



SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROLE DE MARCHA LENTA PARA LOCOMOTIVAS GE-C36ME COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

João Batista Pinheiro Raymundo, Esp. MRS Logística SA, Brasil

RESUMO

Este estudo descreve o desenvolvimento e a implementação de um sistema automático de partida e parada do motor diesel em locomotivas modelo GE-C36ME, com foco na redução do consumo de combustível e na mitigação da emissão de poluentes durante períodos prolongados de marcha lenta. A análise estatística inicial indicou que essas locomotivas operam em marcha lenta entre 69,1 % e 80,1 % do tempo total de funcionamento, com um consumo médio de 15,9 litros de diesel por hora. O sistema foi projetado para desligar automaticamente o motor diesel quando a locomotiva não estiver em operação ativa, utilizando sinais analógicos e digitais para identificar as condições ideais de funcionamento. Após a fase de testes e ajustes no software, o sistema demonstrou alta eficiência, reduzindo o tempo de marcha lenta para desligado em até 53% e economizando 4.971 litros de diesel durante o período avaliado. Essa economia representa uma redução de 13.274 kg na emissão de CO₂ e um ganho financeiro estimado em R\$ 33.261,54 em tempo inferior a 9 meses. O investimento necessário para aquisição dos componentes do sistema foi inferior à economia gerada inclusive apenas no período de testes, comprovando sua viabilidade técnica e econômica em curto prazo. Os resultados evidenciam um grande potencial de otimização no consumo de combustível em locomotivas, especialmente durante períodos de inatividade, e confirmam que a solução proposta é eficaz e financeiramente vantajosa.

Palavras-chave: locomotiva, marcha lenta, economia de combustível, sistema automático emissão de CO₂.

1. INTRODUÇÃO

As locomotivas equipadas com sistema diesel-elétrico de dupla alimentação são veículos ferroviários projetados para o transporte de cargas, combinando potência e dimensões conforme as necessidades específicas dos clientes e as especificações dos fabricantes.

Essas máquinas possuem um motor diesel acoplado a um ou mais geradores elétricos. Os geradores, por sua vez, fornecem energia aos seis motores de tração, que estão conectados aos eixos por meio de engrenagens. Importante destacar que não existe conexão mecânica direta entre o motor diesel e os eixos de tração — toda a força motriz é transmitida eletricamente (Borba, 2009).

Para iniciar o sistema de acionamento da locomotiva, é necessário fechar a chave comutadora, conectando a bateria ao sistema de controle. Ao pressionar a botoeira de



partida, os geradores atuam inicialmente como motores de arranque, acionando o motor diesel e iniciando o ciclo de combustão (General Eletric, 2004).

Este estudo foi desenvolvido com base em dados estatísticos de uma locomotiva modelo GE-C36ME. A análise revelou que, ao longo de sete anos de operação, uma das amostras a locomotiva permaneceu em marcha lenta (fora do regime de trabalho) durante aproximadamente 80 % do tempo total de funcionamento. Esse dado evidenciou uma oportunidade significativa de otimização: a criação de um sistema capaz de desligar automaticamente o motor diesel quando a locomotiva não estiver em operação ativa.

Nas locomotivas mais modernas, já existe uma rotina incorporada ao próprio software do microprocessador responsável pelo monitoramento contínuo das condições operacionais, como temperatura do motor diesel, pressão do reservatório principal e estado de carga das baterias. A partir dessa varredura constante, o sistema realiza automaticamente o desligamento do motor diesel quando a locomotiva permanece fora de operação e as variáveis atingem os parâmetros previamente estabelecidos. Da mesma forma, sempre que alguma dessas variáveis sai da faixa programada ou quando o operador solicita a retomada da operação, o sistema comanda automaticamente a partida do motor diesel, restabelecendo as condições normais de funcionamento da locomotiva.

Entretanto, as locomotivas do modelo GE-C36ME não foram originalmente equipadas com esse tipo de funcionalidade. Embora existam soluções comerciais disponíveis no mercado, que demandam a adição de acessórios e módulos específicos, o custo mais recente cotado para sua implementação é da ordem de US\$ 30.000,00 (aproximadamente R\$ 300.000,00), o que torna sua aplicação economicamente inviável (RODRIGUES, 2018). Diante desse cenário, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema alternativo, funcionalmente equivalente, porém com custo significativamente reduzido e com melhorias específicas para atender às características operacionais da locomotiva em estudo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 – Metodologia desenvolvida

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa e natureza experimental, cujo objetivo foi desenvolver, implementar e avaliar um sistema automatizado para redução do consumo de diesel e das emissões atmosféricas em locomotivas diesel-elétricas modelo GE-C36ME.

Inicialmente, foi realizado um levantamento e análise de dados estatísticos operacionais de três locomotivas do modelo estudado, por meio do software Pulse e registros históricos da frota. Esses dados permitiram identificar o percentual de tempo em marcha lenta e estimar o consumo médio de combustível nessas condições.

Com base nos resultados obtidos, procedeu-se ao desenvolvimento do Sistema de Controle de Marcha Lenta, integrado ao Sistema de Partida Automática (SPA). Essa etapa envolveu o dimensionamento e a instalação de componentes eletroeletrônicos, bem como a programação do sistema de controle, definindo critérios de partida e desligamento automático do motor diesel a partir de variáveis operacionais, elétricas e mecânicas da locomotiva.



Na sequência, o sistema foi instalado em uma locomotiva protótipo, onde foram realizados procedimentos de comissionamento e testes funcionais, com coleta contínua de dados para verificação do correto funcionamento das rotinas implementadas e das condições de segurança.

Por fim, realizou-se a avaliação do desempenho em operação real, analisando-se estatisticamente os dados coletados para determinar a redução do tempo em marcha lenta, a economia de combustível, a mitigação de emissões de CO₂ e a viabilidade econômica do sistema proposto.

2.2 – Análise inicial dos registros estatísticos

A princípio foram coletados dados estatísticos de 3 locomotivas do modelo GE-C36ME onde foi observado que a maior parte do tempo em que elas ficam com o motor diesel em funcionamento é na posição de marcha lenta variando de 69,1 % a 80,1 % conforme figura 01.

MRS3891 09-09-24 - Bloco de Notas	MRS3892 04-09-24 - Bloco de Notas	MRS3874 07-09-2024 - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda	Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda	Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
E036 011:18:07 011:09:42 4.8 R 1 445 13 0 0 86 87 0	E13A 029:17:37 023:09:25 0.0 C 1 35 3 0 0 89 90 0 F	E07C 021:01:15 021:01:14 0.0 R 2 575 40 1897 187 77 84 0 F
PRE: 6.4 R 1 445 14 0 0 86 87 0	E12E 023:04:45 023:03:56 0.0 C 1 379 1 0 0 88 89 1 F	E07D 021:01:15 021:01:14 0.0 R 2 575 40 1897 187 77 84 0 F
POST: 3.2 R 1 445 12 0 0 86 87 0	E12E 023:03:54 023:03:45 0.0 C 1 448 1 0 0 90 91 1 F	E07F 021:01:15 021:01:14 0.0 R 2 575 40 1897 187 77 84 0 F
E13A 006:05:39 004:10:42 0.0 C 1 0 1 0 0 86 87 0	E12E 021:18:02 021:16:56 19.2 F 1 445 5 155 8 86 88 0 F	E080 021:01:15 021:01:14 0.0 R 2 575 40 1897 187 77 84 0 F
PRE: 0.0 C 1 0 0 0 0 86 87 0	E12E 021:16:49 017:16:29 0.0 C 1 381 1 0 0 83 85 1 F	E087 014:14:10 014:14:10 0.0 C 1 445 9 0 0 82 83 0 F
POST: 0.0 C 1 0 1 0 0 86 87 0	E12E 015:14:55 012:03:28 17.6 F 2 577 346 828 81 86 87 0 F	E130 014:14:06 014:14:06 0.0 C 5 442 9 0 0 80 82 0 F
E12E 005:05:51 004:10:42 4.8 F 2 562 151 1565 95 85 87 1	E0A3 012:16:19 012:16:19 0.0 F 1 445 1 0 0 42 43 1 F	E130 014:14:06 014:14:06 0.0 C 5 208 6 0 0 80 82 1 F
PRE: 3.2 F 2 529 120 1668 99 85 87 1	E12E 011:13:34 010:17:17 0.0 R 1 445 1 0 0 76 76 0 F	E036 013:14:00 013:14:00 0.0 R 1 0 5 0 2 17 17 0 F
POST: 4.8 F 2 570 166 1496 92 85 87 1	E12E 010:17:14 000:21:10 0.0 C 1 379 0 0 0 88 88 0 F	E130 000:05:12 000:05:11 0.0 C 5 445 8 0 0 74 76 0 F
Potencia Em Tracao = 1751619.00 KwHrs	Potencia Em Tracao = 1256868.00 KwHrs	Potencia Em Tracao = 1102053.00 KwHrs
Potencia Em Freio = 520424.00 KwHrs	Potencia Em Freio = 345737.00 KwHrs	Potencia Em Freio = 307653.00 KwHrs
Potencia Total = 1952246.00 KwHrs	Potencia Total = 1441916.00 KwHrs	Potencia Total = 1296930.00 KwHrs
Milhagem Total = 112350 Kms	Milhagem Total = 92104 Kms	Milhagem Total = 74254 Kms
Marcha-Lenta Temp = 7572.42 Horas 69.1%	Marcha-Lenta Temp = 6916.41 Horas 72.3%	Marcha-Lenta Temp = 13676.24 Horas 80.1%
Ponto 1 Temp = 596.68 Horas 5.2%	Ponto 1 Temp = 803.92 Horas 8.3%	Ponto 1 Temp = 580.39 Horas 5.7%
Ponto 2 Temp = 443.69 Horas 4.0%	Ponto 2 Temp = 403.23 Horas 4.2%	Ponto 2 Temp = 707.41 Horas 4.1%
Ponto 3 Temp = 328.00 Horas 3.0%	Ponto 3 Temp = 253.68 Horas 2.7%	Ponto 3 Temp = 387.67 Horas 2.3%
Ponto 4 Temp = 249.68 Horas 2.3%	Ponto 4 Temp = 178.10 Horas 1.9%	Ponto 4 Temp = 187.15 Horas 1.1%
Ponto 5 Temp = 209.19 Horas 1.9%	Ponto 5 Temp = 135.97 Horas 1.4%	Ponto 5 Temp = 112.41 Horas 0.7%
Ponto 6 Temp = 170.42 Horas 1.6%	Ponto 6 Temp = 103.13 Horas 1.1%	Ponto 6 Temp = 79.56 Horas 0.5%
Ponto 7 Temp = 114.42 Horas 1.0%	Ponto 7 Temp = 86.32 Horas 0.9%	Ponto 7 Temp = 53.39 Horas 0.3%
Ponto 8 Temp = 159.95 Horas 1.5%	Ponto 8 Temp = 134.17 Horas 1.4%	Ponto 8 Temp = 63.51 Horas 0.4%
Freio Dinamic Temp = 1120.94 Horas 10.2%	Freio Dinamic Temp = 754.39 Horas 7.9%	Freio Dinamic Temp = 836.43 Horas 4.9%
Uso Total = 10965.40 Horas	Uso Total = 9568.42 Horas	Uso Total = 17084.15 Horas
		Comp Load Cycles = 176265

Figura 01 – Registro estatístico de 3 locomotivas modelo GE-C36ME

Com o objetivo de ampliar a representatividade da amostra, foram coletados os mesmos dados operacionais de 61 das 75 locomotivas com injeção eletrônica e painel BSS disponíveis no drive de rede. A análise demonstrou que a variabilidade observada manteve-se consistente em relação às amostras apresentadas anteriormente, situando-se na faixa de 65 % a 90 %, conforme ilustrado na figura 2.

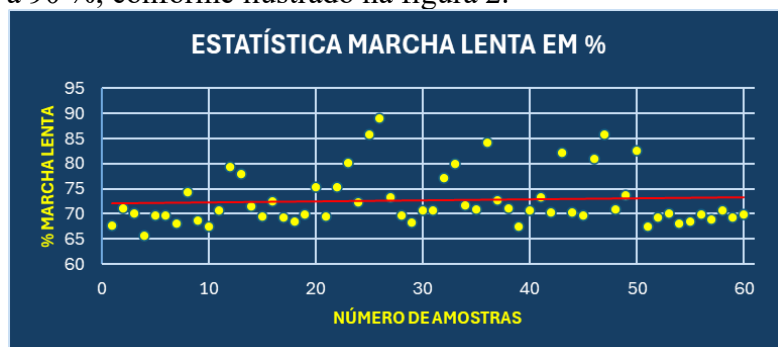


Figura 02 – Amostragem de 61 das 75 locomotivas



Foi também pesquisado o consumo de litros de diesel baseado no software do Pulse e observado que o consumo de diesel em marcha lenta por hora deste modelo de locomotiva é estimado em 4,2 galões/hora, realizando a conversão para litros/hora concluímos o consumo em 15,9 litros conforme figura 03.

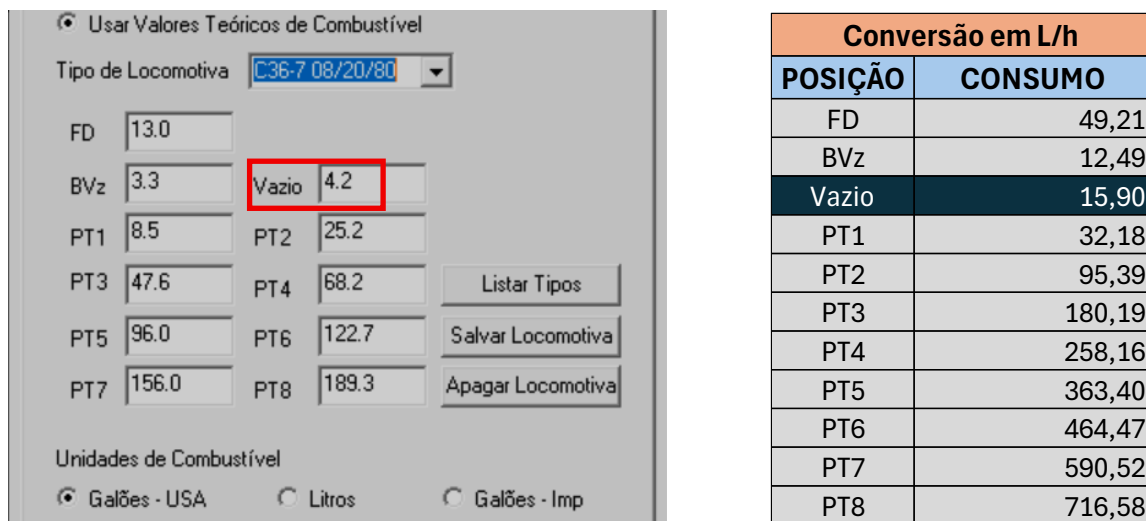


Figura 03 – Registro do consumo de diesel por hora em cada modo de operação e relação de conversão para litros/hora

2.3 – Sistema de Partida Automática (SPA)

Antes da concepção da proposta atual, foram identificados problemas relacionados à subutilização do grupo de locomotivas do modelo GE-C36-ME. Em razão da baixa demanda de transporte, essas locomotivas permaneceram longos períodos sem operação, o que resultou em motores diesel inativos por tempo excessivo. Essa condição culminou em um aumento significativo das ocorrências de falhas na partida do motor diesel.

No levantamento das causas dessas falhas, abrangendo o período de 2017 a 2022, ficou evidenciado que o principal fator era o componente bateria. Esse cenário impactou negativamente tanto a disponibilidade das locomotivas quanto os custos de manutenção quando a demanda de transporte retornou à normalidade. Nesse intervalo, as baterias representaram, inclusive, o maior item de despesa do orçamento de manutenção, devido à necessidade frequente de aquisição e reparo desses componentes.

Além das falhas associadas às baterias, a permanência das locomotivas fora de operação por longos períodos pode ocasionar deficiência de lubrificação no virabrequim do motor diesel, levando ao desgaste prematuro de seus subcomponentes. Como medida de mitigação desses impactos, foi criada uma rotina operacional que exigia dos operadores de trem a partida periódica dos motores das locomotivas estacionadas. Entretanto, essa atividade demandava mão de obra qualificada da MRS e, devido ao elevado número de locomotivas paradas, apresentou consideráveis dificuldades de gerenciamento.

Com o objetivo de melhorar esse cenário, foi desenvolvido o SPA, sistema que utiliza um microcontrolador para realizar de forma autônoma e automática a partida e o



desligamento do motor diesel. O sistema é programado para operar em intervalos pré-estabelecidos — por exemplo, a cada 24 horas — mantendo o motor em funcionamento por aproximadamente uma hora, tempo suficiente para o completo carregamento das baterias. Em essência, o SPA foi projetado para executar todas as etapas normalmente realizadas pelo operador.

Como o SPA foi concebido com a finalidade de assumir integralmente os procedimentos necessários para a partida e o desligamento do motor diesel quando a locomotiva estiver fora de operação, parte dos componentes existentes foi reaproveitada para atuar na proposta atual.

2.1 – Dimensionamento e Funcionalidades do Sistema Inteligente de Controle de Marcha Lenta (SICML)

Diante dos dados analisados no foi iniciado o processo para construção de um sistema capaz de gerenciar e comandar a parada do motor diesel a fim de evitar o desperdício de diesel e emissão de poluente quando ela não estiver em processo de operação. Para isso foram dimensionados os componentes que seriam integrados ao sistema SPA com a finalidade de coletar mais alguns sinais analógicos/digitais recebendo assim sinais das condições ideais e necessárias tanto para ligar ou desligar o motor diesel da locomotiva.

Os principais componentes adicionais foram instalados conforme tabela 01 para as determinadas funções específicas, o valor total de componentes foi de R\$ 10.343,06 e seguem listadas abaixo:

COMPONENTES				
COMPONENTE	ESPECIFICAÇÃO	VALOR UN	QTD	TOTAL
Transdutor de tensão	Transdutor de tensão de -10 a 10VDC, faixa de -80 a 80V	R\$ 2.468,27	1	R\$ 2.468,27
Módulo Extensor Logo	Módulo Extensor LOGO 6ED10551NB100BA2	R\$ 781,10	1	R\$ 781,10
Interface Homem Máquina	IHM LOGO TDE 6ED10554MH080BA1	R\$ 928,37	1	R\$ 928,37
Relé de Controle EC	RELE WABTEC 82743P P/A) SISTEMA BORDO	R\$ 985,32	1	R\$ 985,32
Relés de interface	Relé 72 V PN 859-393 WAGO	R\$ 500,00	6	R\$ 3.000,00
Sensor de Temperatura	Sensor temperatura PN 41A296328AAP12	R\$ 1.650,00	1	R\$ 1.650,00
Proteção chave Isolamento	Proteção chave PN41A319853P2	R\$ 530,00	1	R\$ 530,00
TOTAL				R\$ 10.343,06

Tabela 01 – Relação dos principais componentes do sistema

Os componentes foram instalados em parte na cabine do operador e parte no compartimento do motor diesel. O módulo extensor foi acoplado ao PLC do sistema SPA que passou a compartilhar parte dos sinais de entrada e os comandos de partida/desligamento do motor diesel conforme figura 4.

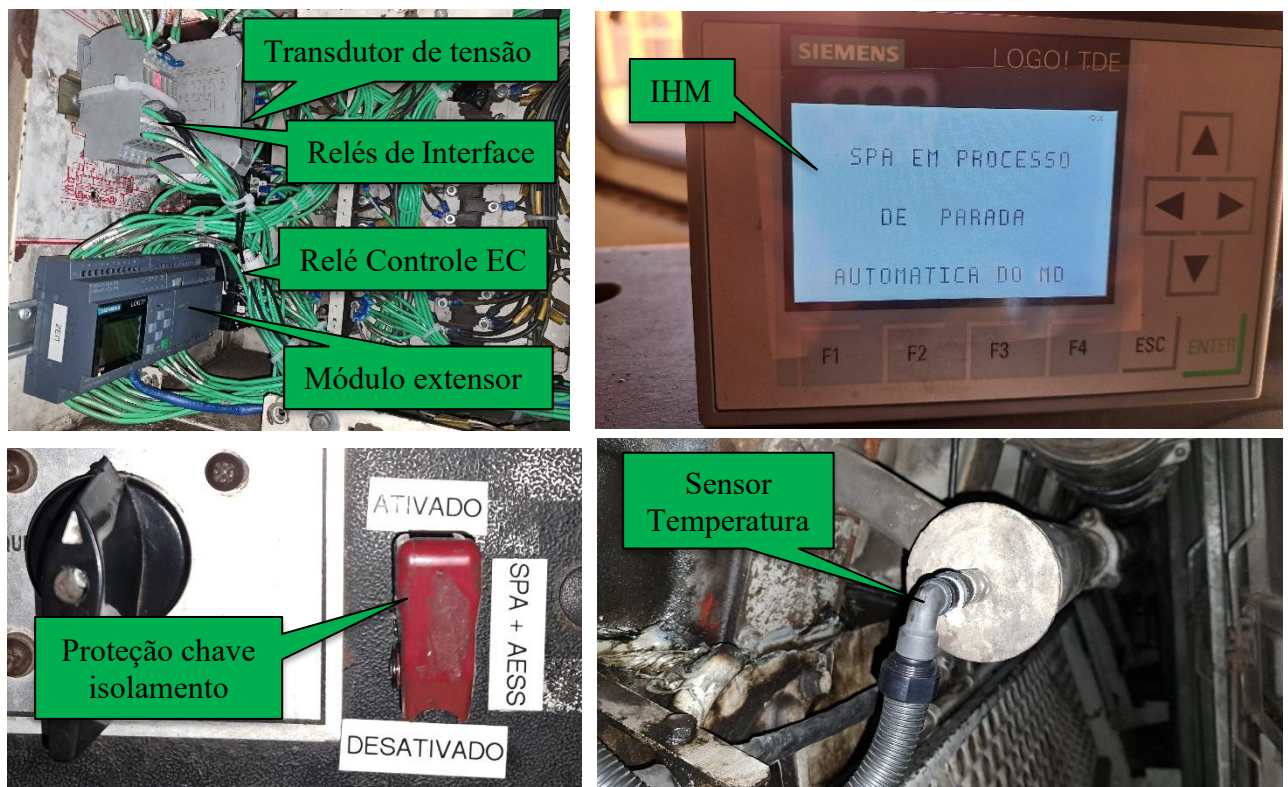


Figura 04 – Componentes do sistema instalado na locomotiva 3887

Módulo Extensor – Coletar sinais digitais da locomotiva necessários para o sistema a fim de gerenciar as rotinas adequadas.

Relé de contatos chave EC (Chave de controle do Motor Diesel) – Comutar a posição da chave EC para que o microprocessador da locomotiva não gere falhas/alarmes quando o sistema desligar o motor diesel da loco.

Transdutor de tensão – Converter nível de tensão de carga da bateria na faixa de 72 V para até 10 V e envio destes dados para o sistema para condição de partida/desligamento do motor diesel na melhor condição.

Sinal de corrente de bateria (sinal do módulo AGFM da própria locomotiva) – Coletar sinal de corrente de carga da bateria para o sistema a fim de realizar o desligamento do motor diesel quando a bateria estiver em flutuação (corrente de carga abaixo de 15A).

Sinal de pressão do RP (Reservatório Principal) – Coletar sinal de pressão do reservatório principal para o sistema com objetivo de fornecer a condição adequada de ligar/desligar o motor diesel.

6 relés de interface – Coletar sinal de frente/ré, manipulador em vazio, freio independente aplicado, sinal chave EC para BSS (microprocessador da locomotiva) marcha/isolado em nível 72 V para envio desses sinais para o sistema em nível de 24 V e assim condições de rotina do sistema.



Sensor de temperatura do motor diesel – Coletar sinal de temperatura do motor diesel para o sistema fornecendo assim as melhores condições para que o motor seja ligado/desligado dentro dos parâmetros estabelecidos.

Interface Homem Máquina – informar ao operador todas as etapas de gerenciamento do sistema, bem como criar alertas para o operador realizar operações com determinadas funções para permitir que o sistema apague o motor diesel de forma correta.

Após instalação dos componentes foi programado no software as premissas que o sistema funciona, para que o sistema desligue o motor diesel é necessário que as variáveis estejam dentro dos parâmetros devido as seguintes condições:

- Motor Diesel em funcionamento no mínimo 30 minutos – Estabelecer uma quantidade mínima de intervalo entre as partidas do motor diesel.
- A corrente de carga de bateria ser $< 15\text{ A}$ – Quando a corrente de carga fica abaixo de 15 A o conjunto de baterias já possui o mínimo de carga para uma próxima partida.
- Temperatura do motor diesel esteja entre 70 e 95° C – Abaixo de 70° C o microprocessador causa restrição de potência na locomotiva, quando o motor diesel é desligado com temperaturas acima de 95° C pode haver trincas em seus componentes internos devido ao choque térmico
- Tensão de bateria $> 67\text{ V}$ – Indica que o sistema iniciou o processo de carga de baterias
- Cilindro de freio acima de 40 PSI por no mínimo 3 minutos – Determina que a locomotiva está sem movimento há mais de 3 minutos
- Chave reversora no centro (fora dessa posição o alarme irá tocar indicando para o operador centralizar a alavanca reversora) – Sinal que informa ao sistema que o operador não tem a intenção de movimentar a locomotiva
- Acelerador na posição neutra – Sinal informativo de que o operador não tem a intenção de acelerar o motor diesel

Satisfeitas as condições acima o sistema entrará no modo de desligamento com as seguintes etapas conforme Tabela 02:

ETAPA	PROCESSO
Informar o operador que o sistema irá desligar o motor diesel	Acionando a campanha de forma intermitente até a completa parada do motor diesel
Informar ao operador para que o mesmo centralize a chave reversora caso não haja intenção de operar a locomotiva	Acionando a campanha de forma contínua e mensagem na IHM solicitando essa operação
Forçar a entrada do compressor caso a pressão do reservatório principal esteja abaixo de 140 PSI	Com pressão abaixo de 140 PSI o sistema força a entrada do compressor até atingir 150 PSI para que quando o motor diesel desligar o sistema de ar esteja bem abastecido

Tabela 02 – Etapas para desligamento do motor diesel



Para que o sistema religue o motor diesel após ter sido desligado são necessárias as seguintes condições:

- Motor Diesel apagado por no mínimo 30 segundos – Tempo mínimo para que o motor saia da rotação de marcha lenta (440 rpm) até atingir o repouso.
- Movimentar chave reversora retirando da posição central ou acelerador fora de “vazio” – Indica que o operador tem intenção de tracionar com a locomotiva ou acelerador o motor diesel
- Tensão de bateria atingir valor $< 63,5$ V – Nível mínimo de tensão de bateria capaz de dar partida no motor diesel
- Pressão do Reservatório Principal atingir valor < 105 PSI – Pressão mínima para manter a segurança de frenagem tanto da locomotiva quanto da composição.

2.3 – Segurança e Proteções Inseridas no Sistema

Foram incorporadas à rotina do sistema diversas condições de segurança com o objetivo de proteger a locomotiva contra danos graves ou falhas de partida/circuito de carga de bateria, além de mitigar riscos de acidentes ou incidentes operacionais. As principais premissas de proteção foram definidas e implementadas diretamente no software do sistema, conforme descrito a seguir:

Se após a partida do motor diesel o sistema detectar que não está ocorrendo o processo de recarga das baterias, o sistema comanda o desligamento do motor diesel e faz mais 2 tentativas de partida. Persistindo o modo de falha o sistema entra em modo isolado e irá aguardar uma nova solicitação de partida manual com objetivo de não comprometer a bateria da locomotiva.

Se durante a partida do motor diesel o sistema detectar um nível de tensão de 40 V (tensão crítica de afundamento do conjunto de baterias) o sistema se mantém isolado automaticamente até uma nova partida manual, pois neste caso se o sistema apagar o motor diesel pode ocorrer que a bateria por já ter atingido este nível de tensão não tenha capacidade de realizar nova partida causando assim um impacto na operação da locomotiva.

Caso o motor diesel seja desligado devido a uma falha interna ou por alguma proteção da própria locomotiva — sem que haja intervenção do sistema de gerenciamento (como o acionamento da botoeira de parada do motor diesel) — a funcionalidade de partida/parada automática é temporariamente suspensa. A retomada da operação automática só ocorre após a realização de uma partida manual, por meio do acionamento da botoeira de partida.

Em caso de uma falha crítica no motor diesel que seja um risco para segurança pessoal ou do equipamento o operador tem a possibilidade de inserir a botoeira de isolamento do sistema na posição “Desativado” e deve-se abrir a chave faca da bateria. Com essas 2 operações realizadas não há possibilidade de partida do motor diesel.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O protótipo foi testado dentro da oficina e recebeu liberação para operação no dia 09/05/25 onde permaneceu em operação até o dia 15/05/25 apresentando um impacto na circulação devido o sistema apagar de forma indevida o motor diesel da locomotiva. Após coleta dos registros no sistema PLC foi possível determinar que a causa da falha foi uma das linhas de programação estabelecia que se a corrente de carga de bateria atingisse valores inferiores a 10A o sistema faria uma parada forçada do motor diesel e uma nova partida (sistema reconhecia que a bateria não estava realizando o processo de carregamento das baterias). Foi corrigida a linha de programação para que o sistema monitorasse o sistema de carregamento pelo nível de tensão, locomotiva foi retornada para operação no dia 24/05/25 e coletados os registros novamente em 09/06/25 apresentando desempenho normal sem registro de falhas. Durante esse período, os dados coletados foram analisados e permitido a chegar nas seguintes conclusões.

Entre 09/05/25 e 15/05/25, o sistema atuou desligando o motor diesel por um total de 14,84 horas, o que representou uma redução de 53 % no tempo em que a locomotiva permaneceu em marcha lenta.

Entre 24/05/25 e 09/06/25, após a correção do software, o sistema desligou o motor diesel por 25,59 horas, resultando em uma redução de 39 % no tempo de marcha lenta, conforme ilustrado nas tabelas 03 e 04.

RESUMO SICML 09/05/25 A 15/05/25	
CONDIÇÃO	HORAS
MOTOR APAGADO POR SICML	14,84
MOTOR DIESEL LIGADO	39,58
ACELERADOR APLICADO	11,47
REVERSORA FRENTE/RÉ	15,37
TEMPO EM MARCHA LENTA	28,11
REDUÇÃO DE MOTOR LIGADO	53%

RESUMO SICML 24/05/25 A 09/06/25	
CONDIÇÃO	HORAS
MOTOR APAGADO POR SICML	25,59
MOTOR DIESEL LIGADO	126,32
ACELERADOR APLICADO	60,08
REVERSORA FRENTE/RÉ	39,76
TEMPO EM MARCHA LENTA	66,24
REDUÇÃO DE MOTOR LIGADO	39%

Tabelas 03 e 04 – Resumo estatístico de operação de 09/05/25 a 15/05/25 e 24/05/25 a 09/06/26

De forma geral, após a consolidação dos dados coletados nos períodos de 09/05/2025 a 04/02/2026, foi possível verificar que o sistema manteve o motor diesel desligado por aproximadamente 314 horas (valor estimado por medição), o valor pode ser considerado maior devido a perda de 47 dias na estatística.

Isto ocorreu porque neste intervalo houve o corrompimento dos registros no cartão SD do PLC e como a equipe que realiza o download manual da caixa preta na locomotiva excedeu o tempo de coleta dos registros (que é de 30 dias), os dados foram subscritos. Contudo durante o tempo avaliado de operação do sistema a sua atuação contribuiu diretamente para a economia de 4.971 litros de diesel, considerando um consumo médio de 15,9 litros por hora. Com base no fator de emissão de CO₂, em 2,67 kg/l (Carvalho, 2011), estima-se que essa economia evitou a emissão de aproximadamente 13.274 kg de



CO₂ na atmosfera. Além dos benefícios ambientais, houve também uma economia financeira significativa, estimada em R\$ 33.261,54, considerando o preço médio nacional atual do diesel de R\$ 6,89 por litro conforme tabela 5.

Mes/ano	Tempo de motor diesel desligado pelo sistema (hh:mm:ss)	Estimativa de litros de diesel (15,9 l/h)	Estimativa de redução de CO ₂ por litro (2,67Kg/l)	Estimativa de redução em reais por diesel (R\$ 6,89/l)
mai/25	27:59:10	443,61	1.184,44	R\$ 2.967,75
jun/25	45:24:08	705,96	1.884,91	R\$ 4.722,87
jul/25	36:14:01	591,48	1.579,25	R\$ 3.957,00
ago/25	16:02:47	238,4	636,53	R\$ 1.594,90
set/25	33:07:23	526,29	1.405,19	R\$ 3.520,88
out/25	3:40:45	57,24	152,83	R\$ 382,94
nov/25	52:54:45	841,11	2.245,76	R\$ 5.627,03
dez/25	45:43:19	726,63	1.940,10	R\$ 4.861,15
jan/26	51:36:05	818,85	2.186,33	R\$ 5.478,11
fev/26	1:20:25	22,26	59,43	R\$ 148,92
TOTAL	314:02:48	4.971,83	13.274,79	R\$ 33.261,54

Tabela 05 – Resumo geral com redução de consumo/emissão/financeiro

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados estatísticos levantados, identificou-se uma significativa oportunidade de economia no consumo de diesel durante os períodos de marcha lenta, que representam a maior parcela do tempo de operação da locomotiva.

O sistema, com um custo aproximado de R\$ 10.000,00 em componentes, proporcionou uma economia de 4.971 litros de diesel em um período de testes inferior a 9 meses (sem contar os 47 dias de perda de registros devido corrompimento dos arquivos no cartão SD do PCLS e na caixa preta os arquivos foram subscritos neste intervalo). Essa redução no consumo resultou também na diminuição de aproximadamente 15.412 kg de CO₂ emitidos à atmosfera.

Ao converter o volume de diesel economizado pelo valor médio atual nacional do combustível (R\$ 6,89/litro), obteve-se uma economia financeira de R\$ 33.261,54, valor superior ao investimento inicial no sistema apenas na locomotiva em protótipo. Na empresa hoje este projeto pode ser estendido e adaptado em mais de 100 locomotivas de do mesmo modelo ou de outro modelo na frota atual. Isso demonstra que a solução é efetiva, sustentável e apresenta retorno financeiro em curto prazo, reforçando sua viabilidade técnica e econômica.

5. AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder a capacidade mental e sabedoria necessárias para desenvolver este trabalho, a minha esposa Greisiele, e a meu filho Isaque, pela compreensão diante do tempo que precisei dedicar ao projeto, muitas vezes reduzindo nossos momentos de convivência familiar.



A MRS Logística nas pessoas como Ricardo Veiga, Roberto Stwilliams, Pedro Mageste e Matheus Ferezini pelo apoio essencial durante o desenvolvimento e a implantação, garantindo que o projeto permanecesse ativo mesmo após os ajustes iniciais.

6. REFERÊNCIAS

BORBA, José Luiz. Locomotiva diesel-elétrica. 2009.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. 2011.

GENERAL ELECTRIC. Treinamento em sistemas elétricos C30-7MP. Apostila. 2004.

RODRIGUES, Kardilson Pereira. Análise de modelos de gestão da eficiência energética no transporte ferroviário heavy haul. 2018.

SIMON, Guilherme Menezes. Tecnologias para motores diesel visando redução de emissão de poluentes. 2017.

PETROBRAS. Preços de diesel por estado. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/selecao-de-estados-diesel>>.



INTELLIGENT IDLE CONTROL SYSTEM FOR GE-C36ME LOCOMOTIVES FOCUSED ON ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

This study describes the development and implementation of an automatic start-stop system for diesel engines in GE-C36ME locomotives, focusing on reducing fuel consumption and mitigating pollutant emissions during extended idle periods. Preliminary statistical analysis indicated that these locomotives operate at idle between 69.1 % and 80.1 % of their total operating time, with an average fuel consumption of 15.9 liters of diesel per hour.

The system was designed to automatically shut down the diesel engine when the locomotive is not in active operation, using analog and digital signals to detect optimal operating conditions. After the testing phase and software adjustments, the system demonstrated high efficiency, reducing idle-to-shutdown time by up to 53 % and saving 4,971 liters of diesel during the evaluation period.

This fuel saving corresponds to a reduction of 13,274 kg of CO₂ emissions and an estimated financial gain of R\$ 33,261.54 in less than nine months. The investment required to purchase the system's components was lower than the savings generated even during the testing period, confirming its short-term technical and economic feasibility.

The results show a strong potential for optimizing fuel consumption in locomotives, particularly during periods of inactivity, and confirm that the proposed solution is both effective and financially advantageous.

Keywords: locomotive, idling, fuel savings, automatic system, CO₂ emissions.