

5

Análise dos Resultados

Encerrada a etapa de avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC e de posse de uma série de dados resultante das observações realizadas previamente, é chegado o momento de realizar a análise destas informações, e assim, organizar de forma sucinta e facilmente compreensível os resultados.

Para realizar esta análise comparativa de eficiência da interoperabilidade entre os diferentes casos observados, foram adotados conceitos qualitativos, aos quais foram atribuídos pontos como uma forma de quantificar e mensurar os dados observados, mediante critérios adotados.

Os conceitos utilizados foram **E** - Excelente; **S** - Satisfatório; **R** - Razoável; **I** - Informação insuficiente; e **A** - Ausente ou Inconsistente. A pontuação foi distribuída de tal forma que o conceito “**E**” vale 8 pontos, “**S**” 6 pontos, “**R**” 4 pontos, “**I**” 2 pontos e “**A**” 0 pontos.

Para atribuição dos conceitos aos critérios analisados, verificou-se o percentual de elementos em conformidade com o modelo original, de acordo com a Tabela 5.1, como forma de padronizar e reduzir a subjetividade da análise.

Tabela 5.1: Percentual de elementos em conformidade para atribuição de conceitos.

CONCEITO	ELEMENTOS EM CONFORMIDADE (%)
Excelente	$\geq 90\%$
Satisfatório	$70\% \leq \% < 90\%$
Razoável	$50\% \leq \% < 70\%$
Informação Insuficiente	$0\% < \% < 50\%$
Ausente ou Inconsistente	0%

Além disso, a análise dos resultados foi subdividida em duas partes. A primeira trata dos resultados obtidos no intercâmbio de informações utilizando o IFC entre plataformas BIM apenas, enquanto que na segunda parte são tratados os resultados obtidos da interoperabilidade entre Plataforma BIM (exclusivamente o *Autodesk Revit 15*) e Ferramentas BIM de Análise Estrutural.

A divisão deste capítulo em duas seções se justifica pelo fato de que o resultado esperado do intercâmbio de informações entre Plataformas BIM não é o mesmo esperado entre Plataforma e Ferramenta BIM. Por exemplo, enquanto se espera a preservação de informações como geometria e material das sapatas

no caso de interoperabilidade entre Plataformas BIM, o mesmo não é esperado entre uma Plataforma BIM e uma ferramenta de Análise Estrutural. Para este último caso, um critério relevante de se avaliar seria quanto ao reconhecimento das condições de contorno a partir do modelo estrutural inicial.

Foram analisadas vigas, pilares, lajes, rampa, escadas, fundação e paredes estruturais, sendo que cada item foi avaliado sob critérios específicos e subjetivamente considerados relevantes para cada caso. Exclusivamente para o caso do item 5.2, acrescentou-se a observação do modelo analítico e avaliação do mesmo sob critérios adotados.

Os critérios básicos considerados relevantes para a avaliação dos elementos estão discriminados e detalhados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Critérios adotados para avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Existência	Avalia quantos elementos foram representados do total originalmente modelado.
Geometria	Avalia se foram mantidas as seções transversais de cada elemento e suas propriedades físicas.
Material	Avalia se o material atribuído ao elemento em análise foi devidamente mantido.
Posicionamento	Avalia se o elemento em análise está devidamente posicionado de acordo com o modelo original.
Rotação (orientação)	Avalia a orientação do elemento em relação ao seu eixo longitudinal, verificando se o mesmo está devidamente rotacionado.
Contornos	Avalia os contornos de elementos planos como lajes e paredes estruturais se estão de acordo com o que foi originalmente modelado.
Aberturas	Avalia se as aberturas da laje, existentes no modelo original, foram mantidas.
Espessura	Avalia se a espessura de elementos planos como lajes e paredes estruturais foram devidamente importadas.
Reconhecimento das C.C	Avalia se foram reconhecidas condições de contorno a partir da fundação modelada originalmente para consolidação do modelo analítico.

5.1

Resultados: Plataformas BIM de Modelagem

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir de observações do intercâmbio de informações utilizando o IFC entre Plataformas BIM. Serão, portanto, avaliados os casos 1, 2 e 3 (*ArchiCAD*, *Tekla Structures* e *Nemetschek Scia Engineer*, respectivamente) sob os critérios adotados e especificados para cada elemento em análise.

As tabelas 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 demonstram uma avaliação de cada critério discriminado e como este se deu para cada caso estudado, verificando conceitualmente a qualidade dos dados consolidados no que se refere respectivamente às vigas, pilares, lajes, rampa, escadas, fundação e paredes estruturais.

Em cada uma das tabelas citadas no parágrafo anterior, para cada caso, ao final da avaliação dos critérios adotados, há uma somatória de pontos correspondentes aos conceitos utilizados. De posse dessa somatória de pontos alcançados, dividindo pelo total de pontos possível, tem-se então o percentual de eficiência do intercâmbio de informações utilizando o IFC.

Tabela 5.3: Avaliação da consistência das vigas para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Geometria	E	E	E
Material	E	A	A
Posicionamento	E	E	E
Rotação (orientação)	E	E	E
Total de Pontos	40	32	32
Eficiência (%)	100,00%	80,00%	80,00%

De posse de todos esses dados, correspondentes à análise da eficiência de interoperabilidade entre plataformas BIM para cada caso especificado, foi possível gerar gráficos que demonstram de uma maneira mais simplificada os resultados obtidos.

Na Figura 5.1, tem-se um gráfico de colunas onde se compara os resultados de eficiência alcançada nos casos 1, 2 e 3 para cada elemento analisado. Observando então este gráfico, conclui-se que apenas no caso 1 (*ArchiCAD*) os elementos foram integralmente reconhecidos e, portanto, obtiveram 100% de eficiência no intercâmbio de informações para os elementos analisados.

Em seguida analisou-se a eficiência média de intercâmbio de informações utilizando o IFC por elemento (Figura 5.2). Sendo assim, tem-se estatística-

Tabela 5.4: Avaliação da consistência dos pilares para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Geometria	E	E	E
Material	E	A	A
Posicionamento	E	E	E
Rotação (orientação)	E	E	E
Total de Pontos	40	32	32
Eficiência (%)	100,00%	80,00%	80,00%

Tabela 5.5: Avaliação da consistência das lajes para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Contornos	E	E	E
Aberturas	E	E	E
Espessura	E	E	E
Material	E	E	E
Pontos / Caso	40	40	40
% de Eficiência / Caso	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 5.6: Avaliação da consistência da rampa para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Geometria	E	E	E
Posicionamento	E	E	E
Material	E	A	A
Pontos / Caso	32	24	24
% de Eficiência / Caso	100,00%	75,00%	75,00%

Tabela 5.7: Avaliação da consistência das escadas para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Geometria	E	E	E
Posicionamento	E	E	E
Material	E	E	A
Pontos / Caso	32	32	24
% de Eficiência / Caso	100,00%	100,00%	75,00%

Tabela 5.8: Avaliação da consistência da fundação para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Geometria	E	E	E
Posicionamento	E	E	E
Material	E	E	A
Pontos / Caso	32	32	24
% de Eficiência / Caso	100,00%	100,00%	75,00%

Tabela 5.9: Avaliação da consistência das paredes estruturais para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS		
	1	2	3
Existência	E	E	E
Contornos	E	E	E
Espessura	E	E	E
Posicionamento	E	E	E
Material	E	E	E
Pontos / Caso	40	40	40
% de Eficiência / Caso	100,00%	100,00%	100,00%

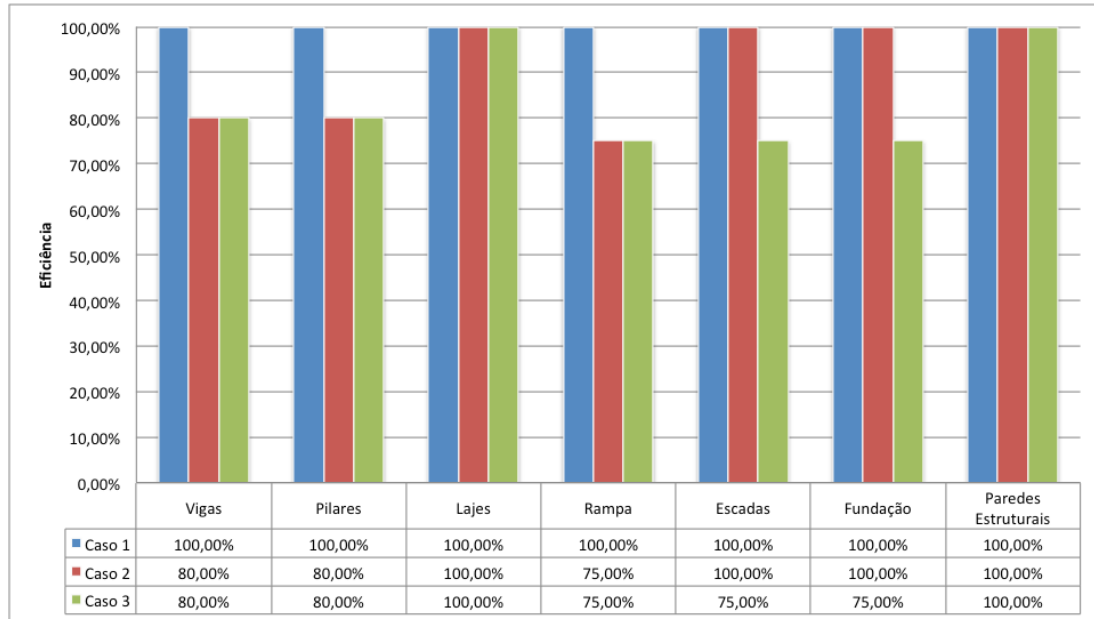


Figura 5.1: Eficiência de intercâmbio de informações para cada tipo de elemento analisado em cada caso especificado.

mente, considerando como grupo amostral os 3 casos de interoperabilidade entre plataformas BIM analisados neste trabalho, que as informações referentes às lajes e paredes estruturais foram 100% preservadas nas trocas ocorridas, enquanto o restante, apesar de algumas perdas de informações, também tiveram sua eficiência bastante satisfatória.

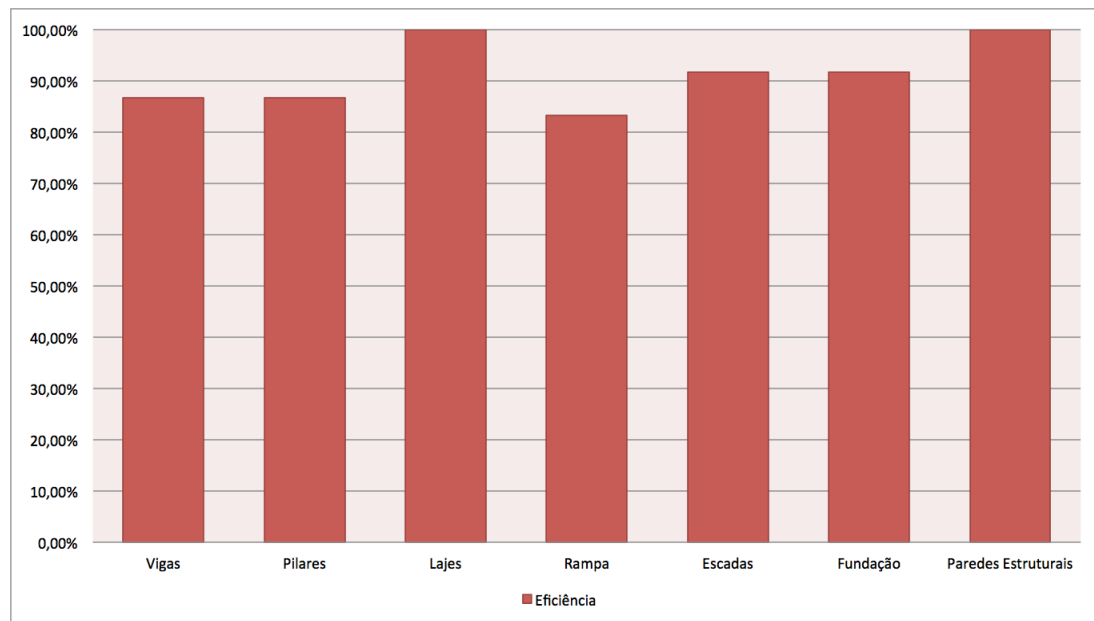


Figura 5.2: Eficiência média por tipo de elemento utilizado.

Por fim, construiu-se um gráfico que demonstra a eficiência média da

troca de informações referentes aos elementos analisados a fim de apontar qual caso obteve o melhor desempenho. Observando a Figura 5.3, fica claro então que, para os elementos avaliados neste trabalho, a interoperabilidade entre plataformas BIM ocorreu com 100% de eficiência apenas no caso 1 (*ArchiCAD*), enquanto que nos casos 2 e 3 a média de eficiência foi de 94,29% e 83,57%, respectivamente.

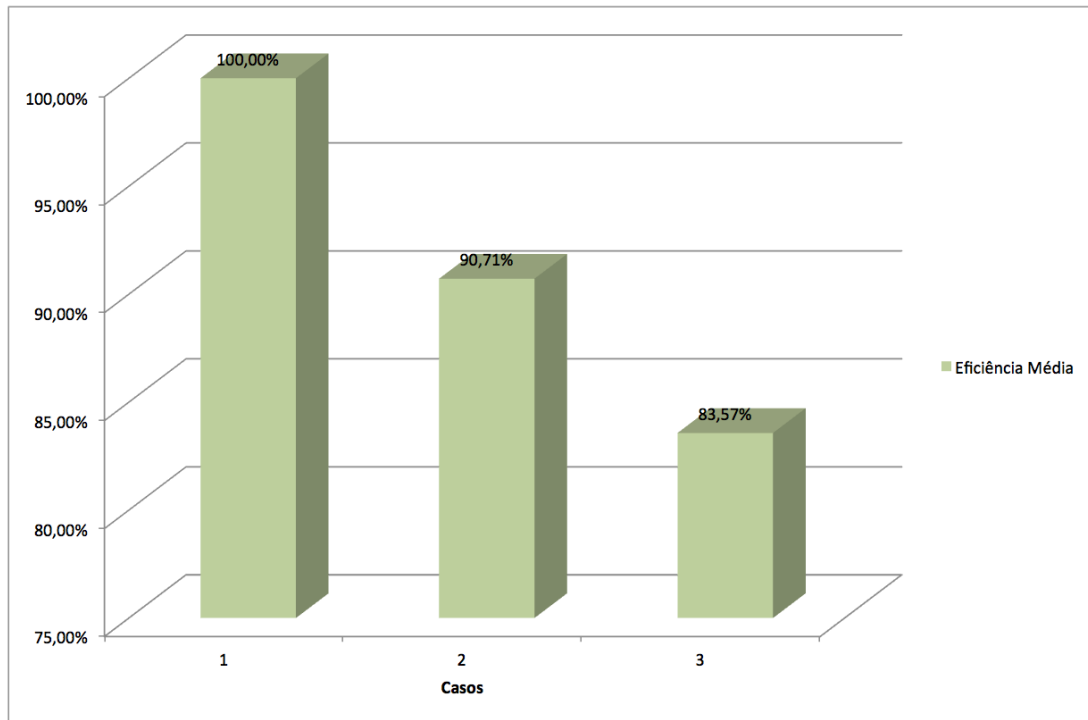


Figura 5.3: Eficiência média de intercâmbio de informações para os casos 1, 2 e 3.

5.2

Resultados: Ferramentas BIM de Análise Estrutural

Tendo concluído a análise de interoperabilidade utilizando o IFC entre plataformas BIM, seguiu-se para a avaliação da troca de informações entre Plataforma e Ferramenta BIM de Análise Estrutural, com correspondência aos casos 4, 5, 6 e 7.

Assim, com base na mesma metodologia adotada na seção anterior e utilizando critérios descritos na Tabela 5.2, foram avaliados novamente os elementos de viga, pilar, laje, rampa, escadas, fundação e paredes estruturais (tabelas 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16, respectivamente), incorporando a estes, a avaliação implícita do modelo analítico gerado.

No capítulo de Avaliação de Interoperabilidade entre Plataforma BIM e Ferramenta de Análise Estrutural, aponta-se muitas vezes as inconsistências

nodais encontradas no modelo analítico para os diferentes casos. Estas inconsistências não foram consideradas, neste trabalho, como falha no intercâmbio de informações, já que os nós estão ali localizados nos centros geométricos das seções dos elementos em suas extremidades, cabendo ao calculista fazer a ligação dos mesmos de acordo com suas considerações.

Quanto aos carregamentos, introduzidos no modelador estrutural utilizado (*Revit 15*), e informação também muito importante, os mesmos foram perdidos no processo. A partir da análise do arquivo IFC gerado, concluiu-se que o *Revit 15*, com suas configurações padrão, não exportou informação alguma sobre os carregamentos. Isto ocorreu pelo fato de que na definição padrão, a MVD utilizada pelo *Revit* é a *Coordination View 2.0*, a qual, segundo Liebich et al. (2013), não possui entidades que representem as cargas estruturais em sua definição.

As tabelas a seguir representam a análise da eficiência de interoperabilidade utilizando o IFC entre Plataformas e Ferramentas BIM de Análise estrutural

Tabela 5.10: Avaliação da consistência das vigas para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
Existência	E	E	E	I
Geometria	E	E	E	E
Material	E	E	E	E
Posicionamento	E	E	E	R
Rotação (orientação)	A	E	E	E
Pontos / Caso	32	40	40	30
% de Eficiência / Caso	80,00%	100,00%	100,00%	75,00%

Tabela 5.11: Avaliação da consistência dos pilares para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
Existência	E	E	E	E
Geometria	E	E	E	E
Material	E	E	E	E
Posicionamento	E	E	E	E
Rotação (orientação)	E	I	I	E
Pontos / Caso	40	34	34	40
% de Eficiência / Caso	100,00%	85,00%	85,00%	100,00%

Tabela 5.12: Avaliação da consistência das lajes para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
Existência	E	E	E	E
Contornos	E	E	E	E
Existência de aberturas	E	A	A	E
Espessura	E	E	E	E
Material	E	E	E	E
Pontos / Caso	40	32	32	40
% de Eficiência / Caso	100,00%	80,00%	80,00%	100,00%

Tabela 5.13: Avaliação da consistência da rampa para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
Existência	A	A	A	A
Geometria	A	A	A	A
Posicionamento	A	A	A	A
Material	A	A	A	A
Pontos / Caso	0	0	0	0
% de Eficiência / Caso	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabela 5.14: Avaliação da consistência das escadas para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
Existência	A	A	A	A
Geometria	A	A	A	A
Posicionamento	A	A	A	A
Material	A	A	A	A
Pontos / Caso	0	0	0	0
% de Eficiência / Caso	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabela 5.15: Avaliação da consistência da fundação para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
	4	5	6	7
Reconhecimento das C.C	A	A	I	A
Pontos / Caso	0	0	2	0
% de Eficiência / Caso	0,00%	0,00%	25,00%	0,00%

Tabela 5.16: Avaliação da consistência das paredes estruturais para cada caso utilizando o IFC.

CRITÉRIOS AVALIADOS	CASOS			
	4	5	6	7
Existência	E	E	E	E
Contornos	E	E	E	E
Espessura	E	E	E	E
Posicionamento	E	E	E	E
Material	E	E	E	E
Pontos / Caso	40	40	40	40
% de Eficiência / Caso	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Ao final das análises, observou-se que rampa e escadas simplesmente não foram representadas ou foram importadas de maneira inconsistente. Além disso as fundações, também não tiveram suas condições de contorno reconhecidas no modelo abstrato.

De posse dos resultados obtidos a partir da avaliação realizada, foi possível medir a eficiência do intercâmbio da informação relativa a cada elemento analisado para cada caso (Figura 5.4), bem como medir a eficiência média para cada tipo de elemento (Figura 5.5)

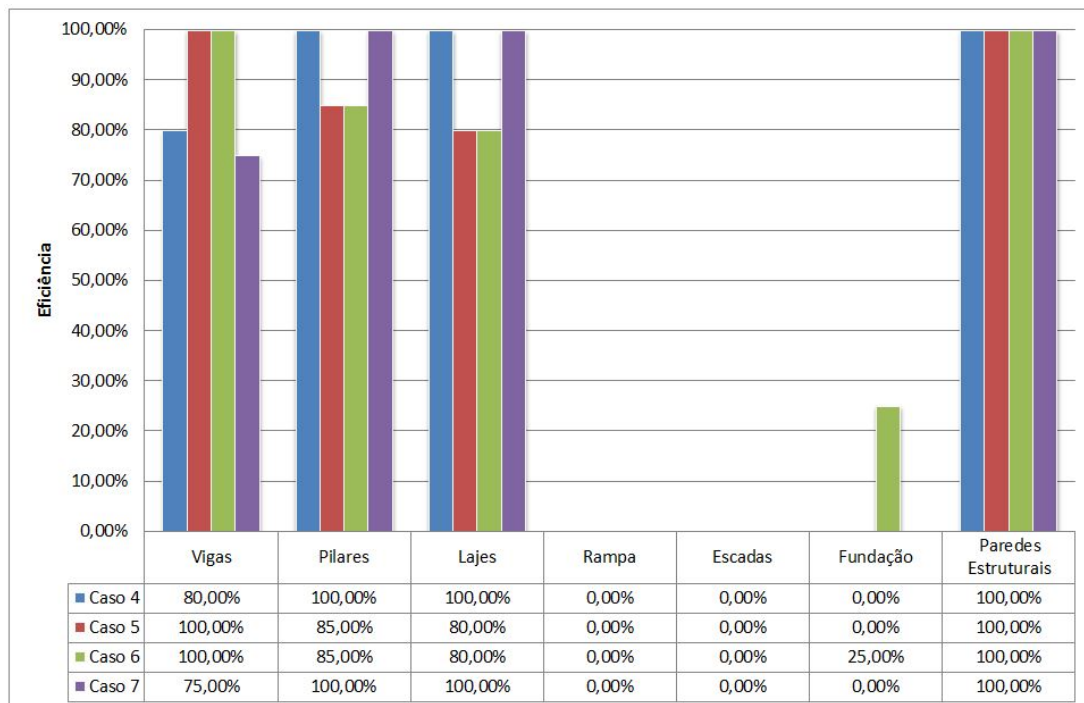


Figura 5.4: Eficiência de intercâmbio de informações para cada tipo de elemento analisado em cada caso especificado.

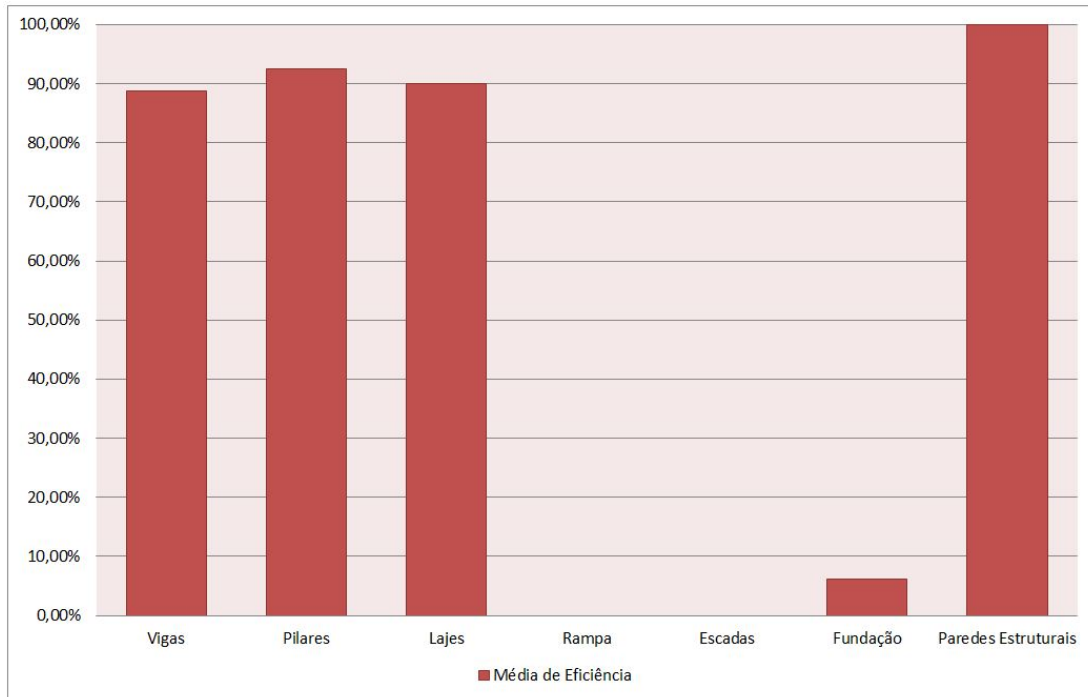


Figura 5.5: Eficiência média por tipo de elemento utilizado.

Assim, foi possível também obter a eficiência média de intercâmbio de informações utilizando o IFC para cada caso avaliado (Figura 5.6), sendo o caso 6 (*ETABS*) aquele que apresentou o modelo mais consistente (55,71%), seguido pelos casos 4, 7 e por último caso 5 (*Robot*, *CYPECAD* e *SAP2000*, respectivamente).

Entretanto, observando a baixa eficiência no intercâmbio de informações encontrada para todos os casos analisados nesta seção (Figura 5.6) e utilizando a Tabela 5.17, a qual possui os valores de referência utilizados para criação do gráfico da Figura 5.5, observou-se uma variância e desvio padrão muito expressivos nos elementos rampa, escadas e fundação com eficiência muito abaixo da média, o que tornou necessária a realização de uma nova abordagem para lidar com esses dados.

Nesta nova abordagem seria então considerada a possibilidade de simplesmente eliminar os elementos de rampa, escadas e fundação da avaliação com a justificativa de que, no contexto da análise estrutural, estes são elementos que muitas vezes estão em um nível acima de abstração, representados por carregamentos aplicados nos elementos ou restrições, no caso da fundação. Portanto, estas considerações cabem ao calculista, que por sua vez, utiliza seu *expertise* para representar da maneira mais adequada o modelo estrutural, segundo recomendações normativas da região.

Assim, desconsiderando a troca das informações referentes aos elementos

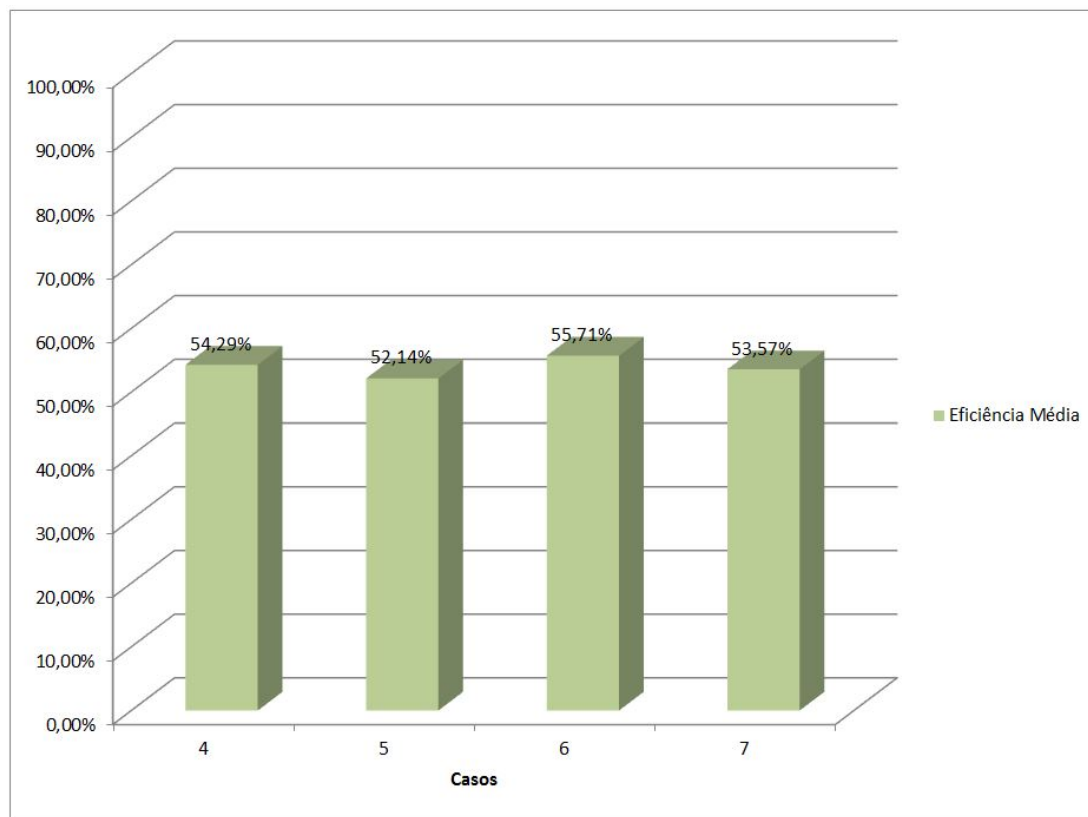


Figura 5.6: Eficiência média de intercâmbio de informações para os casos 4, 5, 6 e 7.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312966/CA

Tabela 5.17: Tabela com valores de referência para construção do gráfico de eficiência média de interoperabilidade para os casos 4, 5, 6 e 7, incluindo todos os elementos analisados.

Elementos	Eficiência	Média	Variância	Desvio Padrão
Vigas	88,75%		12,13%	34,82%
Pilares	92,50%		14,88%	38,57%
Lajes	90,00%		13,01%	36,07%
Rampa	0,00%	53,93%	29,08%	53,93%
Escadas	0,00%		29,08%	53,93%
Fundação	6,25%		22,73%	47,68%
Paredes Estruturais	100,00%		21,23%	46,07%

de rampa, escadas e fundação na análise de eficiência de interoperabilidade, uma nova média de eficiência, 38,88% mais alta que a anterior, foi alcançada (Figura 5.18), com um desvio padrão bem reduzido, o que torna as informações avaliadas mais coerentes quando comparadas ao intercâmbio de informações entre Plataformas BIM, analisados em seção prévia.

Tabela 5.18: Tabela com valores de referência para construção do gráfico de eficiência média de interoperabilidade para os casos 4, 5, 6 e 7, excluindo rampa, escadas e fundação.

Elementos	Eficiência	Média	Variância	Desvio Padrão
Vigas	88,75%	92,81%	0,17%	4,06%
Pilares	92,50%		0,00%	0,31%
Lajes	90,00%		0,08%	2,81%
Paredes Estruturais	100,00%		0,52%	7,19%

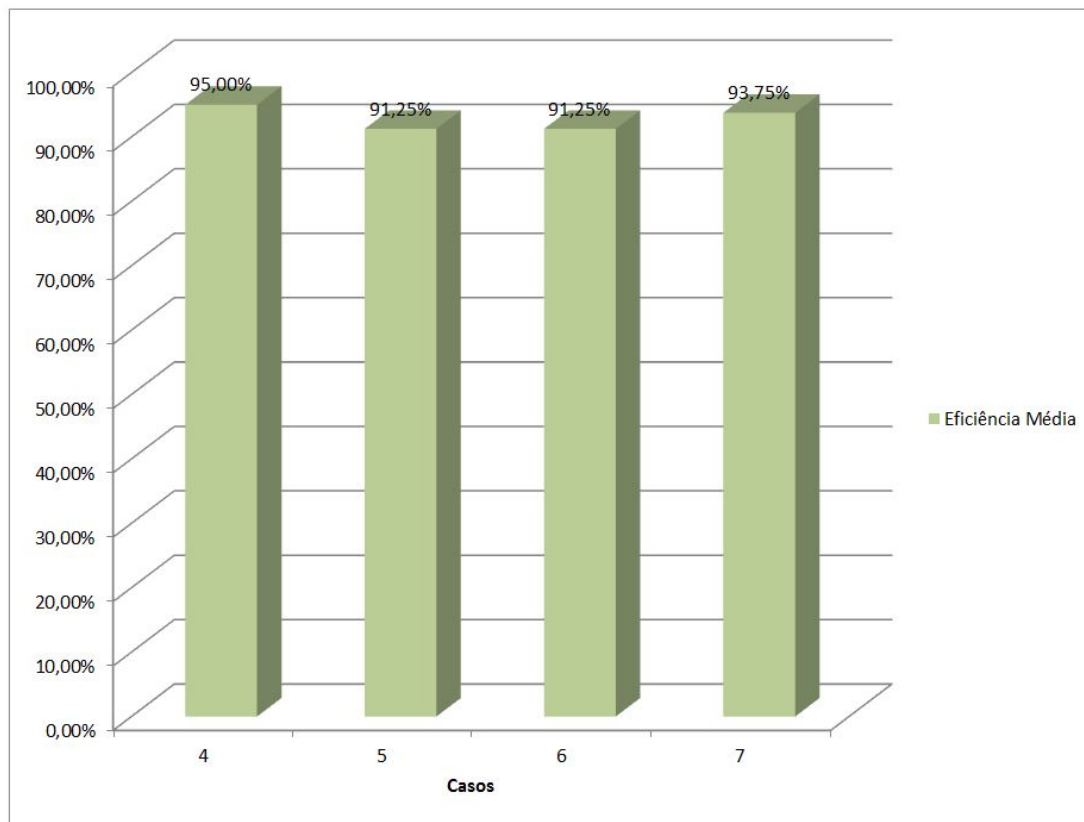


Figura 5.7: Eficiência média de intercâmbio de informações para os casos 4, 5, 6 e 7, desconsiderando rampa e escadas.

Criou-se, então, um novo gráfico para melhor representar a eficiência média de intercâmbio de informações para os referidos casos utilizando o IFC (Figura 5.7), no qual fica explícito que foram obtidos resultados consideravelmente melhores e mais próximos daqueles obtidos na troca entre Plataformas

BIM, tendo como melhor desempenho o caso 4 (*Robot*) com 95% de eficiência, seguido dos casos 7, 5 e 6, nesta ordem.

Deste modo, conclui-se que a interoperabilidade entre Plataforma BIM e Ferramenta BIM de Análise Estrutural, utilizando o formato neutro IFC, ocorre de maneira satisfatória, com algumas limitações citadas anteriormente, que exigem a intervenção e adequação por parte do calculista, ocasionando assim, um certo retrabalho e conseqüente perda de tempo.