Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICAL NA ELABORAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE REQUISITOS EM LINGUAGEM NATURAL PARA LÓGICA FORMAL

Use of artificial intelligence in the development and interpretation of requirements in natural language for formal logic

Kátia Alves Barcelos
UFRGS | Porto Alegre, RS | katia.barcelos@gmail.com

Eduardo Luis Isatto
UFRGS | Porto Alegre, RS | isatto@ufrgs.br

RESUMO

O relançamento do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), por meio da Portaria nº 725/2023, trouxe uma significativa ampliação dos requisitos normativos para projetos habitacionais. A verificação manual desses requisitos tem se mostrado morosa e sujeita a erros, especialmente devido à complexidade e ambiguidade da linguagem natural presente nas normas técnicas. Este estudo explora o uso de ferramentas de inteligência artificial (IA), com foco em Processamento de Linguagem Natural (PLN), para apoiar a etapa inicial da Verificação Automatizada de Conformidade (ACC): a interpretação e estruturação de requisitos em lógica formal. Sentenças da Portaria foram submetidas a três modelos de IA (ChatGPT, Gemini e DeepSeek), e seus resultados foram analisados quanto à fidelidade, coerência e ambiguidade. Os testes demonstraram que pequenas alterações na redação normativa podem melhorar significativamente a qualidade da formalização lógica. Conclui-se que a IA pode ser uma aliada na elaboração de normas mais claras e verificáveis, contribuindo para maior eficiência e transparência no processo de conformidade.

Palavras-chave: Verificação Automatizada de Conformidade, Inteligência Artificial, Lógica Formal, BIM, Linguagem Natural, PMCMV.

ABSTRACT

The relaunch of Brazil's Minha Casa Minha Vida (PMCMV) housing program through Ordinance No. 725/2023 introduced a significant expansion in project regulatory requirements. Manual compliance verification has proven to be time-consuming and error-prone, particularly due to the complexity and ambiguity of natural language in technical standards. This study investigates the use of artificial intelligence (AI), focusing on Natural Language Processing (NLP), to support the initial stage of Automated Compliance Checking (ACC): the interpretation and structuring of requirements into formal logic. Selected clauses from the ordinance were submitted to three AI models (ChatGPT, Gemini, and DeepSeek), and the outputs were analyzed in terms of logical accuracy, coherence, and ambiguity. The findings indicate that small adjustments in the normative language can significantly improve the quality of logical formalization. The study concludes that AI can assist in drafting clearer and more verifiable regulatory texts, enhancing the efficiency and transparency of compliance processes.

***Keywords**: Automated Compliance Checking, Artificial Intelligence, Formal Logic, BIM, Natural Language, PMCMV.*

1 INTRODUÇÃO

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), foi lançado em 2009 e, naquela oportunidade, o Ministério das Cidades disponibilizou requisitos mínimos para o projeto (Caixa Econômica Federal, 2009; Caixa Econômica Federal apud Barcelos, 2011, p. 257-261), que eram simplificados, trazendo especificações da casa ou apartamento e apenas listando os itens de infraestrutura que deveriam estar presente no empreendimento. Com isso, o Ministério as Cidades representado pela Caixa Econômica Federal (CEF), como proprietário e especificador, conceitos dados pela NBR 19650/2022 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024a), permitia uma extensa liberdade projetiva aos profissionais das construtoras.

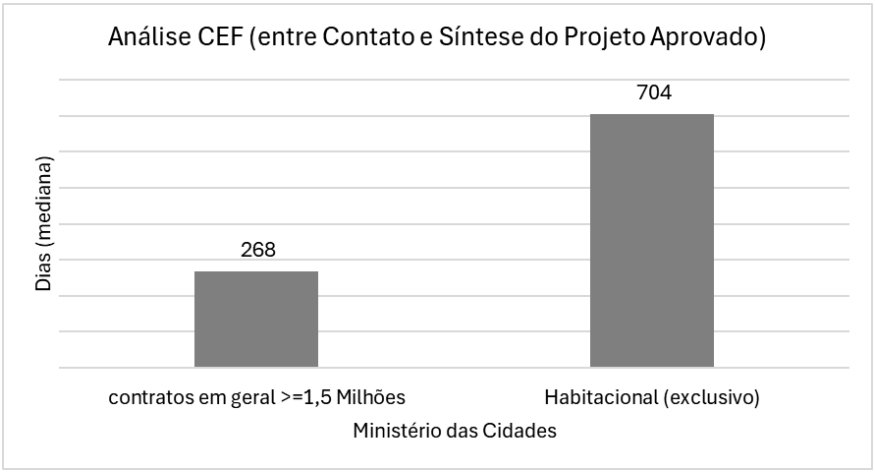
Entretando, no relançamento do PMCMV em 2023, o Ministério das Cidades, através da Portaria nº 725/2023, estabeleceu uma vasta gama de requisitos de projetos que devem ser seguidos pelos projetistas das construtoras (Brasil. Ministério das Cidades, 2023). Segundo a CEF, esta alteração se deve aos fatores: “experiência do governo, da caixa e outros participantes com o PMCMV, estudos acadêmicos e cooperações

[1]BARCELOS, K. A.; ISATTO, E. L. Uso da Inteligência Artificial na Elaboração e Interpretação de Requisitos em Linguagem natural para Lógica Formal. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

técnica nacional e internacional sobre o tema, adequações alinhadas aos ODS (objetivos de desenvolvimento sustentável) e à agenda 2030 da ONU" (Caixa Econômica Federal, 2023, p. 16).

Segundo o fluxo de contratação, a CEF recebe a documentação e realiza as análises jurídica, de engenharia, trabalho social, risco, conformidade e outras, com prazo previsto de 150 dias para a contratação (Caixa Econômica Federal, 2023, p. 16). Entretanto, o prazo decorrido é muito maior, como pode-se observar no gráfico da Figura 1, sendo mais de 260% acima do que foi apurado para os contratos em geral.

Figura 1 - Prazos de Análise da CEF para o Ministério das Cidades



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Controladoria Geral da União (2024)

Soliman Junior et. al. (2021) destacam que a abordagem manual de verificação de projetos, está mais suscetível a erros. Os autores comentam que, documentos regulatórios ou estatutários, são produzidos, lidos e interpretados por pessoas, com expressões complexas que contêm múltiplas camadas de conhecimento implícito; os requisitos regulatórios são indeterminados, que dependem do contexto para sua melhor interpretação; tem muitos sentidos, são imprecisos e ambíguos.

Eastman *et al.* (2009) dividem o processo de verificação automatizada em quatro etapas: interpretação e estruturação das regras; definição de parâmetros do modelo; execução das regras; e relato dos resultados. Essa divisão do processo permite uma melhor compreensão das etapas envolvidas na verificação automatizada e como as regras são aplicadas para garantir a conformidade (Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda, 2018).

Diante desse contexto, o estudo propõe o uso de inteligência artificial (IA), especificamente a aplicação de técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN) e lógica formal, para apoiar a etapa inicial da Verificação Automatizada de Conformidade (ACC), que é a etapa de interpretação e estruturação das regras normativas. Desta forma, se vai ao encontro de uma das ações estratégicas do Poder Público brasileiro, para utilizar a IA na melhoria dos seus processos (Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021).

2 VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE CONFORMIDADE (ACC)

Para alguns autores, a verificação manual de conformidade é morosa, em comparação com a verificação automatizada (Sacks *et al.*, 2021; BuildingSmart International, 2023; Azenha *et al.*, 2023; Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda, 2018;). Parte dos requisitos, podem ser traduzidos em linguagem computacional para a verificação automatizada de conformidade (*Automated Compliance Checking* - ACC), entretanto, a automação não alcança todos os requisitos de projeto, ficando a cargo dos profissionais as análises que demandem decisões complexas, as quais não podem ser automatizadas (Gualberto, Couto e Azenha, 2020).

A verificação automatizada de conformidade (ACC) tem ganhado crescente atenção por conta do seu potencial para aumentar a eficiência e garantir a conformidade em projetos da indústria da construção (Zhoua *et al.*, 2022; Xue e Zhang, 2022; Barbosa e Costa, 2020). Soliman Junior et al. (2018) utilizaram a verificação automatizada para unidades de saúde, com o uso do modelador Revit e do verificador Solibri

Model Checker. Santos e Sampaio (2023), utilizaram a metodologia Requirements, Applications, Selections and Exceptions (RASE) e a traduziram para o formato JSON, por meio do Dynamo, no Revit. Códigos de incêndios foram objetos de estudo de Kater e Ruschel (2020), com uso do Solibri.

Assim, observa-se que o uso do BIM (Building Information Modelling) tem potencial para aprimorar o ACC, oferecendo informações detalhadas sobre o projeto em um modelo (Sobhkhiz *et al.*, 2021). O formato IFC (Industry Foundation Classes) contribui para a interoperabilidade, permitindo a troca de dados entre diferentes sistemas BIM (Malsane *et al.*, 2015; Sobhkhiz *et al.*, 2021). A verificação semiautomatizada ou automatizada de regras, em conjunto com a interoperabilidade no processo BIM tem grande relevância para garantir a troca de dados entre as mais variadas aplicações ou softwares, proporcionando estabilidade ao fluxo de trabalho e possibilitando a automação (Sacks *et al.*, 2021).

Entretanto, a representação de restrições geométricas e topológicas complexas nos modelos IFC ainda apresenta desafios significativos (Zhang *et al.*, 2023). A incorporação de regras baseadas em desempenho e restrições espaciais complexas é outro desafio em aberto (Wang *et al.*, 2023; Zhoua *et al.*, 2022). Além disso, a qualidade e a completude das informações nos modelos BIM são fundamentais para garantir verificações confiáveis (Jiang, Shi e Wang, 2022).

Tais modelos são constituídos por conjuntos (contêiners) de informações que podem ser do tipo estruturadas ou não-estruturadas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024a). O conjunto de informações estruturadas se apresentam na forma de “modelos geométricos, tabelas e base de dados” (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024a) e, segundo Hooper e Bolpagni (2021), são aquelas legíveis por computador e passíveis de consultas, que podem ser objeto de verificação automatizada de conformidade. Enquanto as não-estruturadas, são aquelas que precisam ser interpretadas por uma pessoa e se apresentam como “desenhos, relatórios, imagens, gravações de som e vídeos [tradução livre]” (Hooper e Bolpagni, 2021, p. 48).

Um dos principais desafios da ACC, é a conversão de textos em linguagem natural, regulatórios, legais e de manuais, para uma linguagem computacional compreensível pelas máquinas (Zhoua *et al.*, 2022; Malsane *et al.*, 2015). Estudos que aplicam Processamento de Linguagem Natural (NLP) enfrentam dificuldades devido à ambiguidade inerente da linguagem humana (Zhoua *et al.*, 2022; Sydora e Stroulia, 2020; Zheng *et al.*, 2022; Ren *et al.*, 2024).

A extração de padrões nas regras é complexa, exigindo experiência e raciocínio indutivo, “na etapa de interpretação de regras, onde [...] se descobrem suposições ocultas, dependências, ambiguidades e exceções para definir os requisitos exatos”, mas é essencial para aumentar a cobertura e eficiência na implementação dessas regras (Solihin e Eastman, 2015, p. 70). A representação das regras deve considerar termos como "deve", "pode" e "proibido" para refletir corretamente as exigências normativas (Zhoua *et al.*, 2022). Algumas diretrizes regulamentares possuem interpretações subjetivas, exigindo o desenvolvimento de métodos específicos para lidar com essa variabilidade (Santos e Sampaio, 2023).

As regras podem ser classificadas com base na sua complexidade e capacidade de serem implementadas em software (Gualberto, Couto e Azenha, 2020). Uma classificação comum divide as regras em classes que requerem diferentes níveis de dados e complexidade de verificação (Corrêa, Oliveira e Takagaki, 2018).

Solihin e Eastman (2015), apresentaram uma classificação quanto a complexidade de converter um requisito em uma regra automatizada, no modelo BIM. Zheng et al. (2023), no estudo de códigos de obras chineses, as cláusulas são categorizadas em sete tipos baseados na facilidade de interpretação usando modelos de Building Information Modelling (BIM), sendo algumas correlacionáveis com as de Solihin e Eastman (2015) (Quadro 1).

Quadro 1 – Complexidade da verificação do requisito em modelos BIM

Complexidade		
Solihin e Eastman, 2015	Soliman-Junior *et al.*, 2021	Zheng *et al.*, 2023
Classe 1 — regras que exigem um único dado explícito ou uma pequena quantidade de dados explícitos;		Direta: Informação explicitamente disponível no BIM.
Classe 2 — regras que exigem valores de atributos derivados simples;		Indireta: Informação derivada do BIM.
Classe 3 — regras que exigem uma estrutura de dados estendida;		Método: Requer estrutura de dados estendida ou conhecimento específico.
Classe 4 — regras que exigem uma "prova de solução".		
	Referenciamento: os requisitos em um documento referenciam outros documentos ou bases de dados	
		Referência: Necessita de informações externas como tabelas ou fórmulas.
		Geral: Orientações macro para o design.
		Termo: Definições de termos.
		Outras: Cláusulas que não se encaixam nas categorias anteriores.

Fonte: Elaborado pelo autor (Zheng *et al.*, 2023; Solihin e Eastman, 2015; Soliman-Junior *et al.*, 2021)

Eastman *et al.* (2009) dividem o processo de verificação automatizada em quatro etapas: interpretação e estruturação das regras; definição de parâmetros do modelo; execução das regras; e relato dos resultados. Essa divisão do processo permite uma melhor compreensão das etapas envolvidas na verificação automatizada e como as regras são aplicadas para garantir a conformidade (Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda, 2018).

Os autores Nisbet, Zijing, & Ma (2023) e Eastman *et al.* (2009) destacam a lógica de predicados para a automação de verificação de conformidade, na fase de interpretação e estruturação das regras.

Na fase de interpretação de regras é contribui para transformar o conhecimento humano contido em regulamentos e guias de projeto em instruções que um sistema de verificação automática pode entender e aplicar a um modelo de construção (Eastman *et al.*, 2009). Segundo o autor, as abordagens variam desde a codificação direta em linguagens de programação até o desenvolvimento de linguagens de definição de regras mais formais e portáteis.

3 METODOLOGIA

Utilizou-se uma pesquisa qualitativa exploratória, com suporte em métodos experimentais e comparativos e um breve referencial teórico.

Seleção dos requisitos: A primeira etapa é a escolha do guia de projetos para análise e o levantamento e seleção dos requisitos, no caso, a Portaria MCID nº 725/2023 (Anexos III), de grande relevância social e que contém especificações passíveis de análise.

Tradução assistida com IA: criação de prompts direcionados para tradução de sentenças em linguagem natural para lógica formal, aplicando-os em três modelos de IA (ChatGPT, Gemini, DeepSeek).

Análise comparativa: Comparação dos resultados de tradução considerando, correção lógica formal, Coerência com o texto original, Inclusão de suposições implícitas, clareza e completude da sentença.

Ajuste da linguagem natural: Reformulação das sentenças normativas com base nos erros identificados e repetição da tradução para avaliar melhoria da interpretação lógica pelas IAs.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados das interações com as inteligências artificiais e realizada a análise destes, observando quais os parâmetros da sentença podem ser ajustados para obter uma expressão lógica mais coerente o requisito do especificador.

4.1 Primeira Interação

1. Escolher uma sentença para análise

iv. Sala de estar/refeições – Largura mínima: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV.

2. Formular um prompt para a pesquisa

Foi introduzido o seguinte prompt em três IAs (ChatGPT 4o, Gemini, DeepSeek): “Traduza para lógica formal: ‘iv. Sala de estar/refeições – Largura mínima: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV.’”

3. Respostas das IAs

Quadro 2 – Resposta 1ª interação com ChaGPT4o

ChatGPT 4o
Vamos usar lógica de predicados de primeira ordem com funções e predicados adequados: **Frase original:** "iv. Sala de estar/refeições – Largura mínima: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV." Tradução para lógica formal: 1. Largura(SalaEstarRefeicoes) ≥ 2.40 2. AssentosTotais(Sofa) ≥ NumLeitos 3. Existe(x) ∧ Mesa(x) ∧ Capacidade(x) ≥ 4 4. Existe(y) ∧ (Estante(y) ∨ ArmarioTV(y)) Notas: • Largura(SalaEstarRefeicoes): função que retorna a largura da sala de estar/refeições. • AssentosTotais(Sofa): número total de assentos disponíveis em sofás. • NumLeitos: número total de leitos na habitação. • Existe(x): predicado que indica a existência do objeto x. • Mesa(x), Estante(y), ArmarioTV(y): predicados que classificam os objetos como mesa, estante ou armário de TV. • Capacidade(x): número de pessoas que a mesa x comporta.

Fonte: Criado por inteligência artificial

Quadro 3 – Resposta 1ª interação com Gemini

Gemini
Claro, vamos traduzir essa frase para a lógica formal usando a lógica de predicados de primeira ordem. Definição dos Predicados: • **Lx:** x é um leito. • **Sx:** x é um sofá. • **Ax:** x é um assento. • **Mx:** x é uma mesa. • **Ex:** x é uma estante/armário de TV. • **N(x, y):** x tem y número de assentos. • **P(x, y):** x pode acomodar y pessoas. • **Largura(x, y):** a largura de x é y metros. Tradução da Frase para a Lógica Formal: A frase pode ser dividida em três partes principais, que serão traduzidas individualmente e depois combinadas: 1. "Sala de estar/refeições – Largura mínima: 2,40 m." o **Lógica Formal:** ∀x (Sala(x) → Largura(x, ≥2.40)) ▪ Onde "Sala(x)" representa "x é uma sala de estar/refeições". 2. "Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos." o **Lógica Formal:** ∀x (Lx → ∃y (Sy ∧ N(y, x))) 3. "mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV." o **Lógica Formal:** ∃x (Mx ∧ P(x, 4)) ∧ ∃y (Ey) Combinação das Partes: Combinando todas as partes, obtemos a seguinte tradução para a lógica formal: ∀x (Sala(x) → Largura(x, ≥2.40)) ∧ ∀x (Lx → ∃y (Sy ∧ N(y, x))) ∧ ∃x (Mx ∧ P(x, 4)) ∧ ∃y (Ey) Explicação: • A primeira parte afirma que a largura de qualquer sala de estar/refeições deve ser de pelo menos 2,40 metros. • A segunda parte afirma que para cada leito, deve existir um sofá com o mesmo número de assentos. • A terceira parte afirma que deve existir uma mesa que possa acomodar 4 pessoas, e que deve existir uma estante/armário de TV.

Fonte: Criado por inteligência artificial

Quadro 4 – Resposta 1ª interação com DeepSeek

DeepSeek
Aqui está a tradução para lógica formal do requisito iv: Tradução: ∀s (SalaDeEstarRefeições(s) → (LarguraMínima(s, 2.40m) ∧ ∃m1 (Sofá(m1) ∧ NúmeroAssentos(m1) = NúmeroLeitos(s)) ∧ ∃m2 (Mesa(m2) ∧ Capacidade(m2, 4)) ∧ ∃m3 (EstanteArmárioTV(m3)))) Explicação: 1. ∀s (SalaDeEstarRefeições(s) → ... o Para toda sala 's' que é uma Sala de Estar/Refeições, as seguintes condições devem ser válidas. 2. LarguraMínima(s, 2.40m) o A largura mínima da sala 's' deve ser 2.40 metros. 3. ∃m1 (Sofá(m1) ∧ NúmeroAssentos(m1) = NúmeroLeitos(s)) o Deve existir pelo menos um sofá 'm1' cujo número de assentos é igual ao número de leitos da sala 's'. 4. ∃m2 (Mesa(m2) ∧ Capacidade(m2, 4)) o Deve existir pelo menos uma mesa 'm2' com capacidade para 4 pessoas. 5. ∃m3 (EstanteArmárioTV(m3)) o Deve existir pelo menos uma estante ou armário de TV 'm3' na sala

Fonte: Criado por inteligência artificial

4. Análise das respostas

Todas as inteligências artificiais (IA) foram capazes de identificar os requisitos de largura mínima da sala, a mesa para quatro pessoas e a necessidade da estante de TV. Observar que o ChatGPT 4º (Quadro 2), declarou que a mesa é de 4 pessoas ou mais e isso não está declarado na sentença.

Tanto a Gemini (Quadro 3), quanto a DeepSeek (Quadro 4), construíram uma sentença, que inclui na sala os móveis, bem como, estabelece a largura mínima dela, diferente do ChatGPT.

Finalmente, o item sofá traz uma ambiguidade que prejudica a formatação lógica. Na sentença não está especificado o número de leitos mínimos (quatro, conforme nas definições i e ii, do Anexo III da Portaria), que alimenta a capacidade do sofá. Isso gerou formas diferentes expressão de lógica, como podemos observar no Quadro 5.

Quadro 5 – Análise das 1ªs interações com as inteligências artificiais

IA	Expressão lógica	Explicação da IA	Efeito
ChatGPT	AssentosTotais(Sofa) ≥ NumLeitos		
Gemini	∀x (Lx → ∃y (Sy ∧ N(y, x)))	"A segunda parte afirma que para cada leito, deve existir um sofá com o mesmo número de assentos".	Resulta em 4 sofás de 1 assento.
DeepSeek	∃m1 (Sofá(m1) ∧ NúmeroAssentos(m1) = NúmeroLeitos(s))	Deve existir pelo menos um sofá 'm1' cujo número de assentos é igual ao número de leitos da sala 's'.	Resulta em um sofá de 4 assentos.

Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos resultados das inteligências artificiais

4.2 Segunda Interação

1. Escolher uma sentença para análise

iv. Sala de estar/refeições – Largura mínima: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e estante/armário TV.

2. Reformular a sentença

Traduza para lógica formal: "iv. Sala de estar/refeições, [com Largura mínima de] 2,40 m. [Ela deve ter a] quantidade mínima de móveis: [ao menos dois sofás de 1,20x0,50m (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024)]; mesa para quatro pessoas; e estante/armário TV.

3. Formular um novo prompt para a pesquisa

"Traduza para lógica formal: "iv. Sala de estar/refeições, com Largura mínima de 2,40 m. Ela deve ter a quantidade mínima de móveis: ao menos dois sofás de 1,20x0,50m; mesa para quatro pessoas; e estante/armário TV".

Quadro 6 – Resposta 2ª interação com ChatGPT 4o

ChatGPT 4º
Tradução para lógica formal: Seja SS um cômodo tal que: Sala(S)∧Funcao(S,estar/refeicoes)→(Largura(S)≥2,40∧∃s1,s2,m,e.(Sofa(s1)∧Dimensoes(s1,1,20,0,50)∧Em(s1,S)∧Sofa(s2)∧Dimensoes(s2,1,20,0,50)∧Em(s2,S)∧Mesa(m)∧Capacidade(m,4)∧Em(m,S)∧EstanteOuArmarioTV(e)∧Em(e,S))) Sala(S)∧Funcao(S,estar/refeicoes)→(Largura(S)≥2,40∧∃s1,s2,m,e.(Sofa(s1)∧Dimensoes(s1,1,20,0,50)∧Em(s1,S)∧Sofa(s2)∧Dimensoes(s2,1,20,0,50)∧Em(s2,S)∧Mesa(m)∧Capacidade(m,4)∧Em(m,S)∧EstanteOuArmarioTV(e)∧Em(e,S))) Notas sobre a notação: Sala(S): SS é uma sala. Funcao(S, estar/refeicoes): SS é sala de estar/refeições. Largura(S): largura do cômodo SS. Sofa(s), Mesa(m), EstanteOuArmarioTV(e): identificam os tipos de móveis. Dimensoes(s, l, p): o móvel ss tem largura ll e profundidade pp. Capacidade(m, 4): a mesa comporta 4 pessoas. Em(movel, S): o móvel está presente no cômodo SS.

Fonte: Criado por inteligência artificial

Quadro 7 – Resposta 2ª interação com Gemini

Gemini
Claro, aqui está a tradução da frase para lógica formal: Definição de Predicados: • SalaDeEstarRefeicoes(x): x é uma sala de estar/refeições. • LarguraMinima(x, l): x tem largura mínima de l metros. • Movel(m): m é um móvel. • Sofá(m): m é um sofá. • Mesa(m): m é uma mesa. • EstanteTV(m): m é uma estante/armário de TV. • Tamanho(m, comprimento, largura): m tem comprimento e largura especificados. • QuantidadeMinima(x, n): x tem pelo menos n móveis de um tipo específico. • ParaPessoas(m, n): m é um móvel que comporta n pessoas. • Pertence(m, x): m pertence a x. Tradução para Lógica Formal: ∀x [SalaDeEstarRefeicoes(x) → LarguraMinima(x, 2.40) ∧ ∃m1 ∃m2 (Sofá(m1) ∧ Sofá(m2) ∧ Tamanho(m1, 1.20, 0.50) ∧ Tamanho(m2, 1.20, 0.50) ∧ Pertence(m1, x) ∧ Pertence(m2, x)) ∧ ∃m3 (Mesa(m3) ∧ ParaPessoas(m3, 4) ∧ Pertence(m3, x)) ∧ ∃m4 (EstanteTV(m4) ∧ Pertence(m4, x))] Explicação: • "∀x" significa "para toda sala de estar/refeições x". • "→" significa "implica". • "∧" significa "e". • "∃" significa "existe". A fórmula acima declara que, para toda sala de estar/refeições, ela deve ter uma largura mínima de 2,40 metros, e deve conter pelo menos dois sofás com as dimensões especificadas, uma mesa para quatro pessoas e uma estante/armário de TV.

Fonte: Criado por inteligência artificial

Quadro 8 – Resposta 2ª interação com DeepSeek

DeepSeek
Aqui está a tradução para a lógica formal das especificações dadas: 1. Dimensão mínima da sala: ○ LarguraMínima(sala, 2.40m) 2. Móveis mínimos obrigatórios: ○ $\exists sofa_1\ \exists sofa_2$ (Dimensões($sofa_1$, 1.20m × 0.50m) ∧ Dimensões($sofa_2$, 1.20m × 0.50m) ∧ $sofa_1 \neq sofa_2$ ○ ∃mesa (Capacidade(mesa, 4pessoas)) ○ ∃moveis (Estante(moveis) ∨ ArmárioTV(moveis)) 3. Conjunção de requisitos: ○ LarguraMínima(sala, 2.40m) ∧($\exists sofa_1\ \exists sofa_2$ (Dimensões($sofa_1$, 1.20m × 0.50m) ∧ Dimensões($sofa_2$, 1.20m × 0.50m) ∧ $sofa_1 \neq sofa_2$)) ∧(∃mesa (Capacidade(mesa, 4pessoas))) ∧(∃moveis (Estante(moveis) ∨ ArmárioTV(moveis))) Onde: • Os predicados unários Estante() e ArmárioTV() indicam o tipo de móvel • Dimensões() e Capacidade() são predicados que relacionam objetos às suas características • A desigualdade $sofa_1 \neq sofa_2$ garante que são dois sofás distintos

Fonte: Criado por inteligência artificial

Com as alterações no texto do requisito, em todos os casos (Quadro 6, Quadro 7 e Quadro 8), a inteligência artificial identificou corretamente a necessidade de dois sofás diferentes, com as medidas mínimas estabelecidas. Observa-se que a ChatGPT e a Gemini, acrescentaram expressões de pertencimento dos móveis à sala, o que não ocorreu no DeepSeek.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo demonstrou que a inteligência artificial (IA), em particular as técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), possui um potencial significativo para auxiliar na etapa inicial da Verificação Automatizada de Conformidade (ACC): a interpretação e estruturação de requisitos em lógica formal.

A análise das interações com os modelos de IA (ChatGPT, Gemini, e DeepSeek) evidenciou que, embora as IAs sejam capazes de identificar os requisitos presentes nas sentenças normativas, a ambiguidade inerente da linguagem natural pode prejudicar a qualidade da formalização lógica. O exemplo do requisito sobre sofás na primeira interação ilustrou claramente como uma sentença ambígua levou a diferentes interpretações lógicas por parte das IAs. Evidenciando que a extração de padrões nas regras em linguagem natural é complexa e sujeita a múltiplas camadas de conhecimento implícito e imprecisão.

Contudo, observou-se que pequenas alterações na redação normativa podem melhorar significativamente a qualidade da formalização lógica. A reformulação da sentença sobre móveis na sala de estar/refeições na segunda interação resultou em todas as IAs identificando corretamente a necessidade de dois sofás distintos com dimensões específicas, algo que não ocorreu na primeira tentativa. Assim, a inclusão da consulta a mecanismos de IA durante a fase de redação, emerge como um encaminhamento promissor no processo de elaboração das normas.

Um fluxo de trabalho que integre a IA permitiria que os técnicos responsáveis pela criação de guias de projeto, como a Portaria nº 725 do Ministério das Cidades, pudessem submeter suas propostas de redação à análise da IA. Avaliando como a IA interpreta e formaliza a sentença, os redatores poderiam identificar potenciais ambiguidades ou falhas na clareza da redação antes mesmo da norma ser finalizada. Essa iteração de escrever, formalizar com IA, analisar o resultado e ajustar a linguagem permitiria a elaboração de sentenças mais claras e com menor potencial de interpretação dúbia.

Com normas redigidas de maneira mais precisa e facilmente traduzível para lógica formal, facilita-se significativamente as próximas etapas da verificação automatizada de conformidade (ACC). A precisão da entrada (as regras formalizadas) é fundamental para a confiabilidade das verificações realizadas posteriormente. Além disso, a capacidade de testar a clareza lógica das sentenças durante a elaboração pode levar a uma simplificação das regras, orientando-as para a descrição clara dos resultados esperados (desempenho) ou requisitos essenciais.

Portanto, a IA pode atuar como uma poderosa aliada na elaboração de códigos de obras e edificações, guias de projetos, normas técnicas e regulamentos, possibilitando aos autores refinarem a linguagem

natural, reduzindo ambiguidades e, assim, criar textos normativos mais claros, verificáveis e eficientes, contribuindo para maior eficiência e transparência nos processos de conformidade e, prepara o cenário para a implementação bem-sucedida da Verificação Automatizada de Conformidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 Edificações habitacionais Desempenho**: Parte 1: Requisitos Gerais. 6º. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650-1 Organização e digitização da informação sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem da informação da construção (BIM) - Gestão da informação usando modelagem da informação da construção:** Parte 1: Conceitos e princípios. 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, v. 1, 2024a.

AZENHA, M. et al. Webinar Regulatory Room: Licenciamento Municipal e OpenBIM. **BuildingSmart Portugal**, Lisboa, 22 fev. 2023. 1 video (91 min: 9 seg). [Webinar]. Disponivel em: <https://www.youtube.com/watch?v=aGTraM2vZVs>. Acesso em: 09 mar. 2023.

BARBOSA, A.; COSTA, D. Verificação Automática de Requisitos de Projetos de Saídas de Emergência com uso de BIM e Programação Visual. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, v. 18, 2020. p. 1-8. Disponivel em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/942>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BARCELOS, K. A. **Método para avaliação de projetos de Habitação Social: Mobiliamento, espaciosidade e funcionalidade**. 2011. Dissertação (mestrado em Construção Civil) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.Disponível em: https://www.academia.edu/14070748/M%C3%89TODO_PARA_AVALIA%C3%87%C3%83O_DE_PROJETOS_DE_HABITA%C3%87%C3%83O_SOCIAL_MOBILIAMENTO_ESPACIOSIDADE_E_FUNCIONALIDADE_K%C3%81TIA_ALVES_BARCELOS_CUIAB%C3%81_MT. Acesso em 2025 jan. 20

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial EBIA. Brasília**: [s.n.], 2021. Disponivel em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-diagramacao_4-979_2021.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Portaria MCID Nº 725, de 15 de junho de 2023. **gov.br**, Brasília, 15 jun. 2023. Disponivel em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/programa-minha-casa-minha-vida/portarias-far-2023>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. Information Delivery Specification IDS. **BuildingSmart.org**, fev. 2023. Disponivel em: <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>. Acesso em: 09 ago. 2023.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **MInha Casa MInha Vida (cartilha).** Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa Minha Casa Minha Vida.** Brasília: CEF, 2023. Disponivel em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Cartilha-PMCMV-FAR.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO. **[Correspondência Eletrônica]** Fala.BR Manifestação Respondida no Sistema. Destinatário: Kátia Alves Barcelos, Brasília, 18 nov. 2024. Prot. 18840.001708/2024-37.

CORRÊA, F. R.; OLIVEIRA, L. H. D.; TAKAGAKI, C. Y. K. Aspecto prescritivo das normas de sistemas prediais hidráulicos e sanitários e sua relação com a verificação automática de modelos BIM. **Ambiente Construído**, abr. 2018. Disponivel em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/jsspxJ8Fg8nQBLxPxZhM4yB/?lang=pt>. Acesso em: 20 nov. 2024.

EASTMAN, C. et al. Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, 18, dez. 2009. 1011–1033. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580509001198>. Acesso em: 20 jan. 2025.

FERNANDES, G. V. D. H.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS-FAZENDA, P. Método para verificação automatizada de requisitos em empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, out. 2018.

259-278. Disponivel em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/NtwW3yCTNDkCKfrF57pJKpy/?lang=pt>. Acesso em: 20 nov. 2024.

GUALBERTO, N.; COUTO, J. P.; AZENHA, M. Implementação Bim ao Nível do Licenciamento Municipal: Verificação Automatizada do RGEU.: 3º Congresso Português de Building Information Modelling. Porto. **Anais …** In Porto: FEUP, 2020. p. 857-866. Disponivel em: <https://ptbim.org/wp-content/uploads/2021/02/LivroDeAtasDoPTBIM-2020.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

HOOPER, E.; BOLPAGNI, M. **Information management according to BS EN ISO 19650 Part D:** Developing information requirements. 2ª. ed. [S.l.]: UK BIM Framework, 2021. Disponivel em: <https://www.ukbimframework.org/wp-content/uploads/2021/02/Guidance-Part-D_Developing-information-requirements_Edition-2.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2024.

JIANG, L.; SHI, J.; WANG, C. Multi-ontology fusion and rule development to facilitate automated code compliance checking using BIM and rule-based reasoning. **Advanced Engineering Informatics**, 51, jan. 2022. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034621002019?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2024.

KATER, M.; RUSCHEL, R. C. O potencial da verificação automatizada baseada em regras para as medidas de segurança contra incêndio em BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 20, out. 2020. 423-444. Disponivel em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/LY6m3pnLz6vtyGKYgR3kD4F/?lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2024.

MALSANE, S. et al. Development of an object model for automated compliance checking. **Automation in Construction**, 49, jan 2015. 51-58. Disponivel em: <Automation in Construction>. Acesso em: 28 nov. 2024.

NISBET, N.; , Z. Z.; MA, L. Automated generation of SPARQL queries from semantic mark-up. Creta: [s.n.]. 2023. p. 2023 In: European Conference on Computing in Construction, 40th International CIB W78 Conference Creta, **Proceedings...** Disponível em: https://ec-3.org/publications/conference/paper/?id=EC32023_207. Acesso em: 28 nov. 2024.

REN, Q. et al. Automatic quality compliance checking in concrete dam construction: Integrating rule syntax parsing and semantic distance. **Advanced Engineering Informatics**, 60, abr. 2024. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034624000570?via%3Dihub>. Acesso em: 28 nov. 2024.

SACKS, R. et al. **Manual de BIM:** Um Guia de Modelagem da informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. [S.l.]: Bookman. Edição Kindle, 2021.

SANTOS, K. T.; SAMPAIO, M. A. B. Análise da aplicação da metodologia rase para a verificação automatizada em modelo bim a partir da abnt nbr 6122:2019. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, v. 4, 2023. Anais [.].

SOBHKHIZ, S. et al. Framing and Evaluating the Best Practices of IFC-Based Automated Rule Checking: A Case Study. **Buildings**, out. 2021. Disponivel em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/10/456>. Acesso em: 28 nov. 2024.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, 53, maio 2015. 69-82. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580515000370?via%3Dihub>. Acesso em: 01 ago. 2024.

SOLIMAN JR., J., FONSECA, V. F., FORMOSO, C. T., TZORTZOPOULOS, P. Verificação automatizada derequisitos regulamentares em projetos hospitalares com o uso de BIM In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.. Disponivel em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1761/1541>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SOLIMAN-JUNIOR, J. et al. Automted compliance checking in healthcare building design. **Automation in Constrution**, 2021. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521002739?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SOLIMAN-JUNIOR, J.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS, P. A semantic-based framework for automated rule checking in healthcare construction projects. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 47, fev 2020. Disponivel em: <https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/cjce-2018-0460>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SYDORA, C.; STROULIA, E. Rule-based compliance checking and generative design for building interiors using BIM. **Automation in Construction**, 120, 2020. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520309481?via%3Dihub>. Acesso em: 28 nov. 2024.

WANG, Y. et al. An Automated Fire Code Compliance Checking Jointly Using Building Information Models and Natural Language Processing. **Fire**, set. 2023. Disponivel em: <https://www.mdpi.com/2571-6255/6/9/358>. Acesso em: 28 nov. 2024.

XUE, X.; ZHANG, J. Regulatory information transformation ruleset expansion to support automated building code compliance checking. **Automation in Construction**, 138, 2022. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522001030?via%3Dihub>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ZHANG, Z. et al. Capabilities of rule representations for automated compliance checking in healthcare buildings. **Automation in Construction**, 146, fev. 2023. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522005581?via%3Dihub>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ZHENG, Z. et al. Knowledge-informed semantic alignment and rule interpretation for automated compliance checking. **Automation in Construction**, 142, 2022. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522003971?via%3Dihub>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ZHENG, Z. et al. A text classification-based approach for evaluating and enhancing the machine interpretability of building codes. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 2023. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095219762301391X?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ZHOUA, Y.-C. et al. Integrating NLP and context-free grammar for complex rule interpretation towards automated compliance checking. **Computers in Industry**, 142, nov. 2022. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361522001439?via%3Dihub>. Acesso em: 28 nov. 2024. p009.