



ANÁLISE REMOTA DE PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES BIM COMUNS A PARTIR DO ENERGYPLUS

Sérgio Leal Ferreira

sergio.leal@usp.br

Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, Nº 83, Edifício de Engenharia Civil - Cidade Universitária, , 05508-900, São Paulo, São Paulo, Brasil

Abstract. *A Associação Brasileira de Normas Técnicas tem empreendido um esforço desde 2009 para normalizar elementos necessários para um bom desenvolvimento do BIM (Building Information Modeling) no Brasil. Dentre esses esforços, um grupo de trabalho foi criado mais recentemente com a finalidade de orientar a indústria para criar componentes BIM que contenham propriedades e dados necessários a uma modelagem eficiente. Dessa forma, esses componentes estarão preparados para o uso em análises específicas. Uma das análises previstas é a de Eficiência Energética das Edificações. O Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos EUA fornece atualmente informações sobre 417 programas para a avaliação energética computacional de edificações e o EnergyPlus se apresenta como a melhor alternativa. Este trabalho apresenta o resultado do estudo dos dados do EnergyPlus no que se refere aos componentes mais comuns na arquitetura, como portas e janelas. Demonstra o caminho que é necessário percorrer dentro do Dicionário de Dados de Entrada para encontrar todos os dados vinculados a esses objetos. Casos reais de simulações já programadas e executadas no EnergyPlus (arquivos de entrada de dados) foram analisados através de um sistema, também relatado aqui, que permitirá o acesso remoto por qualquer usuário, sem precisar instalar nada no seu computador..*

Keywords: *Componentes BIM. Eficiência Energética. EnergyPlus. Modelagem da Informação da Construção*

1 INTRODUÇÃO

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) através da Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção ABNT/CEE-134 (ABNT, 2015) tem empreendido um esforço desde 2009 para normalizar elementos necessários ao bom desenvolvimento do BIM - Building Information Modeling (EASTMAN et. al., 2011), ou Modelagem da Informação da Construção, no Brasil.

Dentre esses esforços, um grupo de trabalho dentro da comissão foi criado mais recentemente com a finalidade de orientar a indústria para criar componentes BIM que contenham propriedades e dados necessários a uma modelagem eficiente. O autor deste artigo participa deste grupo de trabalho.

Para considerar a modelagem eficiente, identificou-se que é necessário que as propriedades e dados estejam disponíveis visando determinada tarefa ou função do modelo. Isso significa que os modelos que utilizam estes componentes poderão ser utilizados na modelagem de projetos, e estes projetos, por sua vez, estarão preparados ou bem adiantados para serem utilizados com a maior facilidade e precisão possíveis na entrada de dados para análises específicas.

Uma destas análises previstas é a de Eficiência Energética das Edificações através de simulações (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Uma abordagem para que esta análise ocorra é a preparação dos dados para serem absorvidos por programas mais populares e confiáveis. O Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos EUA (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015a) fornece atualmente informações sobre 417 programas para a avaliação energética computacional de edificações e o EnergyPlus (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015b) se apresenta como a alternativa mais completa, confiável e que beneficia mais projetistas pela sua disponibilidade e popularidade. A documentação do EnergyPlus é ampla e há um claro estímulo de participação no seu desenvolvimento.

Este artigo apresenta o resultado do estudo dos dados do EnergyPlus no que se refere aos componentes mais comuns na arquitetura, como portas e janelas. Demonstra-se o caminho que é necessário percorrer dentro do Dicionário de Dados de Entrada (IDD - *Input Data Dictionary*) para encontrar todos os dados vinculados aos objetos utilizados no Arquivo de Entrada de Dados (IDF – *Input Data File*) que tenham significado e interesse para a definição daqueles componentes e que possam ser definidos em um modelo de dados externo ao EnergyPlus, como são os modelos BIM (Building Information Model).

Uma vez identificados os elementos no IDD, arquivos IDF com modelagens de simulações reais foram postos à prova, e o resultado é uma tabulação dos componentes e suas respectivas propriedades que devem ser definidas para que o modelo BIM se harmonize o mais perfeitamente com o EnergyPlus.

Uma arquitetura do tipo cliente-servidor é prevista, para que qualquer usuário possa testar os seus modelos de simulação. O próximo passo deste trabalho será fazer o processo de modo que o mesmo sistema analise a existência dos dados necessários à simulação no modelo BIM. Desta forma se completará o ciclo:

- análise do EnergyPlus para determinar os dados necessários;
- modelagem em BIM incluindo estes dados;
- exportação dos dados BIM para simulação energética

- formatação dos dados exportados de modo a permitir a leitura pelo EnergyPlus;
- análise remota do arquivo com os dados formatados e utilização dos dados, em caso de conformidade, no EnergyPlus.

Prevê-se também a exportação do arquivo BIM proprietário para um formato neutro como o IFC - Industry Foundation Classes (buildingSMART, 2015). Este tipo de integração é uma meta clara dos diversos programas de eficiência energética (LBNL, 2012), (SEE et al., 2011), (NREL, 2015a) e (NREL, 2015b). Em seguida acontecerá a transformação do arquivo exportado pelo BIM para o formato IDF.

O foco deste artigo é, então, o processo de análise do EnergyPlus do ponto de vista dos componentes mais comuns através da alimentação local e remota. A Figura 1 ilustra as fases, destacando aquelas apresentadas no artigo.

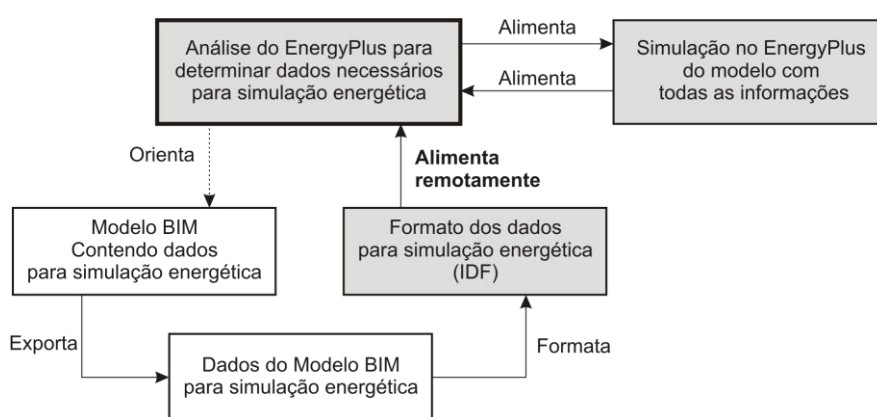


Figura 1: Esquema do trabalho com destaque para o foco do artigo.

2 MANIPULAÇÃO DA ESTRUTURA DE DADOS DO ENERGYPLUS

O dicionário de dados do EnergyPlus (Energy+.idd) está organizado de uma forma muito particular, cujas regras estão descritas na sua documentação (LBNL, 2013). Um exemplo de como o dicionário de dados está organizado é ilustrado na Figura 2. Para conseguir manipular esse dicionário de dados em um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) é preciso organizar essas definições em tabelas. Um programa em Java foi criado para transformar cada uma das definições em tabelas: **group**, **object**, **parameter**, **object_list**, **reference**, **memo**, **note**, **external_list** e **key**. As tabelas criadas (exemplos no Quadro 1 e no Quadro 2) foram trabalhadas no SGBD de forma a relacioná-las (a Figura 3 ilustra os relacionamentos) e conseguir reproduzir a estrutura de dados apresentada no arquivo Energy+.idd em um formato passível de ser manipulado através de uma linguagem padronizada (Structured Query Language - SQL).

```

Building,
    \memo Describes parameters that are used during the simulation
    \memo of the building. There are necessary correlations between the entries for
    \memo this object and some entries in the Site:WeatherStation and
    \memo Site:HeightVariation objects, specifically the Terrain field.
    \unique-object
    \required-object
    \min-fields 8
    A1 , \field Name
        \required-field
        \retaincase
        \default NONE
    N1 , \field North Axis
        \note degrees from true North
        \units deg
        \type real
        \default 0.0

```

Figura 2: Trecho do Dicionário de Dados do EnergyPlus que descreve o objeto *Building*

Quadro 1: Trecho de tabela gerada a partir da análise do Dicionário de Dados do EnergyPlus – destaque para o objeto *Building*

N_O	OBJECT_NAME	required_object	format	min_fields	extensible	extensible_comment	unique_object	obsolete
429	Branch	FALSE			5	Just duplicate last 5 fields and comments (changing numbering, please)	FALSE	FALSE
430	BranchList	FALSE			1	Just duplicate last field and comments (changing numbering, please)	FALSE	FALSE
3	Building	TRUE		8			TRUE	FALSE
95	BuildingSurface:Detailed	FALSE	vertices	19	3	-- duplicate last set of x,y,z coordinates (last 3 fields), remembering to remove; from "inner" fields.	FALSE	FALSE
104	Ceiling:Adiabatic	FALSE					FALSE	FALSE
105	Ceiling:Interzone	FALSE					FALSE	FALSE

Quadro 2: Exemplo de tabela gerada a partir da análise do Dicionário de Dados do EnergyPlus – Comentários ligados ao objeto *Building* através da chave *código de objeto (N_O)* em destaque.

N_O	NK	NV	memo
3	1	1	Describes parameters that are used during the simulation
3	2	2	of the building. There are necessary correlations between the entries for
3	3	3	this object and some entries in the Site:WeatherStation and
3	4	4	Site:HeightVariation objects, specifically the Terrain field.

Para garantir o relacionamento correto entre objetos e parâmetros, um novo campo de código de parâmetro foi criado, uma vez que o código previsto pelo Energy+.idd não

contemplava a ordem em que os parâmetros apareciam no objeto e isso poderia ser relevante posteriormente. Outros campos também relacionados à ordem que determinados elementos foram criados, como as linhas de **memo** e **note** que precisam ser exatamente concatenadas, ou as alternativas apresentadas pelos **key**, cuja ordem de aparição em uma interface pode ser importante. Além disso, ao longo do trabalho alguns campos novos foram criados na medida em que pareceram úteis. No entanto, somente alguns desses campos puderam ser plenamente testados até o momento, uma vez que foram idealizados em previsão de outras funcionalidades do sistema que não estão contempladas neste artigo. Um dos campos testados foi o campo ‘parâmetro de componente’ (**parametro_componente**).

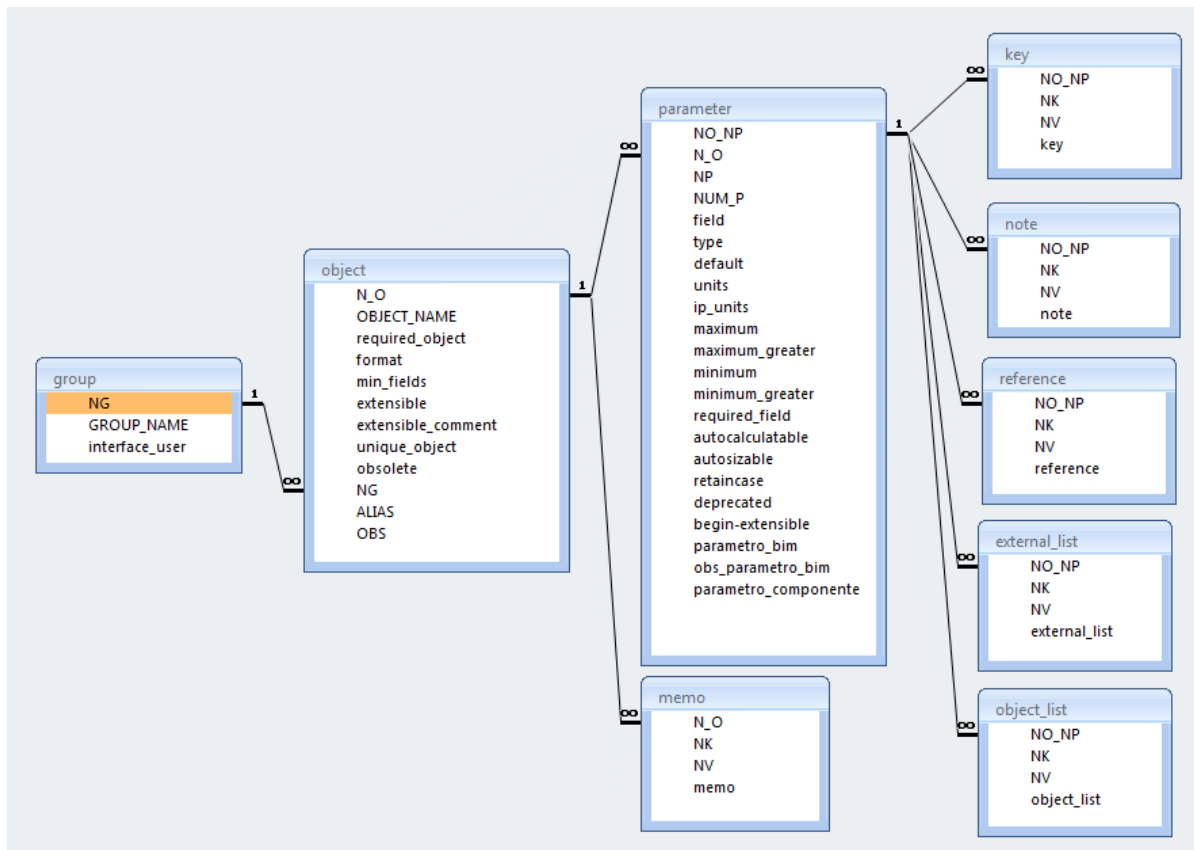


Figura 3: Campos das tabelas geradas pelo programa de leitura do Dicionário de Dados do EnergyPlus e as relações entre elas através das chaves de código de objeto (N_O) e código de parâmetro (NUM_P)

3 MANIPULAÇÃO DO ARQUIVO DE ENTRADA DE DADOS DO ENERGYPLUS

O Arquivo de Entrada de Dados do EnergyPlus (IDF - Input Data File) é o arquivo que guarda as informações do modelo para a simulação. Possui um formato próprio também, de estrutura bem simples e, até certo ponto, pobre e frágil, uma vez que qualquer pequena divergência na apresentação dos dados pode inviabilizar a sua leitura ou tornar o modelo errado.

Para manipular os dados de forma útil a um processamento posterior, é necessário separar os elementos e relacioná-los a uma definição presente no Dicionário de Dados de Entrada (IDD). Para separar os elementos, um programa em Java foi criado. Esse programa lê o arquivo IDF e transforma os conceitos de nome do **objeto (obj_name)**, **valor do parâmetro**

(**par_v**) e **marcação final de dado (marc)** em colunas da tabela de um banco de dados. A Figura 4 mostra o trecho de um arquivo IDF e o Quadro 3 mostra a transformação dos conceitos em colunas das tabelas.

Durante a leitura do arquivo IDF, identificou-se a necessidade de acrescentar os campos **número do elemento no IDF (n)** e **número do parâmetro (par_n)** que são dados implícitos. O campo **n** é necessário para identificar a ordem de aparição dos objetos no IDF, o que não chega a ser importante, mas pode ser conveniente. Já o campo **par_n** é absolutamente essencial, uma vez que a correspondência com os parâmetros previstos pelo IDD se fará através do **obj_name** e do **par_n**, com se verá adiante.

```
Building,
  Large Hospital TSD Baseline Model,  !- Name
  0.0000,                             !- North Axis {deg}
  City,                               !- Terrain
  0.0400,                             !- Loads Convergence Tolerance Value
  0.2000,                             !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}
  FullInteriorAndExterior,           !- Solar Distribution
  25,                                 !- Maximum Number of Warmup Days
  6;                                  !- Minimum Number of Warmup Days
```

Figura 2: Trecho de um Arquivo de Entrada de Dados do EnergyPlus que descreve o um objeto da classe *Building*

Quadro 3: Exemplo de tabela gerada a partir da análise do Arquivo de Entrada de Dados do EnergyPlus – Trecho do objeto *Building*. Os campo *nome do objeto (obj_name)* e *número do parâmetro (par_n)* em destaque.

n	obj_name	par_n	par_v	marc
13	Building	1	Large Hospital TSD Baseline Model	,
13	Building	2	0.0000	,
13	Building	3	City	,
13	Building	4	0.0400	,
13	Building	5	0.2000	,
13	Building	6	FullInteriorAndExterior	,
13	Building	7	25	,
13	Building	8	6	;

Sabendo que em um arquivo IDF existem diversos objetos e que a numeração dos parâmetros se reinicia a cada novo objeto, percebe-se que não há um identificador único para cada linha da tabela. Por isso, o campo **nome do objeto (obj_name)** em conjunto com o campo **número do parâmetro (par_n)** foram utilizados para essa identificação e para o futuro relacionamento com as tabelas do IDD.

Para se ter uma ideia de volume de dados, em um dos casos estudados, um edifício hospitalar de 48.960 m², o número de todos os parâmetros apresentados no IDF era de 68.560.

4 RELACIONAMENTO ENTRE O IDF E O IDD TRANSFORMADOS

Uma vez que, tanto os elementos do arquivo IDD quanto do IDF foram transformados em tabelas de banco de dados, para que os elementos do IDF tenham significado, foi preciso relacioná-lo com o IDD. A Figura 3 ilustra o relacionamento feito através do SGBD para alcançar esse objetivo. Esse relacionamento é necessário para que se possa ter acesso aos nomes dos parâmetros (**field**) a que se referem os valores (**par_v**), entre outras coisas.

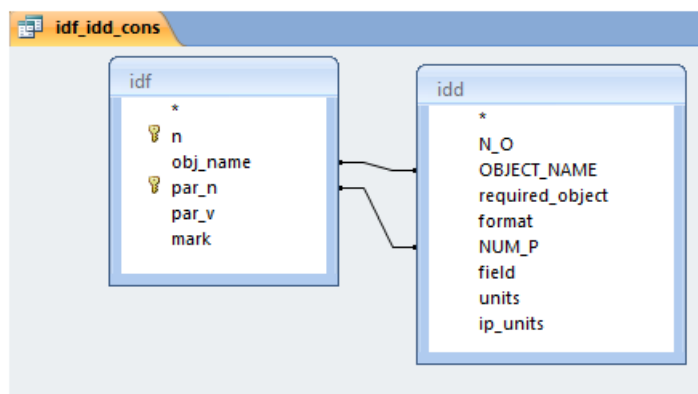


Figura 3: Relacionamento entre tabelas do IDF e do IDD

5 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS QUE DEVEM SER ESPECIFICADOS NO MODELO BIM

Em um trabalho complementar a este aqui apresentado, desenvolveu-se uma metodologia de extração dos parâmetros do IDD que se referem a características que devem ser definidas para permitir o uso de componentes na simulação energética. Resumidamente, esse método estabelece um percurso no IDD identificando todas as características do objeto que devem ser definidas e também de todos os objetos que servem para definição do objeto inicial, ou seja, quando o parâmetro do objeto é outro objeto. A Figura 4 ilustra a busca pelos parâmetros no caso de parâmetros de objetos que são outros objetos.

Como resultado desta metodologia, uma tabela é gerada incluindo o nome do objeto (**OBJECT_NAME**) e o número da propriedade a ser definida (**NUM_P**), que servirão de chave para o relacionamento com os dados do IDF. O Quadro 4 mostra um trecho da tabela que analisou o objeto *FenestrationSurface:Detailed*.

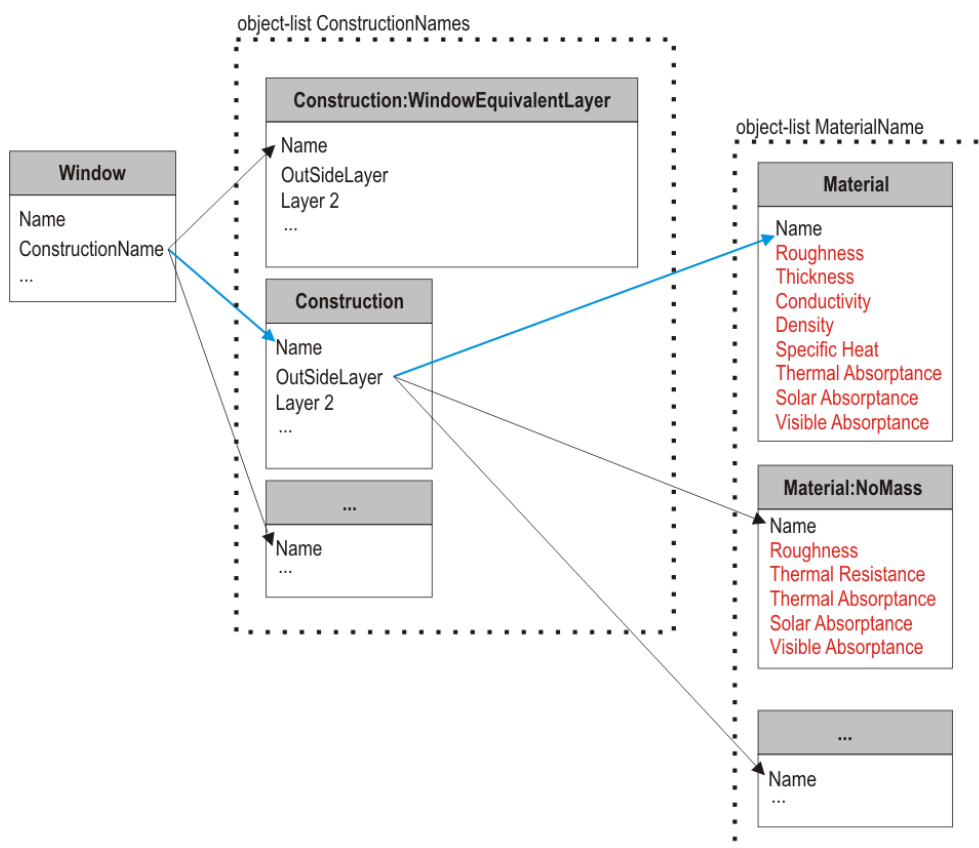


Figura 4: Esquema de relacionamento entre objetos do EnergyPlus em que parâmetros de um objeto se referem a outro objeto.

Quadro 4: Trecho da tabela *par_extraídos* resultante da metodologia elaborada em paralelo a este trabalho aplicada ao objeto *FenestrationSurface:Detailed*.

OBJECT_NAME	NUM_P	field	type	units	parametro_componente
Material	2	Roughness	choice		s
Material	4	Conductivity	real	W/m-K	s
Material	5	Density	real	kg/m3	s
Material	6	Specific Heat	real	J/kg-K	s
Material	7	Thermal Absorptance	real		s
Material	8	Solar Absorptance	real		s
Material	9	Visible Absorptance	real		s
Material:NoMass	2	Roughness	choice		s
Material:NoMass	3	Thermal Resistance	real	m2-K/W	s
Material:NoMass	4	Thermal Absorptance	real		s
Material:NoMass	5	Solar Absorptance	real		s
Material:NoMass	6	Visible Absorptance	real		s

Material:AirGap	2	Thermal Resistance	real	m2-K/W	s
Material:RoofVegetation	2	Height of Plants	real	m	s
Material:RoofVegetation	3	Leaf Area Index	real	dimensionless	s
Material:RoofVegetation	4	Leaf Reflectivity	real	dimensionless	s

6 DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE PARÂMETROS DOS COMPONENTES PRESENTES NO IDF

Por fim, ao relacionar a tabela dos valores presentes em um IDF (**idd_idf_cons**), como no caso do edifício hospitalar de 48.960 m² anteriormente mencionado, com a tabela de parametros extraídos do IDD ao estudar um componente específico, como foi o caso do objeto **FenestrationSurface:Detailed**, obtêm-se uma nova tabela indicando todos os valores que o IDF apresenta para os parâmetros do componente analisado.

Este relacionamento tem que garantir que todos os parâmetros do IDD serão analisados e quando houver parâmetros no IDF que correspondam, eles serão mostrados. Desta forma, os parâmetros do IDD que não tiverem valores preenchidos indica que faltam exatamente aquelas informações para a simulação energética no componente. Assim, o sistema indica claramente quais as melhorias que devem ser realizadas no modelo da edificação no que diz respeito à especificação dos parâmetros dos componentes.

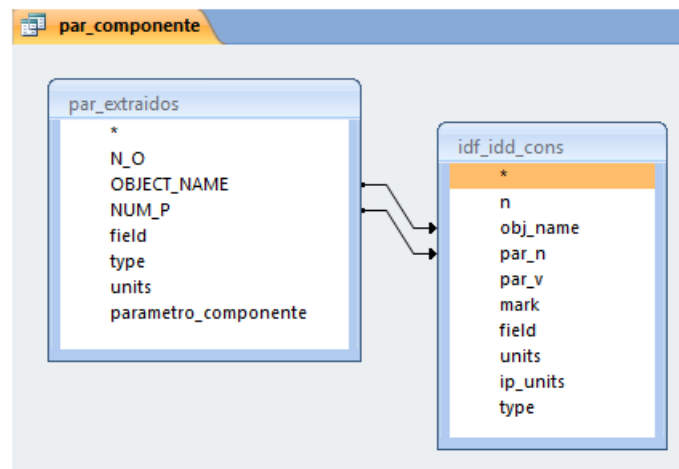


Figura 5: Relacionamento entre tabelas *par_extraídos* e *idd_idf_cons*

Quadro 5: Trecho da tabela par_componente resultante do relacionamento entre tabelas par_extraidos e idd_idf_cons aplicado a IDF de um hospital.

OBJECT_NAME	n	field	units	type	par_v
WindowMaterial:Glazing	89	Optical Data Type		choice	SpectralAverage
WindowMaterial:Glazing	89	Solar Transmittance at Normal Incidence		real	0.4818
WindowMaterial:Glazing	89	Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		real	0.4682
WindowMaterial:Glazing	89	Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		real	0.4682
WindowMaterial:Glazing	89	Visible Transmittance at Normal Incidence		real	0.6216
WindowMaterial:Glazing	89	Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		real	0.3284
WindowMaterial:Glazing	89	Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		real	0.3284
WindowMaterial:Glazing	89	Infrared Transmittance at Normal Incidence		real	0.0000
WindowMaterial:Glazing	89	Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		real	0.9000
WindowMaterial:Glazing	89	Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		real	0.9000
WindowMaterial:Glazing	89	Conductivity	W/m-K	real	0.0303
WindowMaterial:Glazing	89	Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		real	1.0000
WindowMaterial:Glazing	89	Solar Diffusing		choice	No

7 CONCLUSÃO

Aplicar essa análise em diversos modelos de simulação (IDF) vai ajudar a tornar prática a definição dos parâmetros mais necessários aos componentes e que podem estar presentes no modelo BIM. Em outras palavras, o modelo BIM que contenha objetos com os parâmetros necessários à simulação energética, apontados pela análise de diversos IDF, terá garantido sucesso prático na simulação. Componentes BIM disponibilizados pela indústria que contenham esses parâmetros serão efetivamente úteis no contexto da simulação energética.

O sistema também ajudará nos testes com modelos antes de eles irem para a simulação. Isso aumenta significativamente a efetividade da simulação e evita que os problemas que surjam na simulação sejam devidos a especificações mal feitas. Evita também ter que descobrir estes problemas somente depois de um grande esforço para completar todas as informações necessárias à simulação, onde é muito mais difícil identificar os tipos de falha.

O fato de passar orientações ao modelador e de oferecer realimentação sobre o que melhorar no modelo, aumenta a interatividade no processo de simulação e é uma forma de ajudar no projeto mesmo antes de simular.

Nesse sistema, sendo a arquitetura montada de modo a que o arquivo possa ser enviado remotamente, a dificuldade de ter que instalar na máquina local é eliminada. A administração das modificações e inclusão de melhorias fica também muito mais fácil e dinâmica. As atualizações do EnergyPlus também podem ser rapidamente incorporadas.

A preocupação elaborar o sistema em linguagem padronizada de Banco de Dados Relacional e linguagem de programação aberta permite fácil troca de tecnologia e a utilização de Interfaces Gráficas do Usuário (Graphical User Interface - GUI) que apresentam os

resultados de maneira clara e possuem manipulação simples, facilitando acréscimos e mudanças.

Embora o foco tenha sido aplicar o sistema de análise em componentes comuns de edificações, percebe-se que o único que precisa ser feito para analisar outros componentes é definir no local correspondente o nome e/ou tipo de objeto a ser analisado. Isso faz com que continuidades desse trabalho nesse sentido sejam intensamente estimuladas e um caminho natural.

O próximo passo é testar esses parâmetros diante de um programa de modelagem BIM e fazer o paralelo das definições do EnergyPlus e das orientações obtidas com o uso do sistema. Em seguida, dando um passo em direção à interoperabilidade, fazer um novo paralelo com as definições atualmente presentes no Modelo IFC.

Na Figura 6 resume-se o sistema.

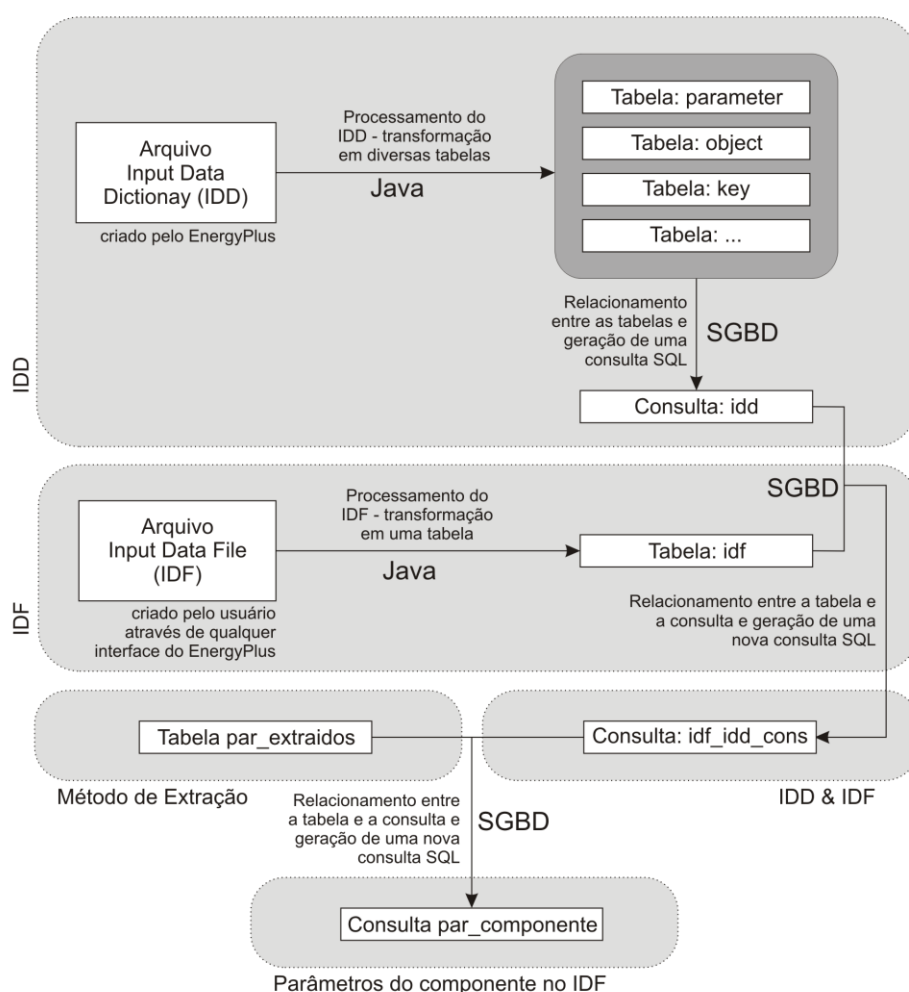


Figura 6: Esquema do sistema de análise

Os resultados desse esforço serão comparados aos resultados parciais do subgrupo de eficiência energética que faz parte do grupo de trabalho de componentes BIM da Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção ABNT/CEE-134, com o objetivo de validar a proposta e complementar a discussão dessa comissão.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **"ABNT/CEE-134 - Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção"**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb-134>>. 2015.
- buildingSMART. **IFC Overview summary**. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>>. Acesso em: jun/2015. 2015.
- EASTMAN, Charles; SACKS, Rafael; TEICHOLZ, Paul; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors..** 648p. 2nd ed.. ed.: Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. 512p. ed.: Routledge. 2011.
- LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory. **DEVELOPMENT OF A DESIGN GRAPHICAL USER INTERFACE FOR ENERGYPLUS**. 2012.
- _____. **EnergyPlus Documentation: Input-Output Reference Version 8.1**. 2013.
- NREL: National Renewable Energy Laboratory. **Commercial Buildings Research and Software Development**. U. S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/>>. Acesso em: jun/2015.
- _____. **Open Studio User Docs: Import IFC**. Disponível em: <http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/tutorials/tutorial_ifcimport/>. 2015.
- SEE, Richard; HAVES, Philip; SREEKANTHAN, Pramod; O'DONNELL, James; BASARKAR, Mangesh; SETTLEMYRE, Kevin. **DEVELOPMENT OF A USER INTERFACE FOR THE ENERGYPLUS WHOLE BUILDING ENERGY SIMULATION PROGRAM**. In: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. pp 2919-2926. 2011.
- U. S. Department of Energy. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>. 2015
- _____. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. U. S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: jun/2015.