

A ESTRUTURA DE RNA – REDE NEURAL ARTIFICIAL APLICADA ÀS PERÍCIAS DE ANÁLISE DE IMPACTOS EM CONTRATOS DE OBRAS E SERVIÇOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Perícia ou Inspeção Predial

RICARDO ALEXANDRE GOIS FERREIRA

João Pessoa - PB
2025

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



A ESTRUTURA DE RNA – REDE NEURAL ARTIFICIAL APLICADA ÀS PERÍCIAS DE ANÁLISE DE IMPACTOS EM CONTRATOS DE OBRAS E SERVIÇOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

RESUMO

As perícias de engenharia para análise de impactos em contratos de obras e serviços de construção civil prescindem da consistência e rastreabilidade de elementos técnicos e registros contratuais, como atualização de cronogramas físico-financeiros e relatórios diários de obras, além da compatibilidade do projeto ao escopo do objeto contratual, sendo comumente observada a carência de boas práticas da Administração Contratual nos contratos de quaisquer naturezas, o que limita a aplicação de métodos tradicionais de referências técnicas como AACE e SCL. Esse foi o mote de desenvolver e propor o método da estrutura de RNA – Rede Neural Artificial em perícias para cálculo de impactos dos desvios de custos e prazos na tomada de decisão e revisão contratual de equilíbrio econômico-financeiro, cujo rigor está baseado na validação da fonte e qualidade do cronograma físico-financeiro *As-Built*, calculado por método retrospectivo da rede lógica de precedência de atividades.

Palavras-chave: Perícia; Custos; Cronograma; Contrato; RNA.

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE REDE NEURAL ARTIFICIAL	5
3. PERÍCIAS DE ENGENHARIA COMO BASE PARA DECISÃO	7
4. A ESTRUTURA DE REDE NEURAL ARTIFICIAL EM PERÍCIAS	11
5. CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS	16

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



1. INTRODUÇÃO

As perícias de engenharia tem seu rigor dependente do nível de maturidade das entregas de definição do projeto, cujas informações precisas, consistentes e rastreáveis possibilitam o exame do programa e seus registros em conformidade aos procedimentos de excelência e requisitos do trabalho.

Ocorre que nos contratos com objeto de engenharia e construção prepondera a deficiência, insuficiência ou, até mesmo, inexistência dos meios de prova derivados da Administração Contratual com melhor nível de informação necessária, o que impede o melhor uso de métodos e técnicas indicadas para demonstrar resultados.

Com isso, novas metodologias baseadas em recursos tecnológicos facilitam o trabalho pericial, desde que aplicadas às informações existentes e validadas pelas partes interessadas, com valor contratual e, logo, servindo de meio de prova pericial, cuja fundamentação técnica se pauta na análise técnica do instrumento contratual e suas ferramentas – projeto, orçamento de engenharia, cronograma físico-financeiro, mesmo que reconstituídos por outros meios igualmente válidos, quais sejam os RDO – Relatório Diário de Obras, BM – Boletim de Medição e demais documentação de caráter bilateral, sem que esteja viciada por viés de conflitos de interesses. O cotejamento de previsto e realizado no objeto contratual, com identificação de eventos ensejadores, nexos causal, cômputo de impactos e definição de responsabilidades, torna-se elemento essencial à constituição da prova pericial e tomada de decisão.

Eventos de interrupção alteração da produtividade e rompimento do equilíbrio econômico-financeiro, definidos na ABNT NBR 13752:2024 – Perícias de engenharia na construção civil, são frequentes na execução de obras de engenharia, tais como:

- i. Interrupção: alterações, perturbações, impedimentos ou interrupções de metodologias ou de métodos empregados no desenvolvimento de um trabalho contratado, afetando a racionalidade construtiva e resultando em menor produtividade dos recursos mobilizados na obra;
- ii. Produtividade: razão entre a quantidade de produtos ou serviços produzidos e a quantidade de recursos utilizados;
- iii. Perda de produtividade: estado de ser menos produtivo ou eficiente que o esperado ou planejado;
- iv. Equilíbrio econômico-financeiro: equação econômico-financeira constituída no momento da celebração do contrato e formada, de um lado, pelas obrigações contratuais assumidas pela contratada e, de outro, pela compensação econômica a ser paga pela contratante, bem como pelo cumprimento de demais obrigações contratuais por esta assumida;
- v. Análise de impactos em contratos de obras e serviços de construção civil: análise técnica de causas e consequências de alterações das condições que fundamentaram a contratação, da não confirmação de premissas, da materialização de riscos ou da ocorrência de fatos supervenientes que possam impactar no escopo, prazo e custo do contrato, com a quantificação dos impactos decorrentes.

Pontos frequentes de motivação de pleitos são associados a eventos de alteração de escopo, deficiências no nível de detalhe e especificação do projeto, restrições ao progresso das atividades e suas durações, paralisações, condições climáticas adversas, falta de recursos, mudanças construtivas, divergência entre documentos contratuais ou leis, fatos supervenientes, casos fortuitos e força maior.

Logo, este artigo propõe uma aplicação de método para cálculo de desequilíbrio econômico-financeiro contratual e a recomposição de direitos e obrigações das partes, de sorte a restaurar a boa-fé objetiva e isonomia dos contratos no setor da construção civil, que apresenta uma diversidade de fatores concorrentes para questões de conflitos, controvérsias e pleitos ao longo do ciclo de vida do empreendimento, cumpridas as exigências técnicas de engenharia, requisitos de qualidade do ativo construído, obrigações ou encargos, direitos contratuais e de arcabouço legal.

2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE REDE NEURAL ARTIFICIAL

A Ciência de Dados tem aplicações das mais diversas, tendo como insumo a base de dados e os processos de captura, tratamento, análise e resultados, o que gera confiabilidade a partir da conjugação com as ciências matemáticas da Probabilidade Estatística, Regressão Linear, Álgebra Linear, Teoria dos Grafos etc.

As redes neurais são técnicas para realizar funções lógicas, aritméticas e simbólicas complexas. Pioneiras na ciência da computação e alinhada à inteligência artificial, uma rede neural representa um modelo formal de neurônios artificiais como uma abstração dos neurônios biológicos. Um dos objetivos primários das redes neurais artificiais é simular, mediante mecanismos formais, o comportamento do cérebro humano.

Um neurônio biológico é uma célula nervosa que possui uma série de ramificações denominadas dendritos, caminhos que transita a informação que provém de outros neurônios. Esta informação se processa dentro do neurônio, que possui um axônio no qual permite, se é pertinente, enviar os resultados até o exterior. Este sinal logo pode ser transmitido através de uma sinapse a outro neurônio.

A estrutura de um neurônio biológico é apresentada a seguir:

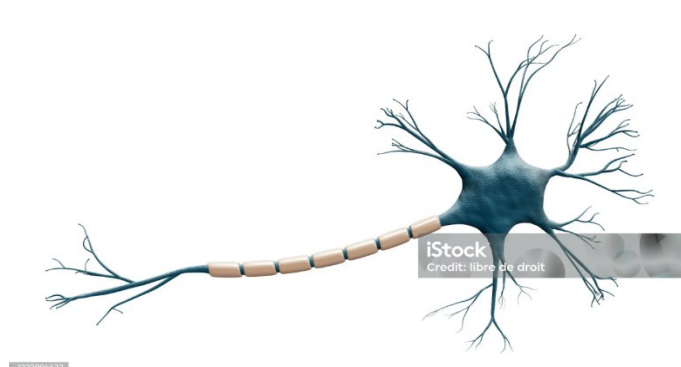


Figura 1: Estrutura de um neurônio biológico (iStock, 2025)

Em um neurônio biológico, os dendritos permitem receber diferentes sinais de outros neurônios. De maneira igual, um neurônio artificial pode receber sinais x_i de vários neurônios. Estes sinais combinam-se em um sinal de entrada única, que se denomina função de ponderação h .

$$h(x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2, \dots, w_n) \quad [1]$$

Onde: x_i – dados de entrada da rede neural artificial
 w_i – pesos afetados pelos sinais externos

Os pesos representam sinapses que ponderam sinais emitidos pelos diferentes neurônios.

Além disso, conta-se com uma função de ativação f que administra o estado do neurônio formal. Se $f \approx 1$, o neurônio está excitado e se $f \approx -1$ ou $f \approx 0$, o neurônio encontra-se em repouso. O ritmo desta função é tal que existe um limite de ativação do neurônio. O neurônio é excitado se recebe um sinal de entrada superior a este limite.

De tal maneira, um neurônio artificial pode ser definido como um modelo que busca emular funções de um neurônio biológico e consiste em:

- i. Um conjunto de entradas x_i e um conjunto de pesos sinápticos w_i , $i = (0, \dots, n)$. A entrada x_0 se atribui o valor +1 com um valor limite de $w_0 = b$. Isso na realidade é n entradas ao neurônio;
- ii. Uma função de ponderação h .

A função de ponderação mais conhecida é a combinação linear das entradas e os pesos sinápticos, ou seja,

$$h(x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2, \dots, w_n) = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad [2]$$

Uma função de ativação y , que representa a saída do neurônio e seu estado de ativação, se define como:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad [3]$$

Um exemplo de neurônio artificial com estrutura formal é:

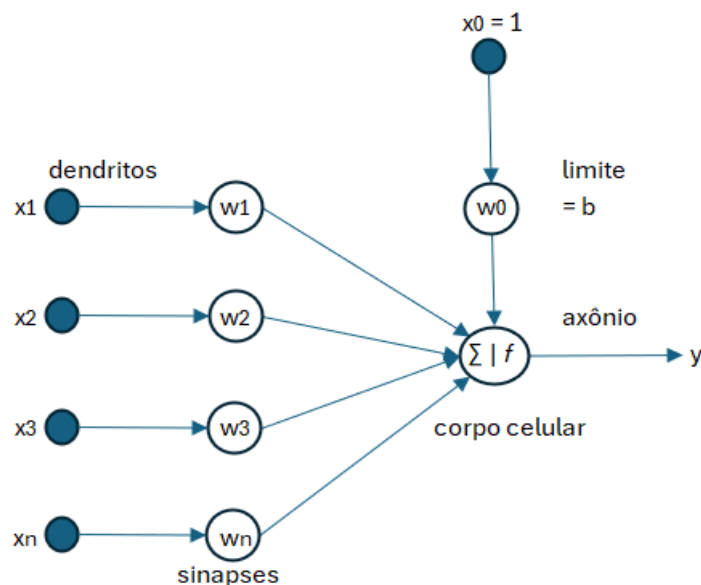


Figura 2: Estrutura formal de um neurônio artificial (Autor, 2025)

Em geral, seja um conjunto de neurônios $\{n_1, n_2, \dots, n_n\}$, no qual cada neurônio n_i caracteriza-se pelas entradas e pesos sinápticos seguintes ($x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2, \dots, w_n$). Então, se define a função de ativação, que calcula as atividades dos neurônios.

$$f(n_i) = f(b_i + \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij}), i = 1, 2, \dots, t \quad [4]$$

Os diferentes tipos de neurônios vão se distinguir por meio do tipo de função de ativação f , sendo tipos mais conhecidos temos: linear, sigmoide, escalonado e tangente hiperbólica.

Os algoritmos baseados em funções de ativação linear e sigmoide são os mais utilizados e adaptados aos algoritmos de aprendizagem.

Por outro lado, uma rede normal se define como um grafo orientado estruturado em camadas, constituído por um conjunto de unidades que tem a missão de realizar cálculos elementares. As camadas possuem a propriedade de intercambiar informação por meio de conexões.

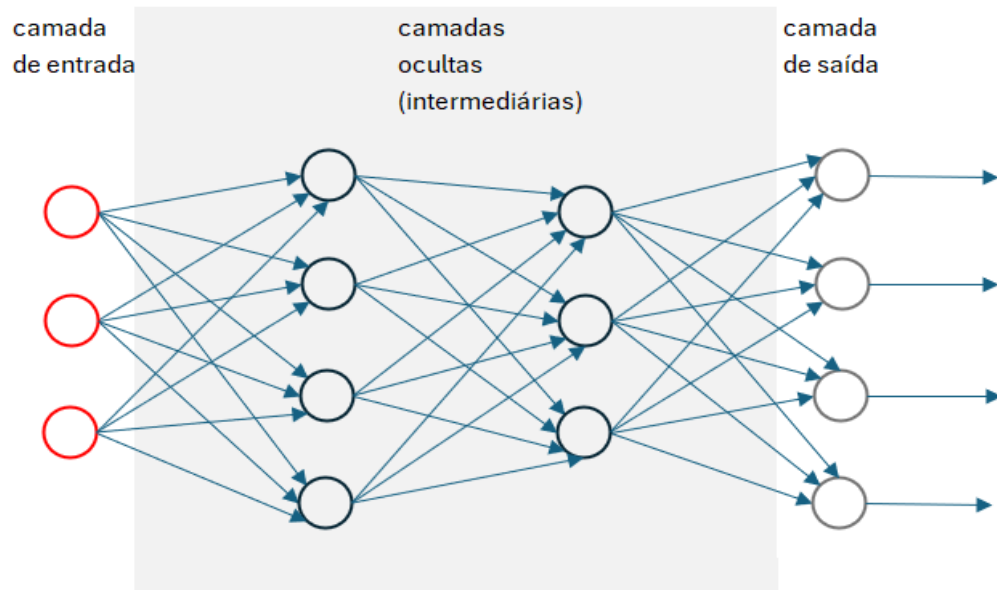


Figura 3: Estrutura de uma rede neural artificial hipotética (Autor, 2025)

Com respeito à aprendizagem de uma rede neural, este conceito é fundamental. Assim, no aprendizado o comportamento da rede modifica-se reiteradamente até que seja alcançado o desejado.

Quando aos algoritmos, em caso de aprendizagem supervisionada, os exemplos que alimentam a rede são pares de formas (entrada, saída-associada), enquanto em caso de aprendizagem não supervisionada não se dispõe de valores de entrada.

3. PERÍCIAS DE ENGENHARIA COMO BASE PARA DECISÃO

No gerenciamento de riscos e incertezas em contratos de engenharia e construção, a distribuição dos riscos das partes contratantes é alocada na Matriz de Riscos ou de Responsabilidades, com encargos e obrigações, dados os eventos e que pode ter a seguinte classificação de categorias gerais:

- i. Riscos de engenharia (ou riscos de construção);
- ii. Riscos normais de projetos de engenharia;
- iii. Riscos de erros de projetos de engenharia;
- iv. Riscos associados a fatos da Administração; e
- v. Riscos associados à álea extraordinária/extracontratual.

Nessa visão, as perícias de engenharia resultam no laudo como meio de prova a partir de fundamentação técnica por métodos, práticas, padrões e normas consagradas, com análise e atribuição do risco. Um dos elementos mais recorrentes em contratos de execução de obras e serviços de engenharia são as análises de impactos, por vezes motivadas por disrupções que alteram a produtividade no canteiro de obras e leva ao pleito de reequilíbrio econômico-financeiro contratual.

Segundo definição da AACE, a produtividade é a “medida relativa quanto à eficiência de mão de obra, boa ou má, comparada a uma base ou norma estabelecida determinada a partir de uma área de grande experiência. Mudanças na produtividade podem acontecer na forma de um aumento ou queda nos custos”.

O fator de produtividade é a relação entre a produtividade real e a linha de base (*baseline*) ou produtividade planejada. Tal mensuração pode ser demonstrada na prática com uso de técnicas de Análise de Valor Agregado, com curva S e indicador de desempenho do projeto. Entretanto, é necessário que haja validação da fonte.

O Cronograma Físico-Financeiro atualizado é a principal base analítica de método comparativo previsto x realizado das obras, fracionado em períodos de execução conforme lista de serviços, sendo elaborado e apresentado pelas partes contratantes, cuja aprovação foi consensual e prévia à consecução das atividades.

A Prática Recomendada da AACE *International* PR 29R-03 – Análise Forense de Cronograma considera a organização e escopo do trabalho em camadas de momento, métodos básicos, métodos específicos, implementação básica e aplicação específica, sendo indicado usar cálculos do CPM – *Critical Path Method* (Método do Caminho Crítico). A validação da fonte (SVP) é outra importante consideração desta PR, que traz os métodos de implementação (MIP). Em resumo tem-se:

- i. Validação da fonte (SVP): cronograma de linha de base, cronograma executado (*As-Built*), atualizações de cronograma, identificação e quantificação de eventos discretos de atraso e problemas;
- ii. Métodos de implementação (MIP): MIP 3.1 – observacional / estático / total, MIP 3.2 – observacional / estático / periódico, MIP 3.3 – observacional / dinâmico / contemporâneo, MIP 3.4 – observacional / dinâmico / contemporâneo dividido, MIP 3.5 – observacional / dinâmico / modificado ou recriados, MIP 3.6 – modelado / aditivo / base única, MIP 3.7 – modelado / aditivo / base múltipla, MIP 3.8 – modelado / subtrativo / simulação única e MIP 3.9 – modelado / subtrativo / base múltipla.

A escolha do método de análise forense de cronograma parte de fatores associados a requisitos contratuais, propósito da análise, informação da fonte disponível e confiável, tamanho da disputa, complexidade da disputa, orçamento da análise forense de cronograma, tempo permitido para análise forense de cronograma, conhecimento do analista forense de cronograma e disponibilidade de recursos, foro para resolução e audiência, necessidades legais ou processuais e costumes e uso de métodos no projeto ou caso.

O propósito da análise exige que o uso forense seja tipificado para casos de extensão de prazo não compensável, atraso compensável, direito a finalização mais cedo, atraso compensável, direito ao bônus se completar mais cedo, interferências sem atraso no projeto e aceleração construtiva.

Já a informação da fonte disponível e confiável requer cronograma base, atualizações do cronograma e registro *As-Built*.

Na análise do impacto na estimativa da perda de produtividade de mão de obra em pelitos de construção, a AACE apresenta a PR 25R-03 na hierarquia dos métodos:

- I. Estudos Específicos de Projeto
 - I.1 Estudo utilizando o método *Measured Mile*;
 - I.2 Análise de Valor Agregado;
 - I.3 Método de amostragem de Trabalho;

- I.4 Método de amostragem usando questionários aplicados a Operários;
- II. Estudos Comparativos de Projeto
 II.1 Estudo de Trabalho Comparável;
 II.2 Estudo de Projeto Comparável;
- III. Estudos Especializados da Indústria
 III.1 Aceleração;
 III.2 Alterações, Impacto cumulativo e Retrabalho;
 III.3 Curva de Aprendizagem;
 III.4 Horas Extras e Trabalho por Turnos;
 III.5 Características do Projeto;
 III.6 Gerenciamento do Projeto;
 III.7 Condições Climáticas;
- IV. Estudos Gerais da Indústria
 IV.1 Guia de Avaliação do Impacto de Modificação do Batalhão de Engenharia do Exército dos EUA;
 IV.2 Associação de Empreiteiros da Área Mecânica da América do Norte;
 IV.3 Associação Nacional de Empreiteiros da Área Elétrica dos EUA;
 IV.4 Guias de Estimativas;
- V. Bases de Custos
 V.1 Método de Custo Unitário Total;
 V.2 Método de custo total modificado de mão de obra;
 V.3 Método de custo total de mão de obra;
- VI. Impacto da Produtividade sobre o Cronograma
- VII. Análise de Impacto sobre o Cronograma.

O fluxo da causa e efeito de impacto cumulativo verificado em disrupções e perdas de produtividades de recursos de mão de obra e equipamentos, segundo a AACE em sua Prática Recomendada PR 130R-23 – Demonstrando o Direito a Pleitos de Impacto Cumulativo em Construção, resume-se a:

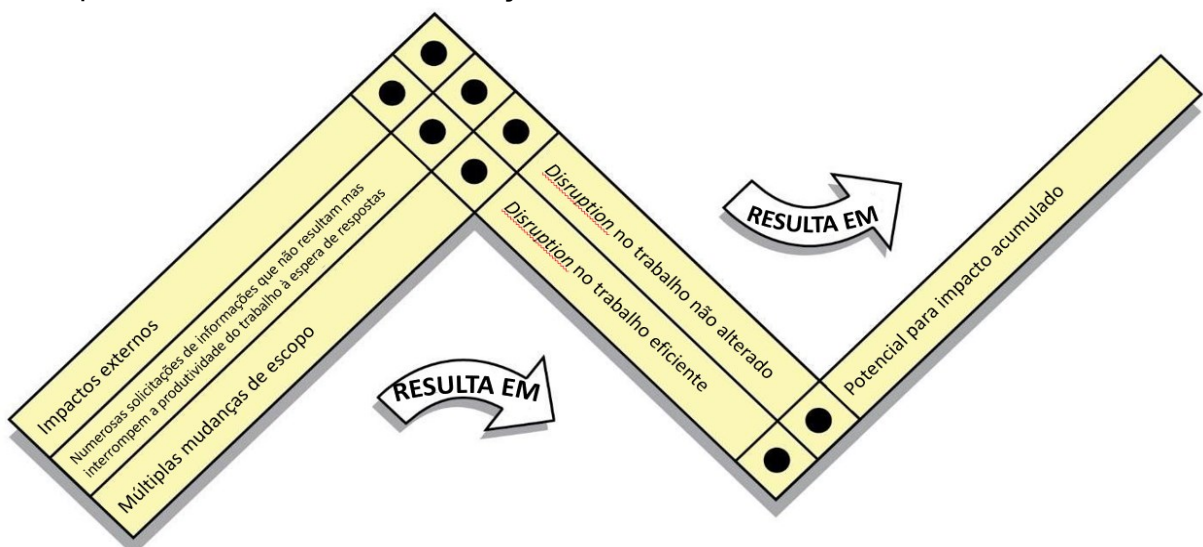


Figura 4: Diagrama de causa e efeito de impacto cumulativo simples (AACE, 2023)

Para definição do método de quantificação de perda produtividade – responsabilidade relativa, igualmente apresentado na PR 130R-23, ordenado a seguir:

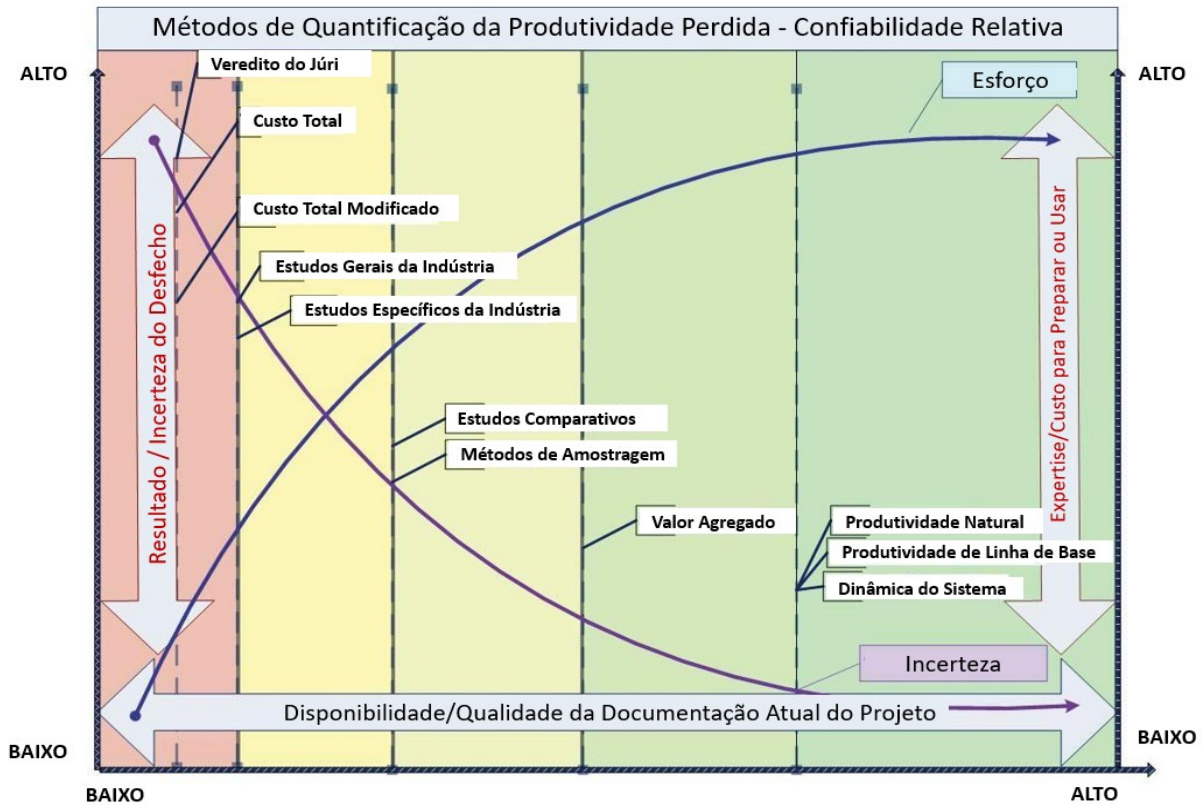


Figura 5: Métodos de Quantificação de Perda de Produtividade – Responsabilidade Relativa (AACE, 2023)

Ocorre que para aplicação dos métodos de quantificação da perda de produtividade, objeto de perícias de engenharia com análise de impacto em contratos por eventos de disrupção, deve-se analisar os elementos de pleitos conforme estipulado no contrato para o regime de execução, método de entrega e arranjos contratuais, seja empreitada, responsabilidade do projeto de engenharia e construção, relação entre o dono da obra, gerenciadora, construtora individual ou consórcio etc.

Dessa forma e de acordo com *Construction Claims & Responses – effective writing & presentation*, o pleito pode ser dirigido por motivação de tipos para variações, alterações ou ordens de mudança, extensão de prazo, pagamento adicional devido à prorrogação, aceleração e disrupção e danos nos termos da lei, além de fatos supervenientes, na álea extraordinária da Teoria da Imprevisão.

O insumo básico da apresentação e análise do pleito é haver informação consistente, registrada e rastreada em documentos contratuais, contemporâneos e bilaterais, que reflitam a realidade dos fatos e tragam a relação do nexos causal, qualificação e quantificação do impacto nos custos, prazos, riscos e qualidade do escopo do objeto contratual. Esse é principal desafio e *mister* do perito de engenharia.

Diante das provas juntadas, tempo disponível e conhecimento técnico do perito, toma-se a decisão sobre a validação da fonte e método a aplicar para quantificação do impacto nos custos e prazos contratuais, que devem ser ajustados ao equilíbrio.

4. A ESTRUTURA DE REDE NEURAL ARTIFICIAL EM PERÍCIAS

O objeto do caso de estudo para aplicação do método de RNA – Rede Neural Artificial na perícia de análise de impactos em contratos de obras e serviços é o pleito de reequilíbrio econômico-financeiro da empreitada por preços unitários para execução de obra de construção de trecho ferroviário com expansão da infraestrutura de transportes na malha nacional, motivado por intercorrências observadas em disrupções e paralisações de obras por fatores de meio ambiente, desapropriação, arqueologia, projetos de engenharia e logística de suprimentos de materiais especiais.

Uma visão de imagem por satélite apresenta a extensão das obras e sua relevância no desenvolvimento da infraestrutura de transportes ferroviário regional.

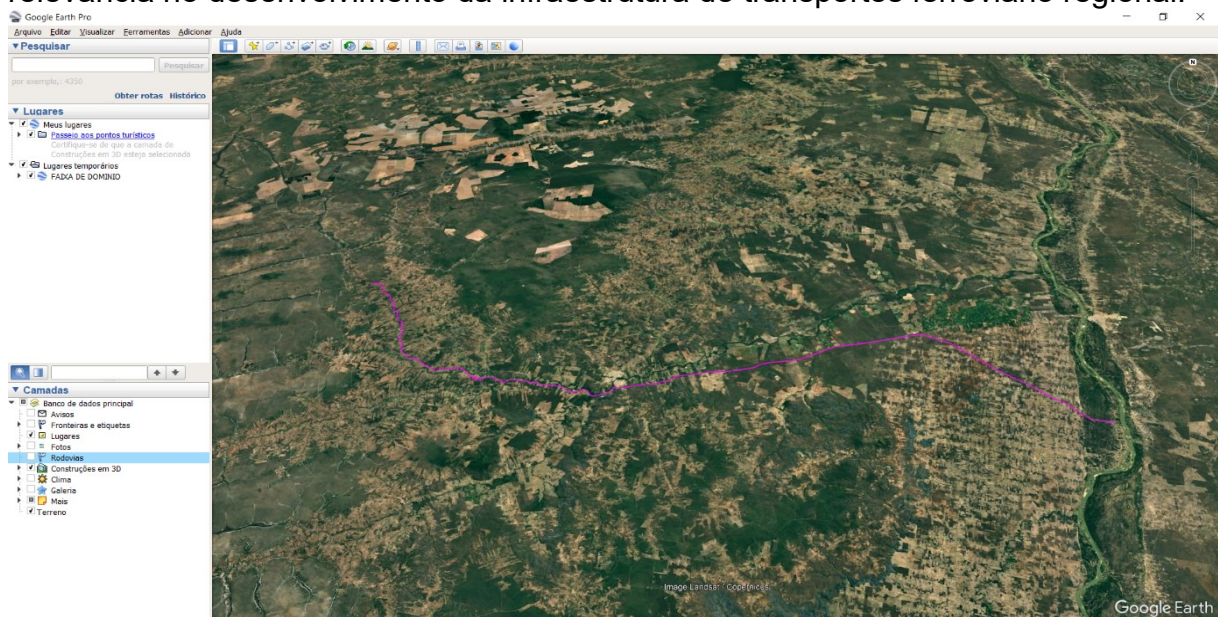


Figura 6: Área de influência das obras de engenharia ferroviária (Google Earth, 2022)

A execução da obra pelo projeto concebido revelou diversas interferências com impacto no escopo, custo, prazo e qualidade, com ajustes contratuais na vigência do instrumento legal que requer gerenciamento de riscos e reequilíbrio das condições:

i. Licenciamento Ambiental: Órgão Ambiental traz exigências técnicas para emissão da Licença de Instalação, além de requisitos para Plano Básico Ambiental, Autorização de Supressão Vegetal e Termo de Compromisso;

ii. Projetos Básico e Executivo de Engenharia: há divergências entre as soluções apresentadas para quantidades e serviços, alterações, inclusões e exclusões;

iii. Desapropriação: verificadas oportunidades de melhorias no cronograma de liberação de áreas para frentes de serviço e processo judicial para que haja implantação do traçado ferroviário;

iv. Arqueologia: parte do levantamento de campo no decorrer da execução das obras, ao invés de anteceder, como recomendado tecnicamente;

v. Auditoria de Controle Externo: Auditoria faz recomendações ao Dono da Obra sobre o empreendimento, com vistas a assegurar a regularidade contratual e repactuação de preços de insumos para dormentes e acessórios ferroviários;

vi. Canteiro de obras: motivado pelo Órgão Ambiental, o Dono da Obra solicita ao Consórcio Executor que haja recuperação ambiental das áreas de intervenção das obras, em especial nos canteiros industriais de produção e faixa de domínio;

vii. Mobilização: há retardo na plenitude da Ordem de Serviço, sendo parcial para os meses iniciais da execução das obras, dada limitação orçamentária;

viii. Paralisação contratual: não se observa consenso entre Dono da Obra e Consórcio Construtor sobre a efetividade da paralisação das obras públicas e sua viabilidade, sendo observados períodos intermitentes e interferências de Meio Ambiente, com suspensão da Licença de Instalação;

ix. Logística de materiais: descoordenação no cronograma de entregas no canteiro de obras dos trilhos e Aparelhos de Mudança de Vias, sob responsabilidade do Dono da Obra e a execução dos serviços pelo Consórcio Construtor;

x. Orçamento Público: disponibilidade parcial comparativamente ao cronograma físico-financeiro das obras contratadas e desembolso previsto;

xi. Pleitos contratuais: observados quatro solicitações formais de ajuste da álea econômica para ajustar pretenso desequilíbrio econômico-financeiro do Consórcio Construtor, sendo a análise demasiada do Dono da Obra, sem resolução.

Não fosse o rol de elementos de interferências físicas e intercorrências administrativas suficiente para demonstração do planejamento precário do projeto, os pleitos do Consórcio Construtor não constam de documentos integrais e consistentes, em especial as memórias de cálculo dos elementos técnicos de engenharia.

Isso remete à adoção de um método de implementação extraordinário à análise forense de cronograma, conforme definido na AACE PR 29R-03, sendo o cronograma *As-Built* elemento técnico essencial para análise do impacto na execução do objeto. A validação da fonte foi realizada a partir da reconstituição das provas documentais pactuadas bilateralmente pelas partes, a saber: RDO – Relatório Diário de Obras e BM – Boletins de Medição, haja vista que o cronograma físico-financeiro contratual não era atualizado mensalmente, o que se prestaria na análise direta pela técnica de EVA – Análise de Valor Agregado, combinada ao GPA – Gerenciamento do Prazo Agregado, uma vez que o método preferível do *Measure Mile* (Produtividade Natural) não se aplica pelo alto grau de disrupção na execução física, com trechos de obras intercalados, o que impossibilita a projeção da produtividade média aos demais.

Dessa forma, a aplicação da estrutura de RNA – Rede Neural Artificial como proposta de método para quantificação do impacto ou dano para ajuste do custo e prazo às condições da proposta, o que confere reequilíbrio econômico-financeiro.

Importante observar que a rede lógica das atividades do cronograma deve ser modelada e calculada para que haja análise do impacto em obras e serviços do caminho crítico, inclusive as intercorrências de licenciamento ambiental, projeto de engenharia, desapropriação, arqueologia, suprimento de materiais especiais, orçamento público e auditoria de controle externo, o que resultou em paralisações e pleitos de reequilíbrio econômico-financeiro contratual.

Para essa rede lógica de precedência e interdependências das atividades foi desenvolvida a técnica visual na forma de grafo em diagrama de flechas ou setas.

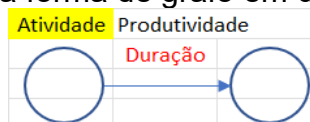


Figura 7: Diagrama de flechas da rede lógica (Autor, 2025)

Logo, a partir dos elementos técnicos do cronograma reconstituído pela documentação probatória de RDO e BM, monta-se o esquema de precedência no Diagrama da Rede PERT-CPM, inclusive o cálculo da produtividade (*takt-time*).

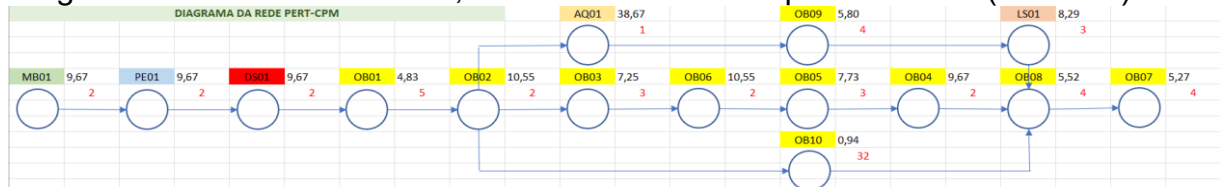


Figura 8: Diagrama de Rede PERT-CPM (Autor, 2025)

Com isso feito, a modelagem da estrutura de RNA aplicada ao caso de estudo é possível, sendo analisada a relação de dependência entre atividades e iterações.

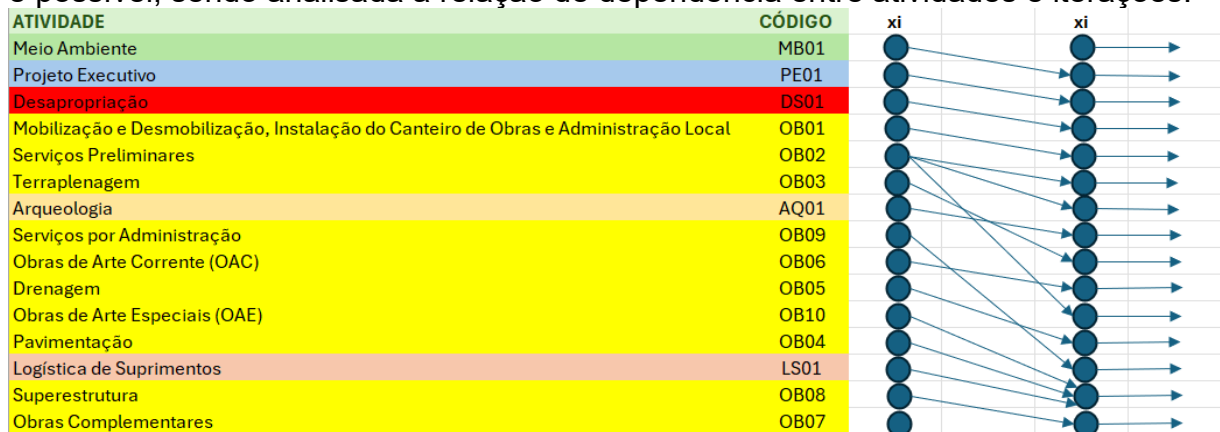


Figura 9: Relação de dependência de atividades na rede (Autor, 2025)

O cálculo dos impactos em custos e prazos pela adoção da estrutura de RNA permite determinar os ajustes para reequilíbrio econômico-financeiro por método de quantificação extraordinário à PR 130R-23, dada a carência de informações nos elementos técnicos, a exemplo do cronograma atualizado com periodicidade mensal tanto para momento observacional quanto modelado, método estático ou dinâmico.

Tabela 1: Cálculo dos impactos em custos e prazos por estrutura baseada em RNA

CÁLCULO DA REDE			iterações		iterações		iterações	
custo planejado	custo realizado	peso custo	delta custo	prazo planejado	prazo realizado	peso prazo	delta prazo	prazo impactado
[R\$]	[R\$]	[]	[R\$]	[mês]	[mês]	[]	[mês]	[mês]
xcp	xcr	dc	ic	xpp	xpr	dp	ip	xpi
R\$ -	R\$ -	0,00%	R\$ 25.788.019,26	12	21	75,00%	0,00	12,00
R\$ -	R\$ -	0,00%		12	18	50,00%	9,00	21,00
R\$ -	R\$ -	0,00%		12	23	91,67%	6,00	18,00
R\$ 8.870.408,90	R\$ 10.104.308,15	13,91%		24	72	200,00%	22,00	46,00
R\$ 6.744.533,82	R\$ 6.744.533,82	0,00%		11	68	518,18%	22,00	33,00
R\$ 149.635.520,17	R\$ 199.643.609,09	33,42%		16	68	325,00%	82,91	98,91
R\$ -	R\$ -	0,00%		3	4	33,33%	15,55	18,55
R\$ 580.031,00	R\$ -	-100,00%		20	0	-100,00%	6,67	26,67
R\$ 36.892.251,00	R\$ 35.309.920,05	-4,29%		11	68	518,18%	35,75	46,75
R\$ 49.808.592,87	R\$ 49.849.228,74	0,08%		15	65	333,33%	77,73	92,73
R\$ 52.173.766,48	R\$ 53.992.292,08	3,49%		16	62	287,50%	82,91	98,91
R\$ 8.363.688,72	R\$ 8.363.688,68	0,00%		12	67	458,33%	40,00	52,00
R\$ -	R\$ -	0,00%		14	24	71,43%	-0,71	13,29
R\$ 210.717.712,25	R\$ 184.658.401,55	-12,37%		21	67	219,05%	96,25	117,25
R\$ 51.324.266,21	R\$ 52.232.808,52	1,77%		22	64	190,91%	48,19	70,19
R\$ 575.110.771,42	R\$ 600.898.790,68						96,25	117,25
			4,48%	valores atribuídos como condição de contorno				

Os métodos comuns do Protocolo da SCL – *Society of Construction Law* para cálculo de atrasos e interrupção são equivalentes à PR 130R-23 da AACE, a saber:

- i. Métodos baseados em produtividade: a) estudos específicos do projeto: análise da produtividade natural, análise de valor agregado, análise de programa, amostragem de trabalho ou mercado e modelagem de sistemas dinâmicos; b) estudos comparativos de projeto; e c) estudos da indústria;
- ii. Métodos baseados em custos: mão de obra estimada vs. incorrida e custo estimado vs. realizado.

Importante identificar o nexo causal seu efeito no impacto de forma individual ou concorrente das partes. Por exemplo se o atraso é classificado como: a) não justificável, b) justificável – compensável ou c) justificável – não compensável, pois isso deve ser associado à Matriz de Riscos na atribuição de obrigações do contrato.

A Matriz de Registro da Administração Contratual a seguir é uma demonstração da viabilidade técnica para adoção do método de quantificação de impacto por estrutura de RNA, quando observadas interrupções, desatualização de cronogramas físico-financeiros executados (*As-Built*) e carência de documentos técnicos basilares.

Tabela 2: Matriz de Registro da Administração Contratual

MATRIZ DE REGISTRO DA ADMINISTRAÇÃO CONTRATUAL				
ID	FASE	EVIDÊNCIA DOCUMENTAL	CONSISTÊNCIA	ANÁLISE DE CONFORMIDADE
01	Planejamento	Estudo de Viabilidade Técnica-Econômica	☒	Documento inexistente
02	Planejamento	Plano de Execução do Projeto - Construtibilidade	☒	Falta compatibilização técnica
03	Planejamento	EAP - Estrutura Analítica do Projeto (Custos, Riscos e Pacotes)	☒	Documento inexistente
04	Contratação	Projetos de Engenharia	☒	Inconsistência em quantidades
05	Contratação	Especificações Técnicas	☒	Caderno Técnico - Anexo
06	Contratação	Matriz de Riscos	☒	Documento inexistente
07	Contratação	Edital de Licitação e Anexos	☒	Formalidade contratual e legal
08	Contratação	Termo de Referência	☐	Regime de execução dispensa
09	Contratação	Esclarecimento do certame licitatório	☒	Formalidade contratual e legal
10	Contratação	Orçamento-Base	☒	Formalidade contratual e legal
11	Contratação	Cronograma-Base	☒	Gráfico de Gantt sem rede lógica
12	Contratação	Seguros e Garantias	☒	Formalidade contratual e legal
13	Contratação	Propostas técnico-comerciais	☒	Proposta técnica deficiente
14	Contratação	Composições Analíticas de Preços Unitários	☒	Interferências não cadastradas
15	Contratação	Composição de Encargos Sociais e Complementares	☒	Formalidade contratual e legal
16	Contratação	Composição de BDI - Benefícios e Despesas Indiretas	☒	Documento inexistente
17	Contratação	Levantamento Cadastral	☒	Interferências não cadastradas
18	Execução	Contrato, Termos Aditivos e Anexos	☒	Formalidade contratual e legal
19	Execução	Cronograma Físico-Financeiro	☒	Documento inexistente
20	Execução	Histograma de recursos - mão de obra e equipamentos	☒	Documento inexistente
21	Execução	RDO - Relatório Diário de Obras (inclusive meteorologia)	☒	Preenchimento sem critério objetivo
22	Execução	Relatório Fotográfico da Execução da Obra	☒	Sem organização sistêmica de dados
23	Execução	Relatório de Planejamento e Controle da Execução da Obra	☒	Informações insuficientes
24	Execução	Boletins de Medição Contratual	☒	Serviços sem previsão contratual
25	Execução	Registro de interferências na produtividade dos recursos	☒	Documento inexistente
26	Execução	Relatório de não conformidades construtivas (qualidade)	☒	Informações insuficientes
27	Execução	Atas de reunião, correspondências e notificações	☒	Sem organização sistêmica de dados
28	Execução	Documentos administrativos (folha de pagamento e fiscal)	☒	Sem organização sistêmica de dados
29	Execução	Projetos <i>As-Built</i> (Como Construído)	☒	Documento inexistente
30	Execução	Manual do Proprietário (<i>data-book</i>)	☒	Documento inexistente
NOTA			LEGENDA	
i. Lista não exaustiva e organizada conforme natureza do projeto			☒	Documentação entregue
ii. Os requisitos de informações do projeto devem ser definidos no Planejamento			☒	Documentação entregue
iii. Desconsiderada a fase de Operação e Manutenção (escopo de outro contrato)			☒	Documentação inexistente
iv. Atividades podem ser conduzidas no Gerenciamento da Obra			☐	Documentação não aplicável
v. Não se observou meios alternativos de resolução de disputas			☒	Documentação pendente ou precária

5. CONCLUSÃO

As perícias de engenharia para análise de impacto em contratos de obras e serviços de construção civil são embasadas em documentos, instrumentos, métodos e técnicas que possibilitem comprovar informações precisas, consistentes e rastreáveis, em conformidade aos procedimentos de excelência e requisitos do trabalho exigidos na ABNT NBR 13752 – Perícias de engenharia na construção civil.

Isso promove o devido zelo e independência para tomada de decisão pautada em critérios técnicos, principalmente considerando que os contratos de engenharia e construção são normalmente complexos e incompletos quanto à sua previsibilidade, com riscos e incertezas relacionadas aos eventos de interrupção alteração da produtividade e rompimento do equilíbrio econômico-financeiro, ainda mais quando boas práticas de Administração Contratual não são aplicadas na organização e compartilhadas entre as partes interessadas contratantes.

Dessa sorte, métodos adotados em referências consagradas são desejáveis para que haja uniformidade técnica e busca de consenso nos trabalhos periciais, como notados nas Práticas Recomendadas da AACE e Protocolo da SCL, além das recomendações da citada norma técnica para perícias de engenharia da ABNT.

Porém, a deficiência ou até mesmo ausência de registros da execução contratual impossibilitam a análise documental de acordo com as referências técnicas, sendo necessária uma reconstituição do cronograma físico-financeiro real, com rede lógica de precedência e análise das atividades no caminho crítico, sendo a função de ativação y da RNA – Rede Natural Artificial, com a função de ponderação h calculada pelos desvios relativos aos valores previstos e realizados, seja para custos e prazos.

O resultado do cálculo da rede no caso de estudo para custos é a soma das parcelas de cada atividade e seu respectivo peso, correspondendo a um reequilíbrio de R\$ 25.788.019,26 (4,48%). Já para os prazos, há cálculo do valor impactado a partir da relação de atividades predecessoras, que deve ser somado ao prazo planejado para extensão de prazo total. Observar que há a necessidade de atribuir as responsabilidades, inclusive concorrentes para as partes contratantes, vinculando os eventos de alteração da condição original contratada a seus impactos. Da mesma forma, os desvios de prazos devem ser analisados quanto à classificação: a) não justificável, b) justificável – compensável ou c) justificável – não compensável.

Com isso, este artigo propõe uma aplicação de método para revisão e cálculo do equilíbrio econômico-financeiro contratual, com recomposição de direitos e obrigações das partes baseada numa estrutura de RNA aplicada ao cronograma *As-Built* de uma rede PERT-CPM e reconstituído por anotações dos RDO – Relatórios Diários de Obras e BM – Boletins de Medição, fins calcular o impacto de alterações em custos e prazos das condições originais do escopo.

Como resultados práticos do método proposto, pode haver aplicação em contratos de obras e serviços de engenharia e construção, principalmente quando há interrupções, alterações de produtividades das equipes, carência de elementos técnicos de registros e cronogramas sem atualização periódica para identificar eventos ensejadores de impactos nos custos e prazos, como demonstrado na Matriz de Registro da Administração Contratual.

Tal método possibilita a reconstituição de cronogramas físicos-financeiros ou executivos *As-Built* com estruturação da rede lógica de precedência para entrada da RNA, de modo retrospectivo, mesmo com poucos elementos técnicos, como RDO e BMs, documentos bilaterais e expressam o princípio da boa-fé objetiva dos contratos.

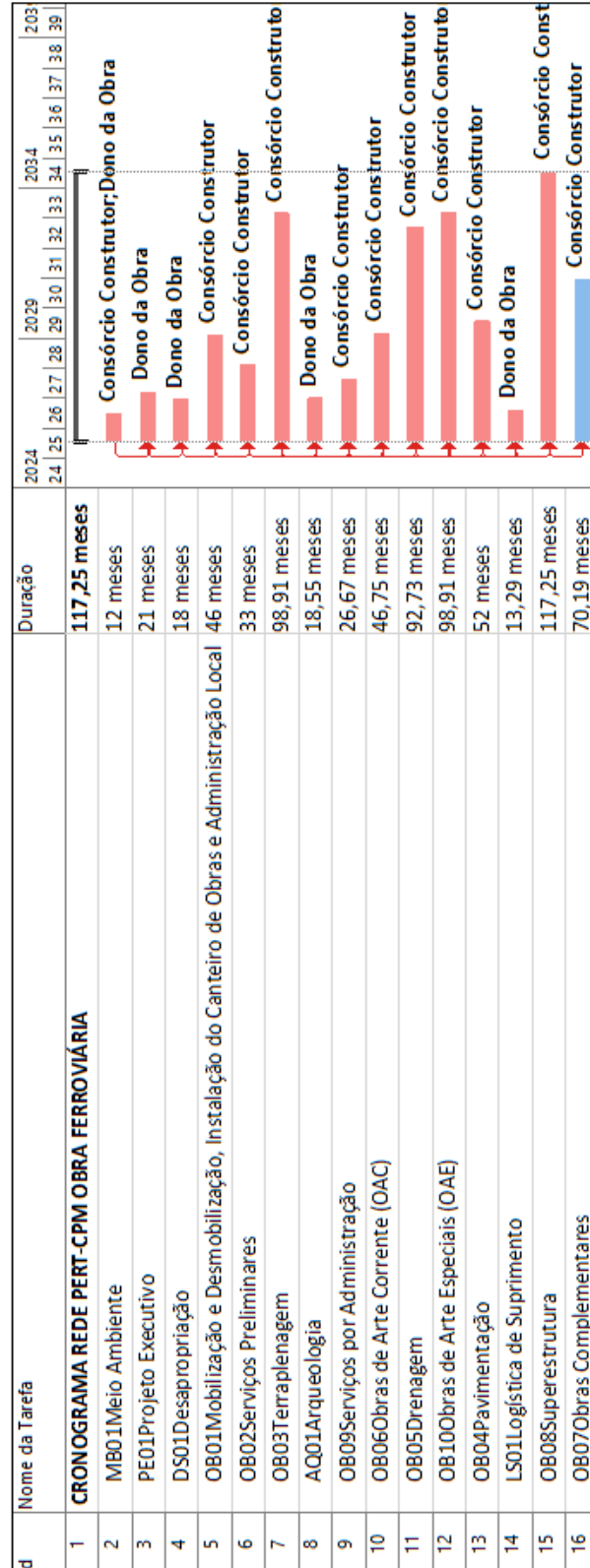
Como recomendações para contribuição em trabalhos futuros tem-se:

- i. A aplicação das boas práticas de Administração Contratual favorece a qualidade de registros, prevenção e solução de disputas;
- ii. O planejamento e controle de projetos com gerenciamento de riscos agrega valor às partes interessadas, o que deve ser encarado como investimento, com indicadores contemporâneos à tomada de decisão;
- iii. Os métodos de implementação consagrados da AACE e SCL podem ser somados ao método proposto da estrutura de RNA aplicada à análise de impactos em contratos de obras e serviços de construção civil;
- iv. A validação da fonte é uma atividade relevante no trabalho pericial, sendo tratados os cronogramas da linha de base (previsto) e *As-Built* (realizado), inclusive atualizações, identificação, vinculação e quantificação de eventos discretos de atrasos e problemas, inclusive atribuição de responsabilidades isoladas ou concorrentes;
- v. A Matriz de Registro da Administração Contratual pode ser adotada no metaprocesso de contratação, com ênfase na evolução dinâmica do Plano de Execução do Projeto, atualização do cronograma físico-financeiro contratual, anotações nos RDO – Relatórios Diários de Obras, compatibilidade do Projeto de Engenharia e adoção da Matriz de Riscos;
- vi. A base de dados de contratos classificados por natureza, tipologias, regimes de execução e métodos de entrega melhoram o treinamento e precisão do algoritmo para cálculo da RNA – Rede Natural Artificial, que pode ser usada igualmente em modelos de predição para estudos de viabilidade técnico-econômico e aprovação de projetos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING. **Predicting Construction Cash Flow**. Croatia: AACE Croatia Section, 2025.
- ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING. **Prática Recomendada 25R-03 – Como Estimar a Perda de Produtividade de Mão de Obra em Pleitos de Construção**. USA: AACE International, 2004.
- ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING. **Prática Recomendada 29R-03 – Análise Investigativa de Cronograma**. USA: AACE International, 2011.
- ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING. **Recommended Practice 130R-23 – Demonstrating Entitlement to Cumulative Impact Claims in Construction**. USA: AACE International, 2023.
- ALVARADO. Carlos González. **Ciencia de Datos**. San José Editora Tecnológica de Costa Rica, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13752 – Perícias de engenharia na construção civil**. São Paulo: ABNT, 2024.
- CARSON, Christopher W. PALMER, Glen R. **The Ten Best Project Management Approaches to Avoid Claims**. USA: AACE USA Section, 2016.
- HEWITT. Andy. **Construction Claims & Responses – effective writing & presentation**. UK: Wiley-Blackwell, 2011.
- SOCIETY OF CONSTRUCTION LAW. **Delay and Disruption Protocol**. UK: SCL, 2017.

APÊNDICE 2 – CRONOGRAMA FÍSICO IMPACTADO



APÊNDICE 3 – LAST PLANNER SYSTEM – TAKT-TIME E PRODUTIVIDADE

LPS - LAST PLANNER SYSTEM - TAKT-TIME PLANNING (TTP) E REDE DE PRECEDÊNCIA										
Equipe ou Atividade	Unidades de Serviço por Área	Produtividade Média (distribuição normal)	Produtividade Real (impactada)	Unidade []	Equipes	Duração Prevista [mês]	Duração Real [mês]	Tempo de Ciclo [dia]	Execução Mensal Prevista	Execução Mensal Real
OB01	116	4,83	1,61	km/mês	1	24	72	5	4,17%	1,39%
OB02	116	10,55	1,71	km/mês	1	11	68	2	9,09%	1,47%
OB03	116	7,25	1,71	km/mês	1	16	68	3	6,25%	1,47%
OB04	116	9,67	1,73	km/mês	1	12	67	2	8,33%	1,49%
OB05	116	7,73	1,78	km/mês	1	15	65	3	6,67%	1,54%
OB06	116	10,55	1,71	km/mês	1	11	68	2	9,09%	1,47%
OB07	116	5,27	1,81	km/mês	2	22	64	2	4,55%	1,56%
OB08	116	5,52	1,73	km/mês	2	21	67	2	4,76%	1,49%
OB09	116	5,80	N/A	km/mês	1	20	0	4	5,00%	N/A
OB10	15	0,94	0,24	un/mês	15	16	62	32	6,25%	1,61%
MB01	116	9,67	5,52	km/mês	1	12	21	2	8,33%	4,76%
DS01	116	9,67	5,04	km/mês	1	12	23	2	8,33%	4,35%
AQ01	116	38,67	29,00	km/mês	1	3	4	1	33,33%	25,00%
PE01	116	9,67	6,44	km/mês	1	12	18	2	8,33%	5,56%
LS01	116	8,29	4,83	km/mês	1	14	24	3	7,14%	4,17%
								Takt Time		
								5		
Ferrovia	116	km								
Pontes	15	un								
n	valor atribuído como condição de contorno									
mês	22	du								

APÊNDICE 4 – CÓDIGO DE EVENTOS INTERCORRENTES DO PROJETO

EVENTOS DE INTERCORRÊNCIAS OBSERVADAS NO CONTRATO DE EXECUÇÃO DAS OBRAS POR EMPREITADA	
CÓDIGO	ATIVIDADE
OB	OBRAS
OB01	Mobilização e Desmobilização, Instalação do Canteiro de Obras e Administração Local
OB02	Serviços Preliminares
OB03	Terraplenagem
OB04	Pavimentação
OB05	Drenagem
OB06	Obras de Arte Corrente (OAC)
OB07	Obras Complementares
OB08	Superestrutura
OB09	Serviços por Administração
OB10	Obras de Arte Especiais (OAE)
PO	PARALISAÇÃO DE OBRAS
PO01	Meio Ambiente
PO02	Desapropriação
PO03	Arqueologia
PO04	Projetos de Engenharia
PO05	Logística de Suprimentos de Materiais Especiais - Dormentes, Trilhos e AMVs
MB	MEIO AMBIENTE
MB01	Licença Prévia
MB02	Licença de Instalação
MB03	Licença de Operação
DS	DESAPROPRIAÇÃO
DS01	Desapropriação
AQ	ARQUEOLOGIA
AQ01	Arqueologia
PE	PROJETOS DE ENGENHARIA
PE01	Projeto Executivo
LS	LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS DE MATERIAIS ESPECIAIS - TRILHOS E AMVS
LS01	Logística de Suprimento
PC	PLEITOS CONTRATUAIS
PC01	Pleitos Contratuais
AE	AUDITORIA EXTERNA
AE01	Auditoria Externa

APÊNDICE 5 – MATRIZ DE RESPONSABILIDADES DO PROJETO

MATRIZ DE RESPONSABILIDADES DO PROJETO		
CÓDIGO	ATIVIDADE	RESPONSÁVEL
OB	OBRAS	CONSÓRCIO EXECUTOR
PO	PARALISAÇÃO DAS OBRAS	PARTES INTERESSADAS
MB	MEIO AMBIENTE	PARTES INTERESSADAS
DS	DESAPROPRIAÇÃO	DONO DA OBRA
AQ	ARQUEOLOGIA	DONO DA OBRA
PE	PROJETOS DE ENGENHARIA	DONO DA OBRA
LS	LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS DE MATERIAIS ESPECIAIS - TRILHOS E AMVS	DONO DA OBRA
PC	PLEITOS CONTRATUAIS	PARTES INTERESSADAS
AE	AUDITORIA EXTERNA	PARTES INTERESSADAS

