

A Revolução Silenciosa da Discretização Virtual na Ferrovia

Rumo: pioneira no Brasil com ganhos reais em segurança e eficiência

Fernanda Dorneles Malaquias, Antonio Ademir Gandolfi e Rodrigo Vinícius Bonikows

Resumo

A discretização virtual de blocos é uma solução que revoluciona a segurança e a eficiência na circulação ferroviária. Este artigo descreve a aplicação pioneira da tecnologia pela Rumo, substituindo blocos físicos longos e permissivos por segmentações menores e controladas digitalmente. São discutidos os desafios enfrentados nas fases de piloto, validação, implantação e ajustes operacionais, com destaque para os ganhos obtidos em aproximação segura de trens, liberação progressiva de via e eliminação da licença permissiva. A experiência da Rumo demonstra a viabilidade técnica e operacional o modelo, servindo de referência para o setor.

Palavras-chave: Discretização virtual, licença permissiva, liberação de cauda, segurança ferroviária, tecnologia embarcada.

Abstract

The virtual block discretization is a solution that revolutionizes safety and efficiency in railway operations. This paper presents the pioneering implementation by Rumo, replacing long physical and permissive blocks with smaller, digitally controlled segments. It outlines the challenges faced during pilot, validation, deployment and postimplementation adjustments, highlighting improvements in safe train proximity, progressive track release and the elimination of permissive licenses. Rumo's experience demonstrates the technical and operational feasibility of the model, offering a benchmark for the rail sector.

Sumário

Resumo 2

Abstract 3

1 Introdução 5

2 Metodologia 6

3 Desenvolvimento e Resultados 8

 3.1 Licença Permissiva 8

 3.2 Visão bordo de locomotiva 9

 3.3 Implantação Fase 1 – Piloto: Perequê a Paratinga 11

 3.4 Implantação Fase 2 – Expansão: Boa Vista a Paratinga 12

 3.5 Implantação Definitiva..... 12

 3.6 Implantação Fase 4 – Pós-Implantação e Ajustes Finais 12

4 Conclusões 13

5 Referências Bibliográficas 14

Introdução

A operação ferroviária brasileira está passando por uma transformação silenciosa, porém fundamental: a adoção da discretização virtual de blocos. A Rumo é a primeira ferrovia do país a implementar essa tecnologia, que pode eliminar o uso da licença permissiva, reduz riscos de colisão, melhora a eficiência da malha e amplia a segurança operacional.

Discretizar virtualmente significa dividir a via em blocos menores — de aproximadamente 1 km — por meio de cálculos de latitude e longitude da malha, sem necessidade de sinalização física. Esses blocos são gerenciados eletronicamente pelo sistema de bordo da locomotiva, permitindo uma operação mais dinâmica e segura.

Antes da discretização, os blocos físicos tinham até 4 km de extensão. Com isso, um trem precisava percorrer todo o trecho para liberar a via ao próximo. Isso impactava diretamente a capacidade de aproximação e escoamento da malha.

Agora, com blocos menores e controle em tempo real, a liberação ocorre a cada quilômetro percorrido, o que reduz o tempo de espera e melhora a fluidez. Um trem típico da Rumo, com 2,4 km de comprimento, libera parcialmente a via já após 1 km de deslocamento — um ganho operacional concreto.

1 Metodologia

A metodologia adotada na implantação da discretização virtual na Rumo baseou-se em três pilares principais: segmentação digital da via, controle da ocupação via posicionamento geográfico (GPS) e validação progressiva por trechos operacionais.

Foi realizado um estudo atual da divisão de blocos por marco quilométrico, latitude e longitude. Esse estudo foi realizado com base no arquivo de mapa que o bordo utiliza, que referencia marcos quilométricos à latitude e longitude. Após esse estudo, a primeira opção considerada foi a divisão nos marcos quilométricos já conhecidos da Rumo.

A segmentação foi realizada a partir da malha georreferenciada da ferrovia, utilizando coordenadas de latitude e longitude para dividir virtualmente a via em blocos com extensão média de 1.000 metros. Esse processo foi realizado por meio de software especializado, sem qualquer necessidade de modificação na infraestrutura física ou na sinalização externa. Cada bloco virtual passou a ser tratado como uma unidade lógica de controle para fins de ocupação e liberação, substituindo os antigos blocos físicos de até 4 km.

O controle da ocupação continua a ser realizado pelo computador de bordo da locomotiva, que, com base na posição GPS do trem e nas informações da tabela de blocos, identifica em tempo real quais blocos estão ocupados, em aproximação ou liberados.



Figura 1 -Comparativo visual: blocos de 4 km vs. blocos de 1 km

M	Latitude	Longitude	Altura	Rao	Declão	Pontos Notáveis	Linha Esq. - km	Linha Esq. - > Vel.	Linha Esq. - < Vel.	Linha Pri. - km	Linha Pri. - > Vel.	Linha Pri. - < Vel.	Linha Dr. - km	Linha Dr. - > Vel.	Linha Dr. - < Vel.	Linha Pri. - Nome SB	Linha Dr. - Nome SB	Linha Esq. - Nome SB
1	-785495	-1731820	715000	65535	290	180	244688	60	60	244688	60	60	244688	60	60	2432441	0	2432442
1	-785494	-1731880	715000	65535	290	18	244610	60	60	244610	60	60	244610	60	60	2432441	0	2432442
1	-785520	-1731804	712360	65535	259	0	244453	60	60	244453	60	60	244453	60	60	2432441	0	2432442
1	-785553	-1731796	71214	65535	259	0	244440	60	60	244440	60	60	244440	60	60	2432441	0	2432442
1	-785599	-1731784	712669	65535	259	0	244294	60	60	244294	60	60	244294	60	60	2432441	0	2432442
1	-785646	-1731771	713733	65535	259	0	244146	60	60	244146	60	60	244146	60	60	2432441	0	2432442
1	-785682	-1731759	714388	540	257	128	244000	60	60	244000	60	60	244000	60	60	2432441	0	2432442
1	-785699	-1731757	714555	540	255	0	243980	60	60	243980	60	60	243980	60	60	2432441	0	2432442
1	-785739	-1731742	713959	540	255	0	243950	60	60	243950	60	60	243950	60	60	2432441	0	2432442
1	-785794	-1731717	717142	540	255	0	243722	60	60	243722	60	60	243722	60	60	2432441	0	2432442
1	-785803	-1731687	716692	540	255	0	243597	60	60	243597	60	60	243597	60	60	2432441	0	2432442
1	-785837	-1731649	720312	540	255	0	243447	60	60	243447	60	60	243447	60	60	2432441	0	2432442
1	-785870	-1731611	719332	540	255	0	243297	60	60	243297	60	60	243297	60	60	2432441	0	2432442
1	-785904	-1731574	723520	540	255	0	243150	60	60	243150	60	60	243150	60	60	2432441	0	2432442
1	-785927	-1731558	725140	1150	223	174	242909	60	60	242909	60	60	242909	60	60	2432441	0	2432442
1	-785946	-1731530	725820	630	222	12	242976	60	60	242976	60	60	242976	60	60	2432441	0	2432442
1	-785966	-1731502	726669	1158	211	0	242845	60	60	242845	60	60	242845	60	60	2432441	0	2432442
1	-785990	-1731469	728619	1158	211	0	242706	60	60	242706	60	60	242706	60	60	2432441	0	2432442
1	-786000	-1731452	728993	1158	210	0	242642	60	60	242642	60	60	242642	60	60	2432441	0	2432442
1	-786014	-1731424	730230	65535	210	0	242540	60	60	242540	60	60	242540	60	60	2432441	0	2432442
1	-786030	-1731394	731811	65535	210	0	242440	60	60	242440	60	60	242440	60	60	2432441	0	2432442
1	-786046	-1731364	732958	65535	210	0	242340	60	60	242340	60	60	242340	60	60	2432441	0	2432442
1	-786062	-1731334	734290	65535	210	0	242240	60	60	242240	60	60	242240	60	60	2432441	0	2432442
1	-786078	-1731304	735628	65535	210	0	242140	60	60	242140	60	60	242140	60	60	2432441	0	2432442
1	-786094	-1731274	737019	65535	210	0	242040	60	60	242040	60	60	242040	60	60	2432441	0	2432442
1	-786097	-1731260	737293	65535	210	14	242010	60	60	242010	60	60	242010	60	60	2432441	0	2432442
1	-786112	-1731245	737657	65535	210	12	241980	60	60	241980	60	60	241980	60	60	2432441	0	2432442
1	-786143	-1731219	739519	636	211	0	241863	60	60	241863	60	60	241863	60	60	2022401	0	2022402
1	-786168	-1731188	740794	636	222	0	241745	60	60	241745	60	60	241745	60	60	2022401	0	2022402
1	-786186	-1731155	741571	636	223	0	241627	60	60	241627	60	60	241627	60	60	2022401	0	2022402
1	-786197	-1731127	741629	636	243	0	241510	60	60	241510	60	60	241510	60	60	2022401	0	2022402
1	-786210	-1731099	740611	636	254	0	241392	60	60	241392	60	60	241392	60	60	2022401	0	2022402
1	-786271	-1731051	738769	636	265	0	241274	60	60	241274	60	60	241274	60	60	2022401	0	2022402
1	-786310	-1731000	736731	65535	220	0	241157	60	60	241157	60	60	241157	60	60	2022401	0	2022402

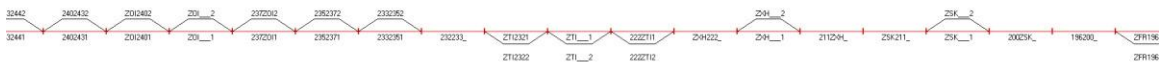


Figura 2 - Exemplo do software para criação de blocos virtuais

2 Desenvolvimento e Resultados

3.1 Licença Permissiva

A licença permissiva é uma prática tradicional que permite que dois trens ocupem o mesmo bloco de via. O trem de trás pode avançar com a chamada 'velocidade restrita', ou seja, pronto para parar caso encontre um obstáculo. Essa prática, apesar de comum aceita, carrega um risco considerável: como dois trens compartilham fisicamente o mesmo bloco, qualquer falha de comunicação, atraso de frenagem ou interpretação incorreta da situação pode resultar em colisões.

Ao eliminar boa parte do uso da licença permissiva por meio da discretização virtual, a Rumo estabelece um novo patamar de segurança: não há dois trens no mesmo bloco, eliminando a ambiguidade operacional e os riscos associados.

Ano	Localidade	Tipo de Acidente	Causa Relacionada à Permissiva
2011	SP (interior)	Colisão traseira	Trem 2 invadiu bloco já ocupado
2015	MG (região central)	Engavetamento	Velocidade restrita não respeitada
2018	PR (Malha Sul)	Colisão leve	Confusão em despacho permissivo

Tabela 1 - Acidentes associados à licença permissiva

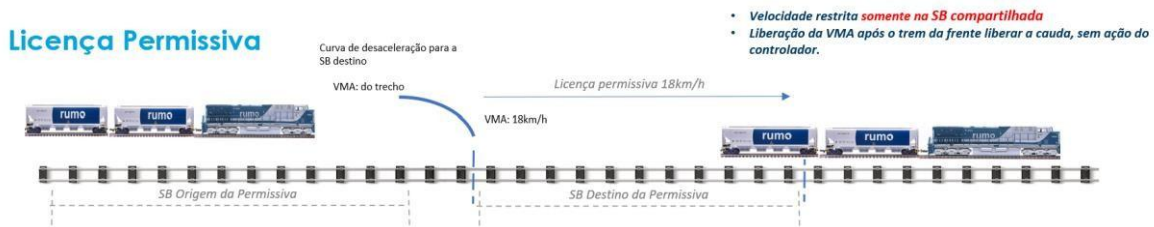


Figura 3 - Diagrama de aproximação com permissiva



Figura 4 - Diagrama de aproximação com e sem licença permissiva

2.2 Visão bordo de locomotiva

A operação com blocos virtuais exige uma inteligência embarcada capaz de gerenciar com precisão a posição e o comportamento do trem ao longo da via. Essa função é desempenhada pelo **computador de bordo da locomotiva**, que é responsável por monitorar continuamente a posição do trem via **GNSS (Global Navigation Satellite System)** e cruzar essas informações com a **tabela de blocos virtuais** carregada no sistema.

Com base na posição do ponto de referência pelo GPS da locomotiva líder, o sistema identifica quais blocos estão **ocupados**, em **aproximação** ou **liberados**, de acordo com a movimentação do trem. A lógica embarcada também estima a posição da cauda com base na velocidade, comprimento declarado do trem e deslocamento em relação ao último ponto conhecido.

A **liberação da cauda**, no entanto, **não ocorre automaticamente**. O sistema de bordo realiza um **cálculo preditivo** e apresenta uma **sugestão de liberação** com base na

estimativa de que a cauda ultrapassou o limite do bloco. Essa sugestão deve ser **validada operacionalmente pelo maquinista**, que realiza a conferência por meio do **equipamento EOT (End-of-Train)** ou por verificação por meio de **locomotiva remota**, nos casos em que há múltiplas unidades distribuídas.

Paralelamente, o **controlador de tráfego programa a licença** no sistema de despacho para o próximo bloco. Essa licença fica **pendente até que a cauda do trem anterior seja validada como liberada**. Somente após essa liberação, o sistema permite que o trem seguinte **receba efetivamente a licença**, garantindo que não haja sobreposição física de ocupação de bloco e mantendo os padrões de segurança operacional.



Figura 5 - Esquema da discretização virtual baseada em latitude/longitude



Figura 6 – Ilustração que faz o exemplo da curva de desaceleração até o bloco licenciado



Figura 7 - Sistema de despacho dividido em blocos de 1km

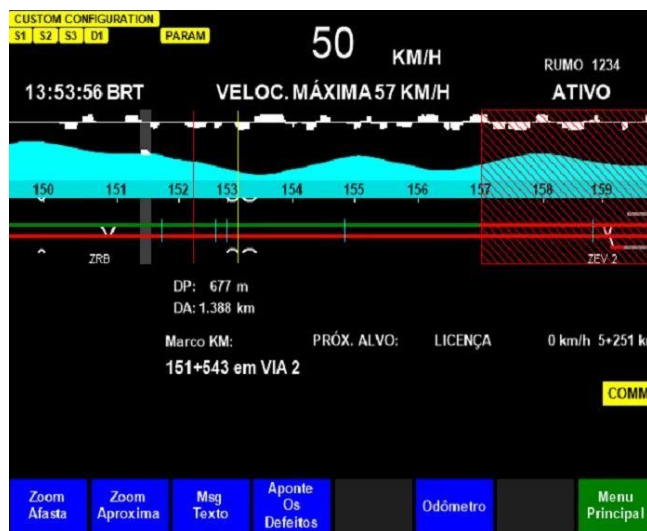


Figura 8 - Curva de desaceleração no bordo

2.3 Implantação Fase 1 – Piloto: Perequê a Paratinga

A primeira etapa consistiu em um projeto piloto realizado no trecho entre Perequê e Paratinga (20 quilômetros de extensão), no qual toda a via foi dividida em blocos virtuais de 1 km. O objetivo foi validar a lógica de segmentação da via e o comportamento do sistema em um ambiente controlado. Nessa fase, foram analisados aspectos como a aproximação segura entre trens, a capacidade da infraestrutura de telecomunicação para lidar com o aumento no volume de mensagens, e a consistência da ocupação e liberação dos blocos em diferentes cenários operacionais. O trabalho conjunto entre as áreas de operação, engenharia e tecnologia foi essencial para ajustar parâmetros e garantir robustez à solução.

2.4 Implantação Fase 2 – Expansão: Visconde do Rio Branco a Paratinga

Na segunda fase, a discretização foi estendida ao trecho entre Visconde do Rio Branco e Paratinga (365 quilômetros). A maior parte da via foi subdividida em blocos de 1 km, exceto em regiões com características operacionais específicas — como fortes rampas ou passagens em nível — que permaneceram com a segmentação anterior. Durante essa etapa,

foram conduzidos testes em campo para validar a curva de desaceleração dos trens e a estabilidade da comunicação entre o sistema embarcado e os sistemas centrais.

2.5 Implantação Definitiva

A fase mais crítica foi a implantação definitiva, que exigiu um esforço coordenado entre todas as áreas da companhia. A transição ocorreu em ambiente operacional ativo, com circulação de trens de outras concessionárias, demandando planejamento minucioso e execução precisa. Foi realizada uma parada operacional de 4 horas, durante a qual foram executados scripts de ativação, reinsersidas manualmente as restrições temporárias de via associadas aos blocos e reconfigurada toda a frota em operação. Como medida de contingência, mais de 70 pendrives foram distribuídos em campo para garantir a atualização do software de bordo. Todos os controladores e maquinistas foram previamente treinados no novo modelo.

2.6 Implantação Fase 4 – Pós-Implantação e Ajustes Finais

Após a implantação, o trabalho conjunto entre as equipes continuou. Foram realizados ajustes pontuais de blocos, baseados na observação da operação em campo. Além disso, foi necessária a atualização do software embarcado do CBL, ampliando a capacidade de gerenciamento e garantindo a correta liberação da cauda dos trens segundo a nova lógica. Essa fase final consolidou a robustez da solução e garantiu a estabilidade do sistema sob a arquitetura virtualizada.

3 Conclusões

A implementação da discretização virtual de blocos pela Rumo representa um marco inédito na história da ferrovia brasileira. Ao substituir blocos físicos extensos por unidades virtuais de 1 km, gerenciadas diretamente pelo computador de bordo da locomotiva, a

companhia eliminou a dependência da licença permissiva — uma prática historicamente vulnerável a riscos — e elevou os padrões de segurança operacional.

Os ganhos são concretos: **aproximação mais segura entre trens, liberação progressiva da via, redução dos intervalos de circulação (headway), melhor aproveitamento da capacidade da malha e controle mais preciso da ocupação da via**, mesmo em ambientes mistos com blocos físicos. A operação passou a ser guiada por dados em tempo real, com sincronização entre bordo e centro de controle, sem necessidade de sensores físicos ou sinalização externa adicional.

Este projeto demonstrou que é possível realizar **mudanças estruturais profundas sem grandes intervenções físicas**, aproveitando o potencial da **inteligência embarcada** e da **infraestrutura de telecomunicação já existente**. A estratégia de implantação em fases — piloto, expansão, implantação definitiva e ajustes posteriores — permitiu validar a solução de forma progressiva, com engajamento das equipes de tecnologia, engenharia e operação em todas as etapas.

Trata-se de uma **inovação pioneira no Brasil**. Nenhuma outra ferrovia nacional opera hoje com controle embarcado de blocos virtuais baseados em coordenadas geográficas, com sugestão de liberação de cauda e concessão de licença vinculada ao despacho digital. A Rumo mais uma vez lidera a evolução tecnológica do setor, trazendo uma solução **escalável, segura e eficiente**, que alia engenharia de sistemas, inteligência operacional e visão de futuro em prol de uma ferrovia mais segura, fluida e moderna.

4 Referências Bibliográficas

RUMO LOGÍSTICA. Regulamento Operacional 2024.

SOUZA, F. et al. Sistemas embarcados para controle ferroviário. Revista Engenharia Ferroviária, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2022.