltadas ao aprimoramento dos processos (Schoeman; Oberholster; Somerset, 2021).

No contexto analisado, a triagem assume importância adicional por se encontrar nas etapas iniciais, onde problemas de separação podem repercutir nas operações subsequentes, enquanto não conformidades identificadas após a extrusão representam retorno em estágio mais avançado do processamento. Assim, as duas ocorrências apresentam naturezas distintas, mas ambas

demonstram que o fluxo atual não deve ser interpretado exclusivamente como uma sequência linear de operações.

4.4. Estado Futuro Proposto

Com base no diagnóstico do estado atual, foi elaborada uma proposta de estado futuro para o fluxo produtivo. Diferentemente do mapa atual, fundamentado nos dados coletados e nas condições observadas durante o levantamento, o mapa futuro apresenta caráter prospectivo, contemplando melhorias propostas para o processo. Assim, os valores apresentados representam estimativas e metas de desempenho, não constituindo resultados efetivamente alcançados, considerando que as melhorias propostas ainda não foram aplicadas ao processo produtivo. A configuração proposta para o estado futuro é apresentada na Figura 2.

Figura 3. Estado futuro proposto para o fluxo de processamento de resíduos plásticos pós-industriais.



Fonte: dados da pesquisa.

O estado futuro concentra as alterações principalmente nas operações anteriores à extrusão e na logística. As propostas incluem redução do tempo associado ao recebimento e à coleta, reorganização da triagem, alterações operacionais na lavagem, moagem e aglutinação e redução do tempo logístico no atendimento realizado em Manaus. A Tabela 2 sintetiza a

comparação entre os registros do estado atual e os valores estabelecidos para o estado futuro.

Tabela 2. Comparação entre o estado atual e o estado futuro proposto

Operação	Estado atual	Estado futuro proposto
Recebimento e coleta	1 dia	12 h
Triagem	30 min/bag	20 min/bag
Lavagem	1 dia/300 kg	6 h/300 kg
Moagem	1 dia/700 kg	12 h/700 kg
Aglutinação	1 dia/1.600 kg	12 h/1.600 kg
Extrusão	600 kg/h	600 kg/h
Controle de qualidade	ocorrência de retorno	menor retrabalho
Logística em Manaus	aproximadamente 12 h	8 h

Fonte: dados da pesquisa.

A comparação demonstra que a proposta não pressupõe aumento da capacidade registrada da extrusão, mantida em 600 kg/h. As modificações concentram-se na reorganização das etapas anteriores e na redução dos tempos atribuídos a determinadas operações. Isso reforça a perspectiva sistêmica do MFV, na qual a construção do estado futuro não necessariamente exige ampliar a capacidade de todas as etapas, mas direcionar intervenções aos pontos considerados prioritários a partir do diagnóstico do fluxo.

Na triagem, a redução proposta de 30 para 20 minutos por bag busca melhorar a continuidade do processamento e reduzir a possibilidade de que problemas de separação repercutam nas etapas seguintes. Contudo, considerando que a proposta não foi implementada nem submetida à avaliação empírica neste estudo, seus possíveis efeitos sobre a redução dos retornos e o aumento da produtividade permanecem como resultados esperados, não sendo possível quantificá-los ou comprovar sua efetividade nesta etapa da pesquisa.

Para a lavagem, propõe-se processar 300 kg em seis horas, enquanto o registro utilizado no estado atual associa esse volume a um dia de operação. Considerando que a lavagem apresentou a menor capacidade entre as operações expressas em kg/dia, sua priorização no estado futuro é coerente com o diagnóstico realizado. Ainda assim, o valor futuro deve ser interpretado como uma meta operacional proposta, cuja viabilidade precisa ser posteriormente avaliada em condições reais de funcionamento.

Na moagem e na aglutinação também foram estabelecidas reduções nos tempos associados aos volumes registrados. Essas alterações procuram diminuir descontinuidades entre operações sucessivas e favorecer maior sincronização do fluxo. A extrusão, por sua vez, permanece com a capacidade registrada de 600 kg/h, pois os dados analisados não sustentaram a necessidade de estabelecer uma nova capacidade para essa etapa.

No controle de qualidade, o estado futuro prevê a redução do retrabalho como uma das melhorias esperadas. Entretanto, essa expectativa apresenta caráter qualitativo, uma vez que o levantamento inicial não contemplou indicadores específicos que

permitissem mensurar a ocorrência do retrabalho, limitando a avaliação quantitativa dos possíveis ganhos e a comparação do desempenho antes e após a implementação das melhorias propostas.

Para a etapa logística realizada em Manaus, o estado futuro prevê a redução do tempo operacional estimado de 12 para 8 horas. Entretanto, essa redução representa uma projeção de melhoria baseada na configuração proposta para o processo, não constituindo um resultado efetivamente alcançado, uma vez que as alterações ainda não foram implementadas e avaliadas empiricamente.

A elaboração de cenários de melhoria com base no diagnóstico do fluxo produtivo constitui um procedimento alinhado à abordagem do VSM. Rother e Shook (1999) destacam o mapeamento como instrumento para orientar a transformação dos processos, enquanto estudos posteriores expandiram sua aplicação para contextos relacionados à sustentabilidade e à reciclagem. Nessa perspectiva, Temiz e Yontar (2025), ao investigarem a reciclagem de LDPE, também utilizaram o mapeamento das condições existentes e propostas como ferramenta para identificar oportunidades de melhoria e orientar intervenções no processo produtivo.

De modo geral, os resultados evidenciam que a principal contribuição do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para o processo analisado consistiu na identificação da organização das operações, das diferenças de capacidade produtiva entre etapas comparáveis e dos pontos de retorno de materiais ao longo do fluxo. Com base nesse diagnóstico, foi possível elaborar uma proposta de melhoria direcionada aos aspectos prioritários identificados,

distinguindo as condições efetivamente observadas no processo das modificações propostas para seu aprimoramento.

5. CONCLUSÃO

Este estudo analisou o processamento de resíduos plásticos pós-industriais em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, utilizando o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para identificar pontos críticos, diferenças de capacidade produtiva e oportunidades de melhoria. A ferramenta possibilitou representar de forma integrada as operações de recebimento, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, extrusão, controle de qualidade, ensacamento e logística, permitindo compreender a organização e as relações entre as etapas do processo.

A análise das capacidades produtivas revelou diferenças significativas entre as operações diretamente comparáveis, com registros de 300 kg/dia na lavagem, 700 kg/dia na moagem e até 1.600 kg/dia na aglutinação. A moagem apresentou capacidade aproximadamente 2,33 vezes superior à lavagem, enquanto a aglutinação alcançou uma capacidade máxima equivalente a 5,33 vezes a dessa etapa. Assim, a lavagem foi identificada como uma possível restrição do fluxo, embora sua classificação definitiva como gargalo dependa de informações complementares sobre demanda, disponibilidade dos equipamentos, paradas, estoques intermediários e utilização efetiva da capacidade produtiva.

O mapeamento também evidenciou retornos de materiais associados à triagem e ao controle de qualidade após a extrusão, indicando pontos de repetição e redirecionamento no fluxo. Entretanto, a ausência de registros sistemáticos sobre frequência,

volume reprocessado e tempo adicional dessas ocorrências limitou a quantificação do retrabalho e de seus impactos sobre a produtividade.

Com base no diagnóstico, foi elaborado um cenário de melhoria envolvendo recebimento, triagem, lavagem, moagem, aglutinação, controle de qualidade e logística. Entre as modificações propostas, destacam-se a redução do tempo de triagem de 30 para 20 minutos por bag, o processamento de 300 kg na lavagem em seis horas e a diminuição do tempo logístico em Manaus de aproximadamente 12 para 8 horas, mantendo-se a capacidade registrada de extrusão em 600 kg/h. Esses valores constituem projeções, uma vez que as intervenções ainda não foram implementadas ou avaliadas empiricamente.

Os resultados demonstram que o MFV contribuiu para identificar diferenças de capacidade, localizar retornos de materiais e estabelecer prioridades de intervenção, subsidiando a elaboração de uma configuração produtiva alinhada aos problemas identificados. Dessa forma, sua principal contribuição consistiu em transformar registros operacionais em uma representação integrada do processo, oferecendo suporte à análise das limitações existentes e à proposição de melhorias no processamento de resíduos plásticos pós-industriais.

Como limitações, destacam-se a realização de um único estudo de caso e a utilização dos dados disponíveis no levantamento inicial, sem registros sistemáticos de lead time total, estoques intermediários, disponibilidade dos equipamentos, tempos de parada, indicadores de retrabalho, custos operacionais e desempenho ambiental. Recomenda-se que pesquisas futuras

implementem as melhorias propostas e realizem avaliações comparativas antes e após as intervenções, incorporando esses indicadores para verificar empiricamente seus efeitos sobre o desempenho produtivo e ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMRAN, Tiena Gustina. Management of plastic waste recycling by Value Stream Mapping. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 847, art. 012094, 2020. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/847/1/012094/pdf. Acesso em: 22 abr. 2026.

BATWARA, Amber; SHARMA, Vikram; MAKKAR, Mohit; GIALLANZA, Antonio. Towards smart sustainable development through value stream mapping: a systematic literature review. *Heliyon*, v. 9, n. 5, e15852, 2023. Disponível em: https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)03059-1?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023030591%3Fshowall%3Dtrue. Acesso em: 15 mai. 2026.

BROWN, Adam; AMUNDSON, Joseph; BADURDEEN, Fazleena. Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies. *Journal of Cleaner Production*, v. 85, p. 164–179, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614006040?via%3Dihub. Acesso em: 12 abr. 2026.

FAULKNER, William; BADURDEEN, Fazleena. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner*

Production, v. 85, p. 8–18, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614005113?via%3Dihub. Acesso em: 13 abr. 2026.

HEDLUND, Christer; STENMARK, Petter; NOAKSSON, Erik; LILJA, Johan. More value from fewer resources: how to expand value stream mapping with ideas from circular economy. *International Journal of Quality and Service Sciences*, v. 12, n. 4, p. 447–459, 2020. Disponível em: https://www.emerald.com/ijqss/article-abstract/12/4/447/146775/More-value-from-fewer-resources-how-to-expand?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 20 mai. 2026.

HERNANDEZ MARQUINA, Maria Victoria; ZWOLINSKI, Peggy; MANGIONE, Fabien. Application of Value Stream Mapping tool to improve circular systems. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 5, art. 100270, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821002305?via%3Dihub. Acesso em: 06 jun. 2026.

KALEMKERIAN, Florencia; POZZI, Rossella; TANCO, Martin; CREAZZA, Alessandro; SANTOS, Javier. Unlocking circular economy potential: evaluating production processes through circular value stream mapping in real case studies. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 35, n. 3, p. 610–633, 2024. Disponível em: https://www.emerald.com/meq/article-abstract/35/3/610/1219498/Unlocking-circular-economy-potential-evaluating?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 20 jun. 2026.

LEE, Jocelyn Ke Yin; GHOLAMI, Hamed; MAT SAMAN, Muhamad Zameri; NGADIMAN, Nor Hasrul Akhmal Bin; ZAKUAN, Norhayati; MAHMOOD, Salwa; OMAIN, Siti Zaleha. Sustainability-Oriented

Application of Value Stream Mapping: A Review and Classification. *IEEE Access*, v. 9, p. 68414–68434, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/351458386_Sustainability-Oriented_Application_of_Value_Stream_Mapping_A_Review_and_Classification. Acesso em: 25 jun. 2026.

OECD. *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. Paris: OECD Publishing, 2022. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/global-plastics-outlook_de747aef-en.html. Acesso em: 13 abr. 2026.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. *Learning to see: value-stream mapping to create value and eliminate muda*. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/244433983_Learning_to_See_Value_Stream_Mapping_to_Create_Value_and_Eliminate_Muda. Acesso em: 19 mai. 2026.

SCHOEMAN, Yolandi; OBERHOLSTER, Paul; SOMERSET, Vernon. Value Stream Mapping as a supporting management tool to identify the flow of industrial waste: a case study. *Sustainability*, v. 13, n. 1, art. 91, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/91. Acesso em: 29 jun. 2026.

TEMIZ, Emre Can; YONTAR, Emel. Application of Lean Manufacturing Techniques to Low Density Polyethylene Recycling Processes: A Value Stream Mapping Approach. *Verimlilik Dergisi*, v. 59, n. 3, p. 715–742, 2025. Disponível em: https://dergipark.org.tr/en/pub/verimlilik/article/1684673. Acesso em: 28 mai. 2026.

YIN, Robert K. *Case study research and applications: design and methods*. 6. ed. Los Angeles: SAGE Publications, 2018. Disponível em https://us2.sagepub.com/en-us/nam/case-study-research-and-applications/book250150. Acesso em: 26 abr. 2013.

---

[1] Engenheiro de Produção, Universidade Federal do amazonas (UFAM). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[3] Graduanda em Fisioterapia, Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[4] Mestranda em Ciências, Tecnologia e Saúde, Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[5] Mestra em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[6] Mestra em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[7] Pós-graduada em Psicopedagogia, Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[8] Doutora em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[9] Doutorando em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail