

Análise da confiabilidade e disponibilidade de sistemas aplicadores de adesivo hot-melt por meio dos indicadores MTBF e MTTR

Reliability and availability analysis of hot-melt adhesive application systems using MTBF and MTTR indicators

Lucas Gomes Vieira¹

Layse Oliveira Batista²

Izaque Francisco da Costa³

Resumo

A confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos industriais são fundamentais para a continuidade dos processos produtivos e para o direcionamento das estratégias de manutenção. Este estudo teve como objetivo analisar o desempenho de sistemas aplicadores de adesivo termofusível (hot-melt) Nordson ProBlue 4 por meio dos indicadores MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair) e disponibilidade. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, descritiva e exploratória, com abordagem quantitativa, desenvolvida por meio de estudo de caso em sete linhas produtivas de uma indústria. Foram analisados registros históricos referentes ao período de julho de 2025 a junho de 2026, totalizando 329 ocorrências e 7.702,83 minutos de parada. Os resultados apresentaram MTBF consolidado de 118,23 horas, tempo médio de parada por ocorrência, utilizado como estimativa de MTTR, de 23,41 minutos e disponibilidade consolidada de 99,67%. A linha L102 apresentou o menor MTBF, de 36,54 horas, e concentrou 151 ocorrências. A análise de Pareto demonstrou que as falhas relacionadas à obstrução e carbonização de bicos e filtros representaram 45,19% do tempo total de parada. Como ação de melhoria, foi implementado o desligamento automático dos aquecedores do sistema após 45 minutos consecutivos sem operação, visando reduzir a exposição térmica desnecessária do adesivo. Entretanto, os efeitos dessa medida ainda não foram quantificados.

Os resultados demonstram que a combinação de indicadores de confiabilidade com análise de Pareto permite priorizar as ações de manutenção de forma mais eficaz, contribuindo para a melhoria contínua dos processos produtivos.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Centro Universitário Fametro.

² Especialista, Universidade Estadual do Amazonas UEA.

³ Especialista, Centro Universitário do Norte (UniNorte).

Palavras-chave: Confiabilidade; Disponibilidade; MTBF; MTTR; Manutenção industrial; Engenharias.

Abstract

The reliability and availability of industrial equipment are essential for production continuity and the development of effective maintenance strategies. This study aimed to analyze the performance of Nordson ProBlue 4 hot-melt adhesive application systems using Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), and availability indicators. The research was classified as applied, descriptive, and exploratory, adopting a quantitative case study approach involving seven production lines at an industrial facility. Historical maintenance records covering July 2025 to June 2026 were analyzed, comprising 329 recorded events and 7,702.83 minutes of downtime. The results showed an overall MTBF of 118.23 hours, an average downtime per event of 23.41 minutes, used as an estimate of MTTR, and an overall availability of 99.67%. Production line L102 exhibited the lowest MTBF, at 36.54 hours, accounting for 151 recorded events. Pareto analysis revealed that nozzle and filter clogging and adhesive carbonization accounted for 45.19% of total downtime. As an improvement measure, an automatic heater shutdown function was implemented after 45 consecutive minutes of production line inactivity to reduce unnecessary thermal exposure of the adhesive. However, the effectiveness of this measure has not yet been quantitatively evaluated.

The results demonstrate that combining reliability indicators with Pareto analysis allows for more effective prioritization of maintenance actions, contributing to the continuous improvement of production processes.

Keywords: Reliability; Availability; MTBF; MTTR; Industrial maintenance; Engineering.

1 Introdução

A manutenção de equipamentos industriais desempenha papel fundamental na continuidade dos processos produtivos, uma vez que falhas e interrupções não programadas podem comprometer a produtividade, a qualidade dos produtos e a utilização dos recursos disponíveis. Em ambientes industriais automatizados, equipamentos responsáveis por etapas específicas do processo, como os sistemas de aplicação de adesivos, possuem importância estratégica, pois eventuais falhas podem ocasionar interrupções na produção e demandar intervenções corretivas.

A avaliação do desempenho desses equipamentos pode ser realizada por meio de indicadores de confiabilidade e manutenção, destacando-se o MTBF (Mean Time Between Failures), o MTTR (Mean Time To Repair) e a disponibilidade. O MTBF representa o intervalo médio de operação entre falhas, enquanto o MTTR está relacionado ao tempo médio necessário para restabelecer as condições de funcionamento de um equipamento. A análise conjunta desses indicadores possibilita compreender diferentes aspectos do comportamento operacional, contribuindo para a identificação de equipamentos críticos e para o direcionamento das estratégias de manutenção (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011; FISCHER; KEINE, 2023).

Nos sistemas aplicadores de adesivo termofusível (hot-melt), o funcionamento depende da integração de componentes responsáveis pelo aquecimento, fusão, bombeamento, transporte e aplicação controlada do material. O sistema Nordson ProBlue 4 possui dispositivos de aquecimento, controle e diagnóstico, além de componentes mecânicos e elétricos que necessitam de acompanhamento para garantir condições adequadas de

operação. Falhas nesses elementos podem comprometer a aplicação do adesivo e provocar interrupções no processo produtivo, exigindo intervenções de manutenção (NORDSON CORPORATION, 2007).

Entretanto, a avaliação isolada dos indicadores de manutenção pode não representar integralmente o desempenho dos equipamentos. Sistemas que apresentam elevados percentuais de disponibilidade podem registrar falhas frequentes, especialmente quando os tempos de parada associados às ocorrências são relativamente reduzidos. Além disso, registros históricos incompletos podem dificultar a identificação dos modos de falha e a determinação dos componentes responsáveis pelas maiores perdas operacionais. Dessa forma, torna-se relevante associar os indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade à análise da frequência e a duração das ocorrências, possibilitando uma avaliação mais abrangente do desempenho dos ativos industriais.

Nesse contexto, a utilização de ferramentas de priorização, como o diagrama de Pareto, permite identificar os grupos de ocorrências responsáveis pelas maiores parcelas do tempo de parada. A associação dessa ferramenta aos indicadores de manutenção possibilita direcionar esforços para equipamentos e modos de falha de maior impacto, contribuindo para o planejamento de ações preventivas e para a utilização mais eficiente dos recursos disponíveis.

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo analisar a confiabilidade e a disponibilidade de sete sistemas aplicadores de adesivo hot-melt Nordson ProBlue 4, instalados em diferentes linhas produtivas, por meio dos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade. A pesquisa utiliza registros históricos de manutenção referentes ao período de julho de 2025 a junho de 2026, associando a análise dos indicadores à classificação dos modos de falha e à aplicação do diagrama de Pareto. Busca-se identificar diferenças de desempenho entre equipamentos do mesmo modelo, determinar as categorias responsáveis pelos maiores tempos de parada e apresentar ações de melhoria direcionadas aos problemas identificados no estudo.

2 Revisão da literatura

2.1 Confiabilidade, MTBF e MTTR

A confiabilidade corresponde à probabilidade de um equipamento desempenhar satisfatoriamente sua função durante determinado intervalo de tempo, sob condições previamente estabelecidas de operação (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). No contexto da manutenção industrial, sua avaliação permite compreender o comportamento dos ativos diante da ocorrência de falhas, contribuindo para a identificação de equipamentos críticos e para o direcionamento de estratégias voltadas à continuidade dos processos produtivos.

Entre os indicadores utilizados na avaliação do desempenho de equipamentos reparáveis, destaca-se o MTBF (Mean Time Between Failures), que representa o tempo médio de operação entre falhas. Sua determinação pode ser realizada pela divisão do tempo total de funcionamento pelo número de falhas registradas durante um período definido. Conforme apresentado pelo NIST/SEMATECH (2012, seção 8.4.5.1), essa relação é utilizada em modelos de confiabilidade associados à ocorrência de falhas com taxa constante.

Entretanto, em estudos baseados em registros históricos de manutenção, o MTBF também pode ser empregado como indicador descritivo, permitindo comparar o comportamento dos equipamentos sem necessariamente pressupor uma taxa de falhas constante.

O MTTR (Mean Time To Repair) representa o tempo médio necessário para realizar o reparo e restabelecer as condições de funcionamento de um equipamento após uma falha. Seu cálculo considera a relação entre o tempo total dedicado aos reparos e o número de intervenções realizadas. Esse indicador contribui para a avaliação da manutenção dos equipamentos e para a identificação de oportunidades de redução dos tempos de recuperação.

Entretanto, é importante distinguir o tempo efetivo de reparo do tempo total de parada registrado nos sistemas de manutenção. Quando os dados disponíveis contemplam apenas a duração total das interrupções, o valor calculado pode incluir períodos associados à identificação da falha, à espera por recursos, à execução da intervenção e ao restabelecimento da operação. Nessa condição, o resultado deve ser interpretado como uma estimativa do tempo médio de parada por ocorrência, e não necessariamente como o tempo efetivo de reparo.

A análise conjunta desses indicadores permite avaliar aspectos complementares do desempenho operacional. Valores mais elevados de MTBF indicam maiores intervalos médios entre falhas, enquanto menores tempos médios de recuperação representam menor duração das interrupções. Dessa forma, a utilização combinada dos indicadores fornece subsídios para o planejamento das atividades de manutenção, a identificação de oportunidades de melhoria e a avaliação do comportamento dos equipamentos industriais (FISCHER; KEINE, 2023).

2.2 Disponibilidade e gestão da manutenção

A disponibilidade representa a capacidade de um equipamento permanecer apto a desempenhar sua função durante determinado período, considerando as condições estabelecidas de operação. Em sistemas reparáveis, esse indicador pode ser estimado por meio da relação entre o MTBF (Mean Time Between Failures) e o MTTR (Mean Time To Repair), desde que ambos sejam expressos na mesma unidade de tempo. Essa relação permite avaliar conjuntamente os períodos de funcionamento e de recuperação dos equipamentos, constituindo uma ferramenta relevante para o acompanhamento do desempenho operacional (UNITED STATES, 2006).

A gestão da manutenção industrial envolve a aplicação de estratégias destinadas à preservação das condições de funcionamento dos ativos e à redução dos impactos provocados pelas falhas. Nesse contexto, destacam-se a manutenção corretiva, realizada após o reconhecimento de uma falha, e a manutenção preventiva, direcionada à redução da probabilidade de ocorrência de falhas ou da degradação do funcionamento. Essas modalidades são abordadas na norma EN 13306:2010, que estabelece terminologias relacionadas às atividades de manutenção (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2010).

Complementarmente, a manutenção baseada na condição utiliza informações sobre o estado dos equipamentos para orientar a necessidade de intervenções. A norma ISO 17359:2018 apresenta diretrizes gerais para programas de monitoramento e diagnóstico de máquinas, fornecendo fundamentos para o acompanhamento de parâmetros operacionais e para a identificação de condições que possam indicar deterioração ou desenvolvimento de falhas (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018).

A definição das estratégias de manutenção deve considerar as características operacionais dos equipamentos, seus modos de falha e as consequências decorrentes das interrupções. Segundo Moubray (1997), a manutenção centrada em confiabilidade considera as funções dos ativos e os efeitos das falhas como elementos relevantes para orientar a seleção das atividades de manutenção. Dessa forma, a análise dos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade, associada à identificação dos modos de falha, pode contribuir para o estabelecimento de prioridades e para a utilização mais eficiente dos recursos de manutenção.

A gestão de ativos também fornece fundamentos para o planejamento e o acompanhamento do desempenho dos equipamentos ao longo de seu ciclo de vida. A ISO 55000:2024 apresenta princípios relacionados à gestão de ativos e à geração de valor para as organizações, considerando seus objetivos e processos de tomada de decisão. Nesse contexto, a utilização sistemática de indicadores de manutenção contribui para identificar oportunidades de melhoria e orientar decisões relacionadas à confiabilidade e à disponibilidade dos equipamentos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2024a).

Outro aspecto relevante é a qualidade das informações utilizadas para avaliação dos indicadores. A ISO 14224:2016 apresenta diretrizes para coleta, organização e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção, contemplando informações referentes aos equipamentos, às falhas e às intervenções realizadas. Embora essa norma seja direcionada aos setores de petróleo, petroquímica e gás natural, seus princípios de estruturação de dados podem servir como referência para a organização de registros históricos em outros ambientes industriais. A padronização dessas informações favorece a rastreabilidade das ocorrências e a realização de análises mais consistentes sobre o desempenho dos ativos.

2.3 Sistemas de colagem e priorização de falhas

Os sistemas aplicadores de adesivo termofusível (hot-melt) são utilizados em processos industriais que exigem aquecimento, transporte e aplicação controlada de adesivos. Seu funcionamento baseia-se na fusão do material adesivo e em sua distribuição até os pontos de aplicação, permitindo a deposição controlada da cola durante o processo produtivo. A continuidade dessa operação depende da integração entre os componentes responsáveis pelo aquecimento, bombeamento, transporte e aplicação do material.

O sistema Nordson ProBlue 4 é constituído por componentes como tanque de fusão, bomba de adesivo, mangueiras aquecidas, pistolas aplicadoras e dispositivos de controle de temperatura. Durante seu

funcionamento, o adesivo é aquecido até atingir condições adequadas de aplicação e posteriormente transportado até os módulos aplicadores. O equipamento também dispõe de recursos de controle e diagnóstico destinados ao acompanhamento de suas condições operacionais (NORDSON CORPORATION, 2007).

A manutenção das condições adequadas de temperatura e circulação do adesivo é relevante para o desempenho do sistema de colagem. Problemas relacionados à obstrução de bicos e filtros, presença de resíduos de adesivo, falhas no aquecimento, vazamentos e anomalias nos componentes aplicadores podem comprometer o fornecimento e a deposição do material. Essas ocorrências podem exigir intervenções corretivas e provocar interrupções no processo produtivo. Nesse contexto, o acompanhamento dos componentes e a realização de atividades de manutenção contribuem para a preservação das condições de funcionamento do equipamento.

A identificação dos modos de falha constitui uma etapa importante para compreender o comportamento dos sistemas industriais e direcionar ações de melhoria. Entretanto, a análise baseada exclusivamente na quantidade de ocorrências pode não representar adequadamente seu impacto operacional, uma vez que diferentes falhas podem apresentar durações distintas. Dessa forma, torna-se relevante considerar tanto a frequência dos eventos quanto o tempo acumulado de parada associado a cada categoria.

Entre as ferramentas utilizadas para a análise e priorização de problemas, destaca-se o diagrama de Pareto, que permite organizar categorias de ocorrências em ordem decrescente de frequência ou magnitude. Conforme apresentado por Montgomery (2020), essa ferramenta auxilia na identificação dos grupos que apresentam maior contribuição para o resultado analisado. Na manutenção industrial, sua aplicação aos tempos acumulados de parada permite identificar os modos de falha responsáveis pelas maiores perdas e direcionar os esforços de melhoria aos problemas de maior impacto operacional.

A associação da análise de Pareto aos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade possibilita uma avaliação mais abrangente do desempenho dos sistemas de colagem. Enquanto os indicadores permitem mensurar a frequência das falhas, a duração média das interrupções e a disponibilidade dos equipamentos, o diagrama de Pareto contribui para identificar as categorias responsáveis pelas maiores perdas. Dessa forma, a utilização conjunta dessas ferramentas fornece subsídios para a definição de prioridades de manutenção e para o desenvolvimento de ações direcionadas à melhoria do desempenho dos equipamentos.

3 Metodologia

3.1 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza descritiva e exploratória, com abordagem predominantemente quantitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso em ambiente industrial. O estudo teve como finalidade analisar a confiabilidade e a disponibilidade de sistemas aplicadores

de adesivo termofusível (hot-melt), utilizando indicadores de manutenção determinados a partir de registros históricos de ocorrências e tempos de parada.

Foram avaliados sete sistemas aplicadores de cola Nordson ProBlue 4, instalados nas linhas produtivas L102, L108, L116, L119, L120, L125 e L130. A utilização de equipamentos do mesmo modelo possibilitou a comparação dos indicadores entre diferentes linhas produtivas, considerando as particularidades de utilização e os registros históricos de manutenção disponíveis.

O período de análise compreendeu julho de 2025 a junho de 2026, correspondente a doze meses de acompanhamento. Durante esse intervalo, foram considerados os registros relacionados aos sistemas de colagem, permitindo avaliar a frequência das ocorrências, os tempos de parada e o comportamento dos equipamentos quanto aos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade.

3.2 Coleta e tratamento dos dados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir de relatórios históricos extraídos do sistema SAP, utilizado pela empresa para o registro e acompanhamento das ocorrências de manutenção. A base de dados contemplou informações referentes à linha produtiva, data da ocorrência, descrição da anomalia e tempo de parada associado ao evento, expresso em minutos.

Após a extração, os registros foram organizados e tratados em planilhas eletrônicas, utilizando-se o Microsoft Excel para a consolidação das informações. Foram consideradas 329 ocorrências relacionadas aos sistemas de colagem, correspondentes a um tempo acumulado de 7.702,83 minutos de parada durante o período analisado.

Os registros foram agrupados por linha produtiva e classificados de acordo com as descrições disponíveis. Ocorrências relacionadas a sintomas, componentes ou intervenções semelhantes foram reunidas em categorias comuns, permitindo identificar os principais modos de falha e sua contribuição para o tempo total de parada.

Durante o tratamento dos dados, foram identificados registros sem descrição suficiente para classificação do modo de falha. Essas ocorrências foram mantidas nos cálculos dos indicadores, desde que apresentassem as demais informações necessárias, sendo classificadas separadamente como registros sem descrição. Esse procedimento permitiu preservar os tempos de parada efetivamente registrados, sem atribuir causas que não pudessem ser identificadas na base disponível.

Para a determinação dos indicadores de manutenção, também foram utilizados os tempos disponíveis das linhas produtivas, obtidos a partir do sistema de acompanhamento dos indicadores de produção da empresa. O tempo de operação considerado para cada equipamento foi determinado pela diferença entre o tempo disponível e o tempo de parada associado às ocorrências do sistema de colagem.

Considerando que não foram registradas falhas nos meses de julho e agosto de 2025, esses meses foram mantidos no período de exposição dos equipamentos, contribuindo para o cálculo dos indicadores de confiabilidade referentes ao ano fiscal completo.

3.3 Determinação dos indicadores de manutenção

A avaliação do desempenho dos sistemas aplicadores de cola foi realizada por meio dos indicadores MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair) e disponibilidade. Os cálculos consideraram os tempos disponíveis das linhas produtivas, a quantidade de ocorrências registradas e os respectivos tempos de parada, conforme os procedimentos descritos a seguir.

O indicador MTBF foi determinado pela divisão do tempo de operação de cada equipamento pelo número de ocorrências registradas durante o período analisado, conforme a Equação 1.

Equação 1 – Cálculo do MTBF

$$MTBF = \frac{T_{op}}{N}$$

Em que:

MTBF = tempo médio entre falhas, em horas;

T_{op} = tempo de operação considerado, em horas;

N = número de ocorrências registradas.

O tempo de operação foi obtido pela diferença entre o tempo disponível registrado no sistema de acompanhamento produtivo e o tempo de parada associado às ocorrências do sistema de colagem. Dessa forma, o cálculo considerou as particularidades de utilização de cada linha, evitando a adoção de um período uniforme de funcionamento para todos os equipamentos.

O indicador MTTR foi calculado pela divisão do tempo total de parada registrado pelo número de ocorrências analisadas, conforme a Equação 2.

Equação 2 – Cálculo do MTTR

$$MTTR = \frac{T_p}{N}$$

Em que:

MTTR = tempo médio de parada associado às ocorrências, em minutos;

T_p = tempo total de parada registrado, em minutos;

N = número de ocorrências registradas.

Cabe destacar que os tempos disponíveis na base histórica correspondem à duração total das paradas associadas às ocorrências, não sendo possível distinguir integralmente o tempo efetivo de reparo de outras etapas, como diagnóstico, espera por recursos e restabelecimento da operação. Portanto, o indicador calculado foi utilizado como uma estimativa operacional do MTTR, sendo interpretado como o tempo médio de parada por ocorrência.

A disponibilidade foi determinada a partir da relação entre MTBF e MTTR, conforme a Equação 3. Para aplicação dessa expressão, os valores foram convertidos para a mesma unidade de tempo, utilizando-se horas.

Equação 3 – Cálculo da disponibilidade

$$A(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Em que:

A = disponibilidade estimada, em percentual;

MTBF = tempo médio entre falhas, em horas;

MTTR = tempo médio associado às ocorrências, convertido para horas.

Para as linhas que não apresentaram ocorrências durante o período analisado, não foram atribuídos valores numéricos de MTBF ou MTTR, uma vez que o número de falhas registrado foi igual a zero. Nesses casos, a disponibilidade observada foi considerada de 100%, exclusivamente em relação às perdas associadas ao sistema de colagem presentes na base analisada.

Os indicadores consolidados foram calculados considerando a soma dos tempos de operação e de parada dos sete sistemas e a quantidade total de ocorrências registradas. Dessa forma, os valores consolidados não correspondem à média aritmética simples dos indicadores individuais, mas à relação entre os tempos acumulados e a quantidade total de eventos considerados na pesquisa.

3.4 Análise dos modos de falha

A análise dos modos de falha foi realizada com o objetivo de identificar as principais categorias de ocorrências responsáveis pelas perdas operacionais dos sistemas aplicadores de adesivo hot-melt. Para isso, os

registros históricos de manutenção foram classificados de acordo com as descrições disponíveis na base de dados, considerando as características das anomalias, os componentes envolvidos e as intervenções registradas.

As ocorrências que apresentavam descrições semelhantes foram agrupadas em categorias comuns, permitindo consolidar diferentes registros associados a um mesmo tipo de problema. Entre as categorias consideradas destacam-se obstrução e carbonização de bicos e filtros, aquecimento e temperatura, falhas na aplicação de cola, problemas mecânicos e pneumáticos, vazamentos de adesivo, falhas em módulos aplicadores e anomalias relacionadas a sensores e sistemas de controle elétrico.

Para avaliar a contribuição de cada categoria sobre as perdas operacionais, foi considerado o tempo acumulado de parada, expresso em minutos. A participação percentual de cada grupo foi determinada pela relação entre o tempo total de parada associado à categoria e o tempo total de parada registrado no período analisado, conforme apresentado na Equação 4.

Equação 4 – Participação percentual no tempo de parada

$$P_i(\%) = \frac{T_i}{T_{total}} \times 100$$

Em que:

Pi = participação percentual da categoria de falha analisada, em porcentagem (%);

Ti = tempo acumulado de parada da categoria de falha analisada, em minutos (min);

Ttotal = tempo total de parada registrado para todas as categorias no período analisado, em minutos (min).

Após a determinação dos percentuais, as categorias foram organizadas em ordem decrescente de tempo acumulado de parada para elaboração do diagrama de Pareto. A representação gráfica foi utilizada para identificar os grupos responsáveis pelas maiores parcelas das perdas e estabelecer prioridades para as ações de melhoria.

Além da participação individual de cada categoria, foi considerado o percentual acumulado do tempo de parada, permitindo avaliar a concentração das perdas nos principais grupos de ocorrências. Essa abordagem possibilitou identificar os modos de falha de maior impacto operacional, independentemente de sua frequência isolada.

Os registros que não apresentavam descrição suficiente para identificação do modo de falha foram mantidos na análise quantitativa e classificados separadamente como ocorrências sem descrição registrada. Esse procedimento permitiu preservar a contribuição desses eventos para o tempo total de parada, evitando a atribuição de causas não comprovadas pelos dados disponíveis.

Por fim, os resultados da classificação foram analisados conjuntamente com os indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade, buscando identificar os equipamentos e os modos de falha prioritários. A

interpretação considerou as limitações dos registros históricos, especialmente a ausência de descrições completas e a impossibilidade de determinar a causa-raiz de todas as ocorrências exclusivamente a partir das informações disponíveis.

4 Resultados e Discussão

4.1 Análise dos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade

A análise dos registros históricos de manutenção dos sete sistemas aplicadores de adesivo hot-melt Nordson ProBlue 4 permitiu identificar 329 ocorrências durante o período de julho de 2025 a junho de 2026, totalizando 7.702,83 minutos de parada, equivalentes a aproximadamente 128,38 horas. O tempo disponível acumulado dos equipamentos foi de 39.027,03 horas, resultando em aproximadamente 38.898,65 horas de operação após o desconto das paradas relacionadas aos sistemas de colagem.

A partir dessas informações, foram determinados os indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade para cada linha produtiva, conforme os procedimentos apresentados na metodologia. Os resultados foram calculados individualmente por equipamento e de forma consolidada, permitindo comparar a frequência das ocorrências, os tempos médios de parada e a proporção de tempo disponível para operação. A Tabela 1 apresenta os indicadores obtidos para os sistemas analisados.

Tabela 1 – Indicadores de manutenção dos sistemas aplicadores de cola

Linha	Ocorrências	Parada (min)	MTBF (h)	MTTR (min)	Disponibilidade (%)
L102	151	4.515,64	36,54	29,90	98,65
L108	56	598,41	80,44	10,69	99,78
L116	0	0,00	—	—	100,00*
L119	33	1.061,22	196,72	32,16	99,73
L120	33	756,56	201,77	22,93	99,81
L125	56	771,00	116,30	13,77	99,80
L130	0	0,00	—	—	100,00*
Consolidado	329	7.702,83	118,23	23,41	99,67

Fonte: Elaborada pelos autores (2026), com base nos registros históricos de manutenção.

* Disponibilidade observada de 100% considerando exclusivamente as ocorrências relacionadas ao sistema de colagem presentes na base analisada.

Os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam diferenças relevantes no comportamento dos equipamentos, apesar de todos utilizarem o mesmo modelo de sistema aplicador. O MTBF consolidado foi de 118,23 horas, enquanto o MTTR consolidado correspondeu a 23,41 minutos por ocorrência. A disponibilidade consolidada foi de aproximadamente 99,67%, indicando que as perdas relacionadas aos sistemas de colagem representaram cerca de 0,33% do tempo disponível considerado.

Entre os equipamentos que apresentaram falhas, a linha L102 registrou o menor MTBF, de 36,54 horas, e a menor disponibilidade, de 98,65%, além de concentrar a maior quantidade de ocorrências. Em contrapartida, a linha L120 apresentou o maior MTBF, de 201,77 horas, e disponibilidade de 99,81%, evidenciando maior intervalo médio entre falhas durante o período estudado.

Em relação ao MTTR, a linha L119 apresentou o maior tempo médio de parada por ocorrência, com 32,16 minutos, enquanto a linha L108 registrou o menor valor, de 10,69 minutos. Esses resultados demonstram que a frequência das falhas e a duração média das interrupções não apresentam necessariamente o mesmo comportamento entre os equipamentos.

As linhas L116 e L130 não apresentaram ocorrências relacionadas aos sistemas de colagem na base histórica utilizada. Dessa forma, não foram atribuídos valores numéricos de MTBF e MTTR, sendo considerada disponibilidade observada de 100%, exclusivamente em relação às perdas dos sistemas de colagem registradas durante o período analisado.

Cabe destacar que o MTTR foi determinado a partir dos tempos totais de parada registrados no sistema de manutenção, não representando necessariamente apenas o tempo efetivo de reparo. Portanto, sua interpretação está associada à duração média das ocorrências analisadas, conforme a delimitação metodológica estabelecida neste estudo.

4.2 Comparação do desempenho entre as linhas produtivas

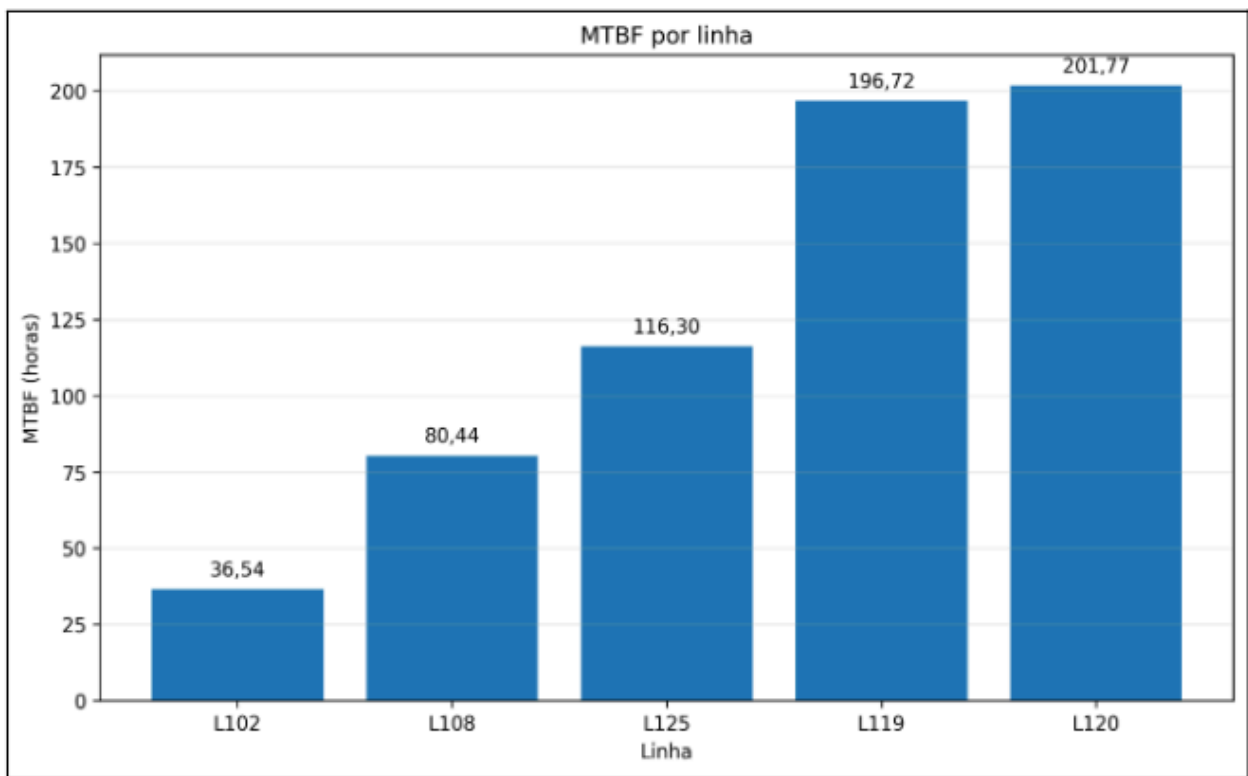
A comparação individual dos indicadores de manutenção demonstrou diferenças significativas no comportamento dos sistemas aplicadores de cola, apesar de todos os equipamentos analisados pertencerem ao mesmo modelo Nordson ProBlue 4. Essas diferenças foram observadas principalmente na frequência das ocorrências, nos tempos médios de parada e nos percentuais de disponibilidade registrados durante o período estudado.

A linha L102 apresentou o comportamento mais crítico em relação à frequência de falhas, registrando 151 ocorrências, correspondentes a aproximadamente 45,90% do total analisado. O MTBF dessa linha foi de 36,54 horas, representando o menor intervalo médio entre ocorrências entre os equipamentos avaliados. Além disso, a L102 acumulou 4.515,64 minutos de parada, equivalentes a aproximadamente 58,62% do tempo total perdido pelos sistemas de colagem.

Em contrapartida, a linha L120 apresentou o maior MTBF entre os equipamentos com registros de falha, alcançando 201,77 horas, com 33 ocorrências. O intervalo médio entre falhas da L120 foi aproximadamente 5,5 vezes superior ao observado na L102, evidenciando uma diferença expressiva de desempenho entre equipamentos do mesmo modelo. Entretanto, os registros disponíveis não permitem determinar isoladamente quais condições operacionais ou práticas de manutenção foram responsáveis por essa diferença.

A Figura 1 apresenta a comparação dos valores de MTBF entre as cinco linhas que registraram ocorrências durante o período analisado.

Figura 1 – MTBF dos sistemas aplicadores de cola por linha



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Conforme apresentado na Figura 1, as linhas L119 e L120 apresentaram os maiores intervalos médios entre falhas, com 196,72 e 201,77 horas, respectivamente. A linha L125 apresentou MTBF de 116,30 horas, seguida pela L108, com 80,44 horas. A L102, por sua vez, apresentou o menor valor, evidenciando maior frequência de ocorrências em relação às demais linhas analisadas.

A análise do MTTR também revelou comportamentos distintos. A linha L119 apresentou o maior tempo médio de parada por ocorrência, com 32,16 minutos, enquanto a L108 apresentou o menor valor, de 10,69 minutos. A L102 registrou MTTR de 29,90 minutos, constituindo o segundo maior valor entre as linhas com ocorrências. Esses resultados demonstram que equipamentos com maiores intervalos entre falhas não apresentam necessariamente menores tempos médios de recuperação.

Em relação à disponibilidade, os sistemas apresentaram percentuais superiores a 98% durante o período estudado. Entretanto, a L102 registrou o menor valor, de 98,65%, enquanto a L120 apresentou disponibilidade de 99,81%. Apesar de a diferença entre essas linhas ser de aproximadamente 1,16 ponto percentual, o MTBF da L120 foi cerca de 5,5 vezes superior ao da L102. Esse comportamento evidencia que a disponibilidade percentual, quando analisada isoladamente, pode não representar integralmente a frequência das interrupções enfrentadas pelos equipamentos.

As linhas L116 e L130 não apresentaram ocorrências relacionadas aos sistemas de colagem na base histórica utilizada. Por esse motivo, não foram atribuídos valores numéricos de MTBF e MTTR, sendo considerada disponibilidade observada de 100%, exclusivamente em relação às perdas dos sistemas de colagem registradas durante o período analisado.

Dessa forma, a comparação entre as linhas demonstra a importância do acompanhamento individual dos indicadores de manutenção. A identificação dos equipamentos com maior frequência de ocorrências e

maiores tempos médios de parada permite estabelecer prioridades para investigação e direcionamento das ações de melhoria, contribuindo para uma gestão de manutenção fundamentada em dados históricos.

4.3 Análise dos modos de falha e diagrama de Pareto

A análise dos modos de falha foi realizada com o objetivo de identificar as principais categorias de ocorrências responsáveis pelas perdas operacionais dos sistemas aplicadores de adesivo hot-melt Nordson ProBlue 4. Para isso, os registros históricos foram classificados de acordo com as descrições disponíveis no sistema de manutenção, considerando os componentes envolvidos, os sintomas apresentados e as características das intervenções realizadas.

A classificação permitiu agrupar ocorrências semelhantes e determinar a participação de cada categoria no tempo total de parada. Foram consideradas 329 ocorrências, correspondentes a 7.702,83 minutos de indisponibilidade durante o período analisado. A Tabela 2 apresenta a distribuição dos registros, os tempos acumulados de parada e a participação percentual de cada grupo.

Tabela 2 – Distribuição das ocorrências por categoria de falha

Categoria	Ocorrências	Parada (min)	Participação (%)
Obstrução/carbonização de bicos e filtros	90	3.481,00	45,19
Aquecimento/temperatura	18	868,00	11,27
Outras ocorrências descritas	10	643,00	8,35
Sem descrição registrada	125	616,83	8,01
Falha na aplicação de cola	33	561,00	7,28
Mecânica/pneumática/alimentação	6	459,00	5,96
Vazamento de adesivo	6	388,00	5,04
Módulo aplicador	6	313,00	4,06
Sensores/controle elétrico	9	219,00	2,84
Ajuste/limpeza do processo de colagem	26	154,00	2,00
Total	329	7.702,83	100,00

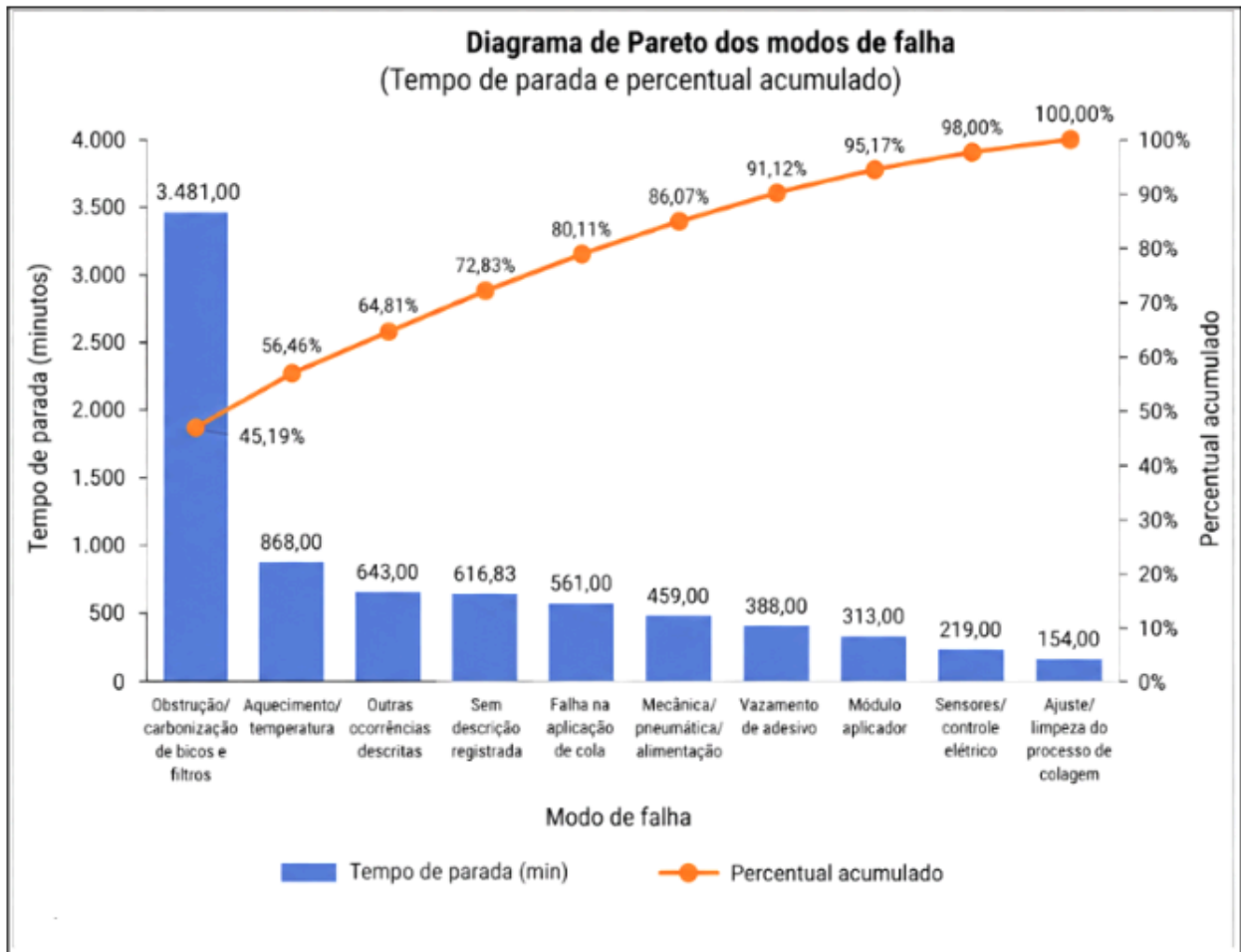
Fonte: Elaborada pelos autores (2026), com base nos registros históricos de manutenção.

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que as ocorrências relacionadas à obstrução e carbonização de bicos e filtros constituíram o principal grupo de perdas identificado no período estudado. Essa categoria concentrou 90 ocorrências e 3.481 minutos de parada, correspondendo a aproximadamente 45,19% do tempo total de indisponibilidade. O resultado evidencia a relevância dos problemas associados ao fluxo do adesivo e às condições dos componentes responsáveis por sua filtragem e aplicação.

O segundo grupo de maior impacto foi composto pelas ocorrências relacionadas ao aquecimento e à temperatura, responsáveis por 868 minutos de parada, equivalentes a 11,27% do total. Consideradas conjuntamente, essas duas categorias concentraram aproximadamente 56,46% do tempo acumulado de parada. Essa distribuição demonstra a importância de direcionar as análises e ações de manutenção aos componentes e às condições operacionais associadas aos principais grupos de perdas.

A análise de Pareto foi utilizada para organizar as categorias em ordem decrescente de tempo acumulado de parada, permitindo visualizar a contribuição individual e acumulada dos diferentes modos de falha. A Figura 2 apresenta essa distribuição, destacando as categorias responsáveis pelas maiores parcelas de indisponibilidade.

Figura 2 – Diagrama de Pareto dos modos de falha



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Conforme apresentado na Figura 2, a categoria de obstrução e carbonização de bicos e filtros apresenta participação significativamente superior às demais, representando isoladamente 45,19% das perdas. Quando considerada juntamente com as ocorrências relacionadas ao aquecimento e à temperatura, o percentual acumulado atinge aproximadamente 56,46%, evidenciando a concentração de parte expressiva das perdas em dois grupos de problemas.

A distribuição observada reforça a importância da priorização das ações de manutenção com base no impacto operacional das ocorrências, e não exclusivamente em sua frequência. Embora determinadas categorias apresentem menor quantidade de registros, seus tempos acumulados de parada podem representar parcelas relevantes da indisponibilidade. Dessa forma, a utilização do diagrama de Pareto contribui para identificar os problemas que demandam maior atenção e orientar a alocação dos recursos de manutenção.

Outro resultado relevante foi a identificação de 125 ocorrências sem descrição suficiente para classificação do modo de falha. Esses registros corresponderam a aproximadamente 37,99% da quantidade total de eventos, porém representaram apenas 8,01% do tempo acumulado de parada. A ausência de informações detalhadas impossibilitou a identificação dos respectivos modos de falha, constituindo uma limitação para análises mais aprofundadas das causas das ocorrências.

A elevada participação dos registros sem descrição evidencia a importância da padronização das informações de manutenção, especialmente quanto à identificação do componente afetado, à descrição da anomalia e à ação executada. A melhoria da qualidade dos registros poderá contribuir para análises futuras mais detalhadas e para o direcionamento das intervenções aos problemas efetivamente identificados.

Dessa forma, os resultados obtidos por meio da classificação das ocorrências e da análise de Pareto forneceram subsídios para a definição das prioridades de manutenção. A concentração das perdas em problemas relacionados à obstrução e carbonização de bicos e filtros justifica o direcionamento de ações preventivas a essa categoria, buscando reduzir a frequência das falhas e os tempos de parada associados aos sistemas de colagem.

4.4 Ações de melhoria e implicações para a manutenção

Os resultados obtidos por meio da análise dos indicadores de manutenção e da classificação dos modos de falha demonstraram a necessidade de priorizar ações direcionadas às ocorrências relacionadas à obstrução e carbonização de bicos e filtros, uma vez que essa categoria representou 45,19% do tempo total de parada dos sistemas aplicadores de cola. A concentração das perdas nesse grupo evidencia a relevância de estratégias voltadas à prevenção de obstruções e ao acompanhamento das condições operacionais dos componentes responsáveis pelo transporte e pela aplicação do adesivo.

Entre as ações recomendadas, destaca-se a revisão da periodicidade de inspeção e limpeza de bicos e filtros, associada à padronização das verificações preventivas e ao acompanhamento das condições de funcionamento dos sistemas de colagem. Essas medidas podem contribuir para identificar sinais de obstrução e degradação dos componentes antes que resultem em interrupções do processo produtivo. A priorização dessas atividades está relacionada aos princípios de planejamento e prevenção de falhas discutidos por Xenos (2014), que destaca a importância da organização das intervenções para a melhoria do desempenho dos equipamentos.

Como contribuição prática, destaca-se uma ação de melhoria efetivamente implementada na fábrica, que consistiu na configuração do desligamento automático dos aquecedores do sistema de colagem após 45 minutos consecutivos sem operação da linha. O equipamento Nordson ProBlue dispõe de recursos de reserva automática e desligamento temporizado dos aquecedores, associados aos parâmetros operacionais 24 e 25, respectivamente (NORDSON CORPORATION, 2007, p. B-7–B-8). O intervalo de 45 minutos corresponde à estratégia adotada pela fábrica, não constituindo uma recomendação específica do fabricante.

A medida foi implementada com o objetivo de reduzir o período em que o adesivo permanece submetido ao aquecimento sem demanda produtiva, buscando minimizar condições que possam favorecer sua degradação térmica e a formação de resíduos no sistema. Esses resíduos podem contribuir para ocorrências de obstrução em componentes como filtros e bicos aplicadores. Dessa forma, a melhoria apresenta relação com o principal grupo de perdas identificado na análise de Pareto, embora os registros históricos utilizados não permitam estabelecer que a exposição térmica prolongada tenha sido a causa direta de todas as ocorrências classificadas nessa categoria.

Além da melhoria implementada, recomenda-se realizar uma investigação específica das ocorrências registradas na linha L102, considerando que esse equipamento apresentou 151 eventos e o menor MTBF entre as linhas analisadas, de 36,54 horas. A comparação com equipamentos de melhor desempenho, particularmente a linha L120, poderá contribuir para identificar diferenças nas condições de utilização, nos parâmetros operacionais e nas rotinas de manutenção, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de ações direcionadas à redução das falhas recorrentes.

A investigação dos problemas identificados poderá ser aprofundada por meio de ferramentas estruturadas de análise de causa-raiz. Conforme apresentado por Andersen e Fagerhaug (2006), essas ferramentas auxiliam na identificação dos fatores associados às falhas e na definição de ações corretivas

direcionadas aos problemas encontrados. Complementarmente, a Análise de Modos e Efeitos de Falha (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) constitui uma ferramenta utilizada para identificar modos potenciais de falha, avaliar seus efeitos e estabelecer prioridades para ações preventivas (AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY, s.d.).

Outra oportunidade de melhoria identificada refere-se à padronização dos registros de manutenção. Durante o tratamento da base histórica, verificou-se que 125 ocorrências não apresentavam descrição suficiente para classificação do modo de falha. Recomenda-se, portanto, aprimorar o preenchimento dos registros, incluindo informações sobre o equipamento afetado, o componente envolvido, a anomalia identificada, a causa determinada durante a intervenção e a ação executada. A melhoria da qualidade dessas informações poderá contribuir para análises futuras mais detalhadas e para maior rastreabilidade das ocorrências.

Quanto ao acompanhamento dos resultados, destaca-se que a implementação do desligamento automático ocorreu posteriormente ao período utilizado para composição da base histórica analisada. Dessa forma, seus efeitos sobre os indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade ainda não foram quantificados. Recomenda-se realizar uma avaliação comparativa entre os períodos anteriores e posteriores à implementação, considerando especialmente a quantidade de ocorrências e o tempo de parada relacionados à obstrução e carbonização de bicos e filtros.

O acompanhamento sistemático dos indicadores também pode ser relacionado aos requisitos de gestão de ativos apresentados pela ISO 55001:2024, que contempla a avaliação do desempenho e a melhoria dos sistemas de gestão de ativos. Nesse contexto, recomenda-se o monitoramento periódico dos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade, associado à atualização da análise de Pareto, permitindo verificar a evolução do desempenho dos sistemas de colagem e avaliar a efetividade das ações implementadas (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2024b).

Dessa forma, a associação entre os indicadores de manutenção, a análise de Pareto e as ações de melhoria possibilitou transformar os resultados obtidos em subsídios para a gestão dos sistemas aplicadores de cola. A identificação dos equipamentos e modos de falha prioritários, juntamente com a implementação de uma medida preventiva direcionada à redução da exposição térmica desnecessária do adesivo, demonstra a aplicabilidade da metodologia utilizada no estudo. Entretanto, a comprovação quantitativa dos benefícios dessa medida dependerá do acompanhamento dos indicadores em período posterior à sua implementação.

5 Conclusão

Este estudo teve como objetivo analisar a confiabilidade e a disponibilidade de sistemas aplicadores de adesivo termofusível (hot-melt) por meio dos indicadores MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair) e disponibilidade, utilizando registros históricos de manutenção de sete equipamentos Nordson ProBlue 4 instalados em diferentes linhas produtivas. A metodologia adotada permitiu avaliar o comportamento dos equipamentos, identificar diferenças de desempenho entre sistemas do mesmo modelo e estabelecer prioridades para ações de melhoria da manutenção.

Durante o período de julho de 2025 a junho de 2026, foram analisadas 329 ocorrências, correspondentes a 7.702,83 minutos de parada. Os resultados apresentaram MTBF consolidado de 118,23 horas, tempo médio de parada por ocorrência, utilizado como estimativa de MTTR, de 23,41 minutos e disponibilidade consolidada de 99,67%. Entre os equipamentos avaliados, a linha L102 apresentou o comportamento mais crítico em relação à frequência de ocorrências, registrando 151 eventos e MTBF de 36,54

horas, enquanto a linha L120 apresentou o maior MTBF entre os sistemas com falhas registradas, alcançando 201,77 horas.

A análise dos modos de falha demonstrou que as ocorrências relacionadas à obstrução e carbonização de bicos e filtros representaram 45,19% do tempo total de parada. Quando consideradas conjuntamente com as ocorrências associadas ao aquecimento e à temperatura, responsáveis por 11,27%, essas duas categorias concentraram aproximadamente 56,46% das perdas registradas. Esses resultados evidenciaram a importância de considerar tanto a frequência das ocorrências quanto seus tempos acumulados de parada na definição das prioridades de manutenção.

Como contribuição prática, destaca-se a implementação do desligamento automático dos aquecedores dos sistemas de colagem após 45 minutos consecutivos sem operação da linha, medida direcionada à redução da exposição térmica desnecessária do adesivo. A ação apresenta relação com o principal grupo de perdas identificado no estudo, porém sua eficácia ainda não foi quantificada por meio de registros posteriores à implementação. Dessa forma, recomenda-se o acompanhamento dos indicadores de manutenção para verificar possíveis reduções nas ocorrências relacionadas à obstrução e carbonização.

Entre as limitações da pesquisa, destacam-se a existência de 125 registros sem descrição suficiente para classificação do modo de falha e a utilização dos tempos totais de parada como referência para o cálculo do MTTR, não representando necessariamente apenas o tempo efetivo de reparo. Essas condições evidenciam a importância da padronização dos registros de manutenção e do aprimoramento das informações utilizadas nas análises de confiabilidade.

Conclui-se que a utilização conjunta dos indicadores MTBF, MTTR e disponibilidade, associada à análise de Pareto, constitui uma abordagem relevante para a avaliação do desempenho de sistemas industriais reparáveis. A metodologia aplicada permitiu identificar equipamentos prioritários, reconhecer os principais grupos responsáveis pelas perdas e direcionar ações de manutenção fundamentadas em dados históricos. Como continuidade da pesquisa, recomenda-se avaliar quantitativamente os efeitos da melhoria implementada e aprofundar a investigação das falhas recorrentes, especialmente na linha L102, contribuindo para o aperfeiçoamento das estratégias de manutenção e para o aumento da confiabilidade dos sistemas de colagem.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. **Failure mode and effects analysis (FMEA)**. Milwaukee: ASQ, [s.d.]. Disponível em: <https://asq.org/quality-resources/fmea>. Acesso em: 13 out. 2026.
- ANDERSEN, Bjørn; FAGERHAUG, Tom. **Root cause analysis: simplified tools and techniques**. 2. ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2006.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13306:2010: Maintenance — Maintenance terminology**. Brussels: CEN, 2010.

FISCHER, Fernanda; KEINE, Sandro. Análise dos indicadores de manutenção e proposta de melhoria em máquinas de corte de circuitos elétricos. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 22, n. 4, p. 3494–3527, 2023. DOI: 10.14488/1676-1901.v22i4.4702.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14224:2016: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment**. 3. ed. Geneva: ISO, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17359:2018: Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines**. 3. ed. Geneva: ISO, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 55000:2024: Asset management — Vocabulary, overview and principles**. Geneva: ISO, 2024a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 55001:2024: Asset management — Asset management system — Requirements**. 2. ed. Geneva: ISO, 2024b.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.

NIST/SEMATECH. **e-Handbook of Statistical Methods**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2012. Seção 8.4.5.1 – Constant repair rate (HPP/exponential) model. Disponível em: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/apr/section4/apr451.htm>. Acesso em: 13 out. 2026.

NORDSON CORPORATION. **Aparelho de fusão de cola ProBlue: modelo P4, P7 e P10**. Manual P/N 397257D02. Duluth, Georgia: Nordson Corporation, 2007.

UNITED STATES. Department of the Army. **Survey of reliability and availability information for power distribution, power generation, and heating, ventilating and air conditioning (HVAC) components for commercial, industrial, and utility installations**. Technical Manual TM 5-698-5. Washington, DC: Department of the Army, 2006.

XENOS, Harilaus Georgius. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. 2. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2014.