

Regras de Negócio — PreventAI

Escopo e Objetivos

RN-1 O sistema PreventAI deve suportar a prevenção de falhas em linhas de produção por meio de coleta de dados via sensores, análise de anomalias, emissão de alertas, abertura de ordens de manutenção, cálculo de OEE e estimativa de custos evitados.

Cadastro e Estrutura Operacional

(**SITE**, **LINHA_PRODUCAO**, **MAQUINA**, **SENSOR**, **TIPO_SENSOR**)

RN-1.1 Cada **SITE** deve possuir ao menos uma **LINHA_PRODUCAO**; cada **LINHA_PRODUCAO** pertence exatamente a um **SITE**. (Integridade referencial.)

RN-1.2 Cada **MAQUINA** pertence a uma e somente uma **LINHA_PRODUCAO**.

RN-1.3 Cada **SENSOR** pertence a uma e somente uma **MAQUINA**; seu *tipo* deve ser cadastrado em **TIPO_SENSOR**.

RN-1.4 **TIPO_SENSOR** deve definir *unidade*, *faixa operacional* (*vl_min*, *vl_max*) e *descrição*; leituras fora de faixa devem ser marcadas como *fora_de_especificação*.

RN-1.5 Códigos determinantes (*cd_site*, *cd_linha*, *cd_maquina*, *cd_sensor*, *cd_tipo_sensor*) são únicos e imutáveis após criação.

Telemetria e Mensageria

(**TOPICO_MQTT**, **MENSAGEM_MQTT**, **LEITURA_SENSOR**)

RN-1 Cada **MENSAGEM_MQTT** deve estar associada a um **TOPICO_MQTT** previamente cadastrado e cumprir o *schema* declarado (validado contra *ds_schema*, quando disponível).

RN-2 **LEITURA_SENSOR** pode opcionalmente referenciar a **MENSAGEM_MQTT** de origem; leituras sem envelope devem registrar *ts_leitura*, *cd_sensor* e *vl_medido*.

RN-3 O *payload_json* deve conter *timestamp* (UTC), *identificador do sensor* e *valor*; mensagens sem esses campos são rejeitadas.

RN-4 Leituras duplicadas (mesmo *cd_sensor* + *ts_leitura*) são ignoradas para evitar *double counting*.

RN-5 Leituras geradas em simulação devem ser marcadas com *origem* = “*simulada*”; leituras de chão de fábrica com *origem* = “*real*”.

Deteção de Anomalias

(**ANOMALIA**)

RN-3.1 Toda **ANOMALIA** deve referenciar o **SENSOR** em que foi detectada, com *tp_anomalia*, *score*, *gravidade*, *ts_inicio* e, quando aplicável, *ts_fim*.

RN-3.2 A *gravidade* é classificada em {Baixa, Média, Alta, Crítica} conforme faixas de *score* definidas por política do modelo; alterações nas faixas devem ser versionadas.

RN-3.3 Anomalias sobrepostas no mesmo **SENSOR** e janela de tempo devem ser *consolidadas* (mescla) se o *tp_anomalia* e a *gravidade* forem iguais.

RN-3.4 O fechamento de uma anomalia requer condição de normalização (retorno do sinal à faixa operacional) por janela mínima configurável (ex.: 3 amostras consecutivas normais).

Alertas e Priorização

(**ALERTA**)

RN-4.1 Todo **ALERTA** deve referenciar uma **ANOMALIA** (quando aplicável) e conter *tp_alerta*, *ds_alerta*, *st_alerta*, *prioridade* e *ts_emissao*.

RN-4.2 *prioridade* operacional é derivada da *gravidade* da anomalia e da criticidade da **MAQUINA** (regra de pontuação ponderada).

RN-4.3 Estados válidos de *st_alerta*: {Aberto, Em Atendimento, Suspenso, Resolvido, Cancelado}. Transições inválidas são bloqueadas (ex.: *Resolvido* → *Aberto*).

RN-4.4 Para alertas *Críticos*, é obrigatório definir um responsável operacional no momento da criação.

Manutenção

(ORDEM_MANUTENCAO, ACAO_MANUTENCAO)

RN-5.1 Uma **ORDEM_MANUTENCAO** pode ser aberta a partir de um **ALERTA** (*cd_alerta* opcional) e deve referenciar a **MAQUINA** afetada.

RN-5.2 Estados válidos de OS (*st_os*): {Aberta, Planejada, Em Execução, Aguardando Peça, Concluída, Cancelada}.

RN-5.3 Cada **ACAO_MANUTENCAO** pertence a uma **ORDEM_MANUTENCAO** e deve registrar *ds_acao*, *ts_inicio*, *responsavel_exec* e, quando aplicável, *ts_fim* e *custo_real*.

RN-5.4 Encerramento da OS (*Concluída*) exige: todas as **ACAO_MANUTENCAO** encerradas, causa raiz (*5 porquês* ou equivalente) e teste de retorno à normalidade do sensor.

Paradas e OEE

(EVENTO_PARADA, KPI_OEE)

RN-6.1 Cada **EVENTO_PARADA** deve referenciar uma **MAQUINA**, registrar *ts_inicio*, *ts_fim*, *duracao_min* e *motivo* (quando disponível).

RN-6.2 Paradas críticas relacionadas a **ALERTA** ou **ANOMALIA** devem registrar essa associação para rastreabilidade.

RN-6.3 **KPI_OEE** deve ser calculado por máquina e período de referência (*dt_ref*), armazenando *disponibilidade*, *performance*, *qualidade* e *oee*.

RN-6.4 Paradas planejadas não devem impactar *qualidade*; paradas não planejadas impactam *disponibilidade*.

Impacto Financeiro

(CUSTO_EVIDADO)

RN-7.1 Cada registro de **CUSTO_EVIDADO** deve referenciar **ALERTA** e/ou **ACAO_MANUTENCAO** e registrar *estimativa_valor*, *metodologia*, *moeda* e *ts_registro*.

RN-7.2 A *metodologia* deve referenciar parâmetros auditáveis (ex.: custo hora-máquina, MTTR, custo de peça) e a fonte (*policy* financeira).

RN-7.3 Reestimativas devem manter histórico de versões, sem sobrescrever valores anteriores.

Gamificação

(USUARIO, GAMIFICACAO_EVENTO)

RN-8.1 Pontos de **GAMIFICACAO_EVENTO** são concedidos por ações como: reconhecimento de anomalia real, tempo de resposta ao alerta, correção definitiva confirmada.

RN-8.2 Regras de pontuação devem ser públicas e imutáveis por período competitivo; alterações exigem criação de nova versão da política.

RN-8.3 Eventos de gamificação devem sempre referenciar o **USUARIO** e, quando aplicável, o **ALERTA** relacionado.

IA, xDT e Simulação

(**GEMEO_DIGITAL_MODELO**, **CENARIO_SIMULACAO**, **POLITICA_RL**, **DATASET**, **TREINO_MODELO**)

- RN-9.1 Toda versão de **GEMEO_DIGITAL_MODELO** deve registrar *versao*, *tp_modelo* e *ds_hiperparam* (quando aplicável).
- RN-9.2 Cada **CENARIO_SIMULACAO** deve referenciar o **GEMEO_DIGITAL_MODELO** e a **MAQUINA**, armazenando *parametros_json* e *resultado_json*.
- RN-9.3 **POLITICA_RL** deve indicar *algoritmo*, *versao*, *recompensa_media*, *cd_modelo* e *st_implantada*; somente políticas com testes aprovados podem ser *implantadas*.
- RN-9.4 Cada **TREINO_MODELO** deve referenciar um **DATASET** audível (*nm_dataset*, *fonte*, *num_registros*, *caminho_arquivo*) e registrar *tp_problema*, *algoritmo*, *metricas_json* e *artefato_uri*.
- RN-9.5 Resultados de modelos que afetem operação devem ter *circuit breaker*: ao detectar taxa de erro acima de limiar por janela de tempo, reverter para política anterior estável.

Segurança, Auditoria e Conformidade

- RN-10.1 Eventos críticos (criação/fechamento de **ANOMALIA**, emissão/fechamento de **ALERTA**, abertura/encerramento de **ORDEM_MANUTENCAO**) devem gerar trilha de auditoria contendo *quem*, *quando*, *o quê* e *antes/depois*.
- RN-10.2 Perfis de **USUARIO** devem limitar ações (ex.: Operador pode reconhecer alerta; Engenheiro pode fechar anomalia; Gestor pode aprovar custos evitados).
- RN-10.3 Dados pessoais (ex.: e-mail) devem seguir política LGPD; exportações devem anonimizar campos pessoais quando não estritamente necessários.

Qualidade e Governança de Dados

- RN-11.1 Leituras com *ts_leitura* fora de sincronismo (drift de clock acima do limiar) devem ser marcadas e não podem alimentar KPIs até correção.
- RN-11.2 Amostras faltantes em janelas curtas podem ser *interpoladas* apenas para visualização; cálculos de OEE e modelos não devem usar valores interpolados sem flag explícita.
- RN-11.3 Mudanças de unidade em **TIPO_SENSOR** exigem migração de dados ou *view* de conversão; é vedada a alteração retroativa silenciosa.