

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia Eletrônica

# **Gestão de processos por métodos matriciais de análise de complexidade**

Autor: Luana Carolina de Val Abreu  
Orientador: Prof. Dr. Euler de Vilhena Garcia

Brasília, DF  
2020



Luana Carolina de Val Abreu

# **Gestão de processos por métodos matriciais de análise de complexidade**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Euler de Vilhena Garcia

Brasília, DF

2020

---

Luana Carolina de Val Abreu

Gestão de processos por métodos matriciais de análise de complexidade/ Luana  
Carolina de Val Abreu. – Brasília, DF, 2020-  
58 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Euler de Vilhena Garcia

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2020.

1. gestão de processos. 2. análise matricial. I. Prof. Dr. Euler de Vilhena  
Garcia. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Gestão de  
processos por métodos matriciais de análise de complexidade

CDU 02:141:005.6

---

Luana Carolina de Val Abreu

## **Gestão de processos por métodos matriciais de análise de complexidade**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 16 de dezembro de 2020:

---

**Prof. Dr. Euler de Vilhena Garcia**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Leonardo Aguayo**  
Convidado 1

---

**Eng. Adriano Figueiredo de Oliveira  
Gomes**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2020

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela vida e pela conquista de estar onde estou. Agradeço ao meu pai Gilson e minha mãe Jaqueline que me proporcionaram a oportunidade de me dedicar aos estudos, a construção dos meus sonhos e de uma carreira sólida sempre com muito apoio. Aos meus amigos e parceiros de curso que me apoiaram sempre que eu precisei. As minhas irmãs Endy, Sofia e Beatriz por serem minhas alegrias a qualquer momento. Ao Victor que não mede esforços para me dar suporte nas minhas decisões e foi essencial nesta jornada até aqui. Agradeço por fim ao meu orientador, Euler Garcia pelo apoio e guia para desenvolvimento deste trabalho. Obrigada.

# Resumo

Existe hoje um aumento no número de sistemas complexos nas esferas organizacionais, de desenvolvimento de produtos e processuais. Deste modo a Gestão da Complexidade pode ser uma grande aliada para levar projetos e processos ao seu potencial máximo se utilizadas as técnicas adequadas. A abordagem matricial tem se mostrado eficiente na gestão baseada em indicadores pois elenca as relações entre elementos de um sistema. Este trabalho tem como finalidade aprofundar o conhecimento da Gestão da Complexidade por meio da análise documental, aplicação de abordagens matriciais e técnicas de caracterização estrutural. A aplicação foi realizada em um estudo de caso único nos processos relacionados ao currículo do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília. O estudo de caso permitiu a formalização do fluxograma do curso e da oferta de disciplinas no formato da Design Structure Matrix (DSM) e da Multiple Domain Matrix (MDM) respectivamente. A partir destas matrizes foram aplicadas técnicas de caracterização estrutural com enfoque em um algoritmo de agrupamento, permitindo análises sobre o sequenciamento das disciplinas, o impacto de cada uma delas nas demais e na identificação de pontos de atenção intrínsecos à este sistema. Os resultados obtidos proporcionaram uma melhor visualização da distribuição das disciplinas nos horários, trazendo insumos para uma possível realocação destes recursos. Além disso, mostraram o nível da eficiência do planejamento da distribuição de disciplinas em módulos pela coordenação do curso de Engenharia Eletrônica.

**Palavras-chaves:** gestão por processos. análise matricial. gestão da complexidade. design structure matrix

# Abstract

The number of complex systems at organizations, product development and at procedural sphere is currently increasing. Complexity Management could be a powerful ally to face this fact and take projects and processes their maximum potential if applied with the correct tools. A matrix-based approach has showing efficiently when applied along with indicators-based techniques because it tells the relationships between the system's entities. The main objective of this work is to going deeper at the Complexity Management knowledge applying matrix-based analysis and structural characterization techniques. It was applied in a single case study in the processes related to the curriculum of the Electronic Engineering course at the University of Brasília. The case study allowed the formalization of the course flowchart and the offer of subjects in the Design Structure Matrix (DSM) and Multiple Domain Matrix (MDM) format, respectively. From these matrices, structural characterization techniques were applied, focusing on a clustering algorithm, allowing analyzes of the sequencing of the disciplines, the impact of each of them on the others, and the identification of points of attention intrinsic to this system. The results obtained provided better visualization of the discipline's distribution in the schedule, bringing inputs for a possible reallocation of these resources. In addition, they showed the level of efficiency of planning the distribution of disciplines in modules (semesters) by coordinating the Electronic Engineering course.

**Key-words:** process management. matrix analysis. complexity management. design structure matrix

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Workflow para construção da <i>Strong Conected Matrix</i> (S). Fonte: Traduzido e adaptado de: (HAIYAN et al., 2019) . . . . .	21
Figura 2 – Áreas de trabalho do LSM e FSM para DSMs com números diferentes de atividades e densidade [Adaptado de: (HAIYAN et al., 2019)] . . . . .	23
Figura 3 – Domínios da DSM. Fonte: Adaptado de: (LINDEMANN; MAURER, 2009) . . . . .	25
Figura 4 – Domínios da MDM. Fonte: Adaptado de: (LINDEMANN; MAURER, 2009) . . . . .	25
Figura 5 – Multiplicação da matriz transposta da MDM à esquerda. Fonte: Elaboração própria. . . . .	26
Figura 6 – Multiplicação da matriz transposta da MDM à direita. Fonte: Elaboração própria. . . . .	26
Figura 7 – Workflow para criação de clusteres em matrizes DSM. Fonte: Elaboração própria. . . . .	28
Figura 8 – Matriz DSM de dimensão 10x10 utilizada para validação do algoritmo de criação de clusteres. Fonte: Adaptado de Haiyan et al. (2019) . . . . .	29
Figura 9 – Matriz de acessibilidade $R$ gerada pela aplicação do algoritmo de Washall contido no primeiro passo do algoritmo de <i>clustering</i> elaborado na metodologia desta pesquisa. Representa todos os caminhos possíveis entre os elementos da matriz. Fonte: Eleaboração própria. . . . .	29
Figura 10 – <i>Strong Conected Matrix</i> (S) gerada pela intersecção da matriz $R$ pela sua transposta obtida pela aplicação do algoritmo de <i>clustering</i> elaborado na metodologia desta pesquisa. Representa as conexões fortes entre os elementos do sistema representado pela matriz DSM. Fonte: Elaboração própria. . . . .	29
Figura 11 – Matriz de dependências entre disciplinas ofertadas e horários disponíveis. Fonte: Elaboração própria. . . . .	33
Figura 12 – Matriz de depedências entre as disciplinas ofertadas no Fluxograma de Engenharia Eletrônica. Fonte: Elaboração própria. . . . .	33
Figura 13 – Dependências entre disciplinas (Multiplicação à esquerda pela matriz transposta). Fonte: Elaboração própria. . . . .	34
Figura 14 – Dependências entre horários (Multiplicação à direita pela matriz transposta). Fonte: Elaboração própria. . . . .	35
Figura 15 – Uma amostra da distribuição do nível de dependência na matriz de disciplinas. Fonte: Elaboração própria. . . . .	37

Figura 16 – Uma amostra da distribuição do nível de dependência na matriz de horários. Fonte: Elaboração própria. . . . . 37

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Módulos obtidos ao final da aplicação do algoritmo de <i>clustering</i> . Fonte: Elaboração própria. . . . .	30
Tabela 2 – Faixa numérica para Níveis de Dependência. Fonte: Elaboração própria.	36
Tabela 3 – Quantidade de relações entre disciplinas por nível de dependência. Fonte: Elaboração própria. . . . .	36
Tabela 4 – Primeiro subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	38
Tabela 5 – Segundo subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	38
Tabela 6 – Terceiro subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	38
Tabela 7 – Quarto subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	39
Tabela 8 – Quinto subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	39
Tabela 9 – Sexto subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	39
Tabela 10 – Sétimo subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	39
Tabela 11 – Oitavo subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	40
Tabela 12 – Nono subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria. . . . .	40
Tabela 13 – Maiores Somas Ativas de disciplinas do Documento 1. Fonte: Elaboração própria. . . . .	42
Tabela 14 – Maiores Somas Passivas de disciplinas do Documento 1. Fonte: Elaboração própria. . . . .	42
Tabela 15 – Maiores Somas Passivas de horários do Documento 1. Fonte: Elaboração própria. . . . .	43
Tabela 16 – Disciplinas com nível de dependência médio que estão fora da diagonal da matriz de reacionamento entre disciplinas ofertadas. Fonte: Elaboração própria. . . . .	45

# Lista de Quadros

2.1	Tipos de DSM. Adaptado de: Lindeman e Maurer (2009), (DSM ORG, a).	. . .	19
-----	--	-------	----

# Lista de abreviaturas e siglas

DSM	Design Structure Matrix
MDM	Mutiple Domaind Matrix
FGA	Faculdade do Gama
UnB	Universidade de Brasília
NFZ	Non-Zero Fraction
LSM	Looping Searching Method
FSM	Function Searching Method

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Contextualização	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Problema de pesquisa	15
1.4	Objetivos	16
1.4.1	Objetivo Geral	16
1.4.2	Objetivos específicos	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1	Métodos de Pesquisa	17
2.2	Gestão da Complexidade	17
2.3	Análise Matricial de sistemas complexos	18
2.4	Critérios de análise estrutural	20
2.4.1	Estratégias de <i>Clustering</i>	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
3.1	Análise documental	24
3.2	Criação de matrizes de dependência	24
3.3	Operações matriciais	25
3.4	Aplicação dos critérios de Análise Estrutural	27
3.4.1	Clustering	27
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>31</b>
4.1	Documentos estudados	31
4.2	Análise Documental	32
4.3	Criação de Matriz de Dependência	32
4.4	Operações Matriciais	33
4.4.1	Documento 1 - Lista de Disciplinas 2019	33
4.5	Aplicação de Critérios de Análise Estrutural	35
4.5.1	Documento 1 - Lista de Disciplinas 2019	35
4.5.2	Documento 2 - Fluxograma de Engenharia Eletrônica	37
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>42</b>
5.1	<i>Soma Ativa e Soma Passiva</i>	42
5.2	Nível de Dependência	44
5.3	Particionamento	45

5.4	<i>Clustering</i> . . . . .	46
6	CONCLUSÃO . . . . .	47
	REFERÊNCIAS . . . . .	48
	<b>APÊNDICES</b>	<b>51</b>
	APÊNDICE A – NÍVEL DE DEPENDÊNCIA - MATRIZ HORÁRIOS	52
	APÊNDICE B – NÍVEL DE DEPENDÊNCIA - MATRIZ DISCIPLINAS . . . . .	53
	APÊNDICE C – SOMA PASSIVA - MATRIZ DISCIPLINAS X HORÁRIOS . . . . .	54
	APÊNDICE D – SOMA ATIVA - MATRIZ DISCIPLINAS X HORÁRIOS . . . . .	55
	APÊNDICE E – ALGORITMO DE CLUSTERING APLICADO NA LINGUAGEM COMPUTACIONAL <i>GNU OCTAVE</i>	56
	<b>ANEXOS</b>	<b>57</b>
	ANEXO A – FLUXOGRAMA - ENGENHARIA ELETRÔNICA . . .	58

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

A Gestão da complexidade se tornou cada vez mais relevante para organizações, sendo necessária para gerir o desenvolvimento de produtos, processos e garantir a competitividade de mercado (LINDEMANN; MAURER, 2009). Estudos da indústria mostram uma alta na complexidade de processos e produtos, e inúmeras estratégias de gerenciamento sistemático estão sendo desenvolvidas atualmente para lidar com este desafio (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

No entanto, os métodos atuais para gerenciar a complexidade podem resultar em consequências inadequadas e comprometer suas soluções (LINDEMANN; MAURER, 2009). Segundo Krishnan (2013), estabelecer uma abordagem orientada a processos para decompor os componentes ou pacotes de trabalho de um sistema permite uma maior profundidade na verificação da interação entre esses elementos. Identificar as entradas e saídas de subsistemas ou processos leva ao desenvolvimento de métricas para controlar e adaptar o processo aos níveis de desempenho esperados.

Tratando-se deste desafio, a aplicação de técnicas matriciais para análise das dependências entre os elementos da estruturas de sistemas complexos vem se mostrando eficiente no gerenciamento operacional (LINDEMANN; MAURER, 2009). Desde a década de sessenta pesquisadores propõem a utilização de abordagens matriciais para modelagem e análise de sistemas complexos (STEWART, 1962).

A análise matricial é uma ferramenta de modelagem de relações usada para representar os elementos que compõem um sistema e suas interações. Esta abordagem é particularmente adequada para aplicações no desenvolvimento de sistemas complexos e projetados e até hoje foi usada principalmente na área de gerenciamento de engenharia. Ao horizonte, no entanto, existe uma gama muito mais ampla de aplicações das análises matriciais que abordam questões complexas em gerenciamento de serviços de saúde, sistemas financeiros, políticas públicas, recursos naturais, ciências e sistemas sociais (EPPINGER; BROWNING, 2012).

Representações de fluxos de informações em formas binárias ou numéricas e o desenvolvimento de algoritmos para realinhamento dos elementos internos na matriz são métodos que têm atraído cada vez mais atenção para gerenciar a complexidade dos sistemas de engenharia ou o design de novos produtos (BROWNING; EPPINGER, 2002) (YASSINE, 2014). A grande variedade de métodos baseados em matriz podem ser classificados quanto a quantidade de tipos de elementos envolvidos e os cálculos e processos

computacionais executados (LINDEMANN; MAURER, 2009).

Para visualização dos efeitos da metodologia proposta nesta pesquisa será realizado um estudo de caso em um dos processos operacionais da Universidade de Brasília (UnB) no *campus* Gama (FGA). Desta forma será possível um estudo profundo desde sua concepção até sua aplicação seguida de análise e documentação.

Sistemas educacionais devido a sua dimensão e estrutura, possuem intensa conectividade, diversidade de elementos e relações categorizando-os como sistemas estruturados complexos abrindo a possibilidade para aplicação de estratégias de Gestão da Complexidade.

## 1.2 Justificativa

O aumento na complexidade no desenvolvimento de produtos, processos e corporações exige a criação e aplicação de diferentes metodologias de gestão. A utilização de técnicas de análise matricial neste escopo é um tema pouco abordado na esfera de gerenciamento de processos. A eficiência de sua aplicação em sistemas estruturais bem como as mudanças no mercado e a demanda por técnicas que otimizem a condução destes sistemas constituem as principais motivações do presente estudo.

Os currículos em programas de engenharia devem ser dinâmicos com um objetivo de constante aperfeiçoamento e aprimoramento (JOHNSON, 2012). Além disso sistemas educacionais possuem um alto número de interdependências e número de disciplinas especializadas envolvidas o que os configuram como sistemas complexos passíveis a aplicação de técnicas de gestão da complexidade.

O foco dos objetivos do ensino de engenharia evoluiu do conhecimento para as habilidades. Esta é uma consequência lógica das demandas dos empregadores de engenheiros graduados e do mercado. Essa mudança é chamada de mudança de paradigma no ensino de engenharia (ROMPELMAN, 2010). Desenvolver novas configurações educacionais de engenharia, que integrem as diversas cadeias existentes, é um desafio a ser enfrentado atualmente (FINK, 2001).

A aplicação de metodologias matriciais na gestão dos processos internos à um curso de engenharia pode apresentar diversos ganhos gerenciais na alocação de competências e recursos espaciais.

## 1.3 Problema de pesquisa

A alta demanda por diferentes abordagens para gerenciar sistemas complexos vem estimulando diversos autores a aprofundarem o conhecimento sobre este tema. Uma das

estratégias que se mostra efetiva é a aplicação da gestão por meio de técnicas matriciais.

Assim a principal questão dessa pesquisa é sintetizada em "Como aplicar a análise matricial na gestão de processos?"

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Estudar técnicas de análise matricial no entendimento de sistemas complexos para aumentar a eficiência da gestão operacional.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar a gestão da complexidade;
- Aprofundar o entendimento a respeito de análise matricial aplicada à gestão;
- Entender como funcionam as dependências entre elementos de um sistema;
- Aplicar a metodologia desenvolvida em um estudo de caso;
- Aplicar e desenvolver algoritmos de caracterização estrutural;
- Identificar o comportamento do sistema estudado por meio da metodologia proposta.

## 2 Fundamentação Teórica

Estas informações apresentam um conjunto mínimo de bibliografia levantada para esclarecimento teórico dos temas abordados nesta pesquisa.

### 2.1 Métodos de Pesquisa

Com base em seus objetivos gerais, o estudo realizado caracteriza-se como uma pesquisa de natureza descritiva, pesquisa bibliográfica e documental. Segundo Gil (2002) a pesquisa descritiva tem como objetivo descrever fatos e fenômenos de determinada realidade ou então o estabelecimento de relações entre variáveis.

Por fim, quanto a forma de abordagem, a pesquisa configura-se como uma pesquisa quantitativa. Neste tipo de abordagem, se centra na objetividade e considera que a realidade é compreendida com base na análise dos dados brutos. De acordo Fonseca (2002), a pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno e as relações entre suas variáveis.

### 2.2 Gestão da Complexidade

A Gestão da Complexidade é um termo frequentemente utilizado na aplicação industrial. Segundo Lindemann e Maurer (2009), todo sistema ou produto técnico consiste de processos sequenciados, pessoas e documentos e são caracterizados pelas relações de dependências entre estas partes. Na prática se trata de um conjunto de dependências que tornam os sistemas difíceis de lidar e muitas vezes os tornam complexos. Estas dependências dentro de um sistema criam estruturas como uma forma sequencial, um laço ou uma árvore hierárquica. As estruturas demonstram características de comportamentos práticos dos processos, sendo assim, identificando as estruturas é possível prever o comportamento do sistema.

A compreensão da Gestão da Complexidade exige a definição de termos relevantes que frequentemente são utilizados de diferentes maneiras dependendo do contexto. Sendo assim, as definições de “sistema”, “estrutura” e “complexidade” serão apresentados segundo seu significado específico desta pesquisa.

Vester e Hesler (2000) descrevem que um sistema deve ser composto por diferentes partes e são conectados por um tipo específico de arquitetura. Este também se trata de uma organização de elementos em prol do atingimento de um objetivo (NASA, 2007). Lindemann e Maurer (2009) explicam que as conexões entre as partes de um sistema influ-

enciam no seu comportamento geral e retirar uma destas partes implica numa mudança do resultado do sistema. Também relatam que um sistema é criado por partes compatíveis e inter-relacionadas e alterações em uma de suas partes podem ser caracterizadas por efeitos dinâmicos e resultar em um comportamento específico do sistema. Além disso, também explicam que um sistema dispõe ao menos uma conexão, possui consequentemente uma estrutura intrínseca à ele.

A definição de estrutura tem uma relação direta com a de sistema. Comumente a estrutura é vista como um atributo do sistema (DAENZER; HUBER, 1999). A existência de elementos e relações entre eles geram automaticamente estruturas que descrevem uma determinada ordem (MALIK, 2003). Lindenann e Maurer (2009) explicam que as estruturas são a rede gerada por dependências entre as entidades de um sistema e podem ser caracterizadas pela compilação de ligações implícitas entre estes elementos podendo ser divididas em subconjuntos.

A complexidade existe em um sistema quando ocorre o aumento do número de pessoas envolvidas, escala financeira, número de interdependências internas e externas, variedade de trabalho sendo executado, amplitude do escopo ou número de disciplinas especializadas envolvidas (MAYLOR; TURNER, 2017).

Com os conceitos de sistema, estrutura e complexidade definidos deve-se então determinar estratégias para Gestão da Complexidade. Vester (2000) sugere uma abordagem matricial para consolidação dos dados necessários para gestão, o que se assemelha às abordagens de vários outros autores (PIMMLER; EPPINGER, 1994). Esse procedimento sistematicamente relaciona dependências entre elementos de um sistema facilitando a gestão de processos complexos (LINDEMANN; MAURER, 2009).

## 2.3 Análise Matricial de sistemas complexos

Lindemann e Maurer (2009) explicam que diversas pesquisas propondo abordagens matriciais para modelagem e análise de sistemas começaram a surgir por volta de 1960. Sterward (1981) utilizou abordagens matriciais para representar o fluxo de processos de um sistema, ele apresentou as informações de forma binária em matrizes e desenvolveu algoritmos para realinhar os elementos na matriz .

Internamente às matrizes existem os chamados domínios. Cada tipo de entidade em um sistema representa um “domínio”. Um domínio consiste numa “classe” que permite categorizar e comparar elementos durante um estudo estrutural (BROWNING; EPPINGER, 2002).

As principais análises realizadas nesta pesquisa são a Design Structure Matrix (DSM) e Multiple Domain Matrix (MDM). A DSM e a MDM são matrizes genéricas

estruturadas para análise de um fluxo de informações introduzida por Donald Steward em 1981. A primeira possui apenas um domínio, já a segunda pode ser composta de dois ou mais domínios (DSM ORG, c). Ambas são ferramentas úteis para analisar dependências altamente complicadas, inclusive realimentação e tarefas acopladas (CHEN; CHEN, 2003).

A DSM consiste em uma matriz quadrada que ilustra a interação de cada elemento com todos os outros elementos do modelo. Ao ler uma linha, pode-se observar essas interações através do conteúdo contido nas células correspondentes para cada coluna com referência cruzada. Este tipo de representação fornece uma maneira simples e concisa de descrever um sistema complexo, e é passível de análises profundas, como clusterização (para facilitar a modularização), e seqüenciamento possibilitando a minimização de riscos nos processos (DSM ORG, c). Existem quatro principais tipos de DSMs, o quadro abaixo sumariza os tipos mais comuns de DSM segundo a DSM Org com suas respectivas representações e aplicações (DSM ORG, a).

Quadro 2.1 – Tipos de DSM. Adaptado de: Lindeman e Maurer (2009), (DSM ORG, a).

Tipos de DSM	Representação	Aplicações
Baseada em componentes	Relacionamentos entre os componentes	Arquitetura de sistemas, engenharia e design de produtos
Baseada em pessoas	Relações da unidade organizacional	Design organizacional, gerenciamento de interações, integração de times
Baseada em atividades	Entradas e saídas das atividades	Melhorias de processos, agenda de projetos, fluxogramas

Enquanto a DSM considera relações entre apenas um domínio, a MDM relaciona elementos de pelo menos dois diferentes domínios. A MDM é capaz de capturar diferentes tipos de relacionamentos que coexistem simultaneamente. Desta forma um processo que possui relações em diversos domínios pode ser facilmente representado.

Tendo em vista matrizes de dependências, existem duas principais técnicas para demonstrar a conexão entre as linhas e colunas de matrizes: a representação binária e a numérica. A primeira contém o mínimo de informações sobre a natureza dos relacionamentos já que descrevem apenas a existência de dependência e sua direção, para este tipo de representação utiliza-se zeros e uns ou símbolos equivalentes (LINDEMANN; MAURER, 2009). A segunda, possui informações mais detalhadas sobre as relações entre os elementos da matriz, podendo descrever valores como classificação de importância, probabilidade de repetição, impacto, entre outros (YASSINE, 2014).

## 2.4 Critérios de análise estrutural

Existem diversos métodos para realizar análises de matrizes de dependências, Lindemann explica que são majoritariamente divididos em três principais grupos: caracterização dos nós e arestas, caracterização dos subconjuntos, caracterização dos sistemas (LINDEMANN; MAURER, 2009). Abaixo será apresentada uma coleção dos critérios de análise adotados nesse estudo.

### ***Banding* ou Particionamento**

A medida de caracterização destina-se a indicar grupos de nós mutuamente independentes (ou seja, paralelas ou concorrentes) em uma estrutura pelo realinhamento de elementos na representação da matriz e subsequente aplicação de faixas claras e escuras na matriz indicando estes grupos (GROSE, 1994). As “bandas” podem indicar a independência entre os grupos de elementos selecionados, caso os laços de realimentação não existam ou possam ser excluídos da consideração (LINDEMANN; MAURER, 2009).

Este critério de análise de caracterização de sistemas é recomendado para identificação de uma ordem hierárquica otimizada dos componentes da matriz que permite a determinação de uma sequência processual com menor tempo de execução (DSM ORG, c).

### **Active sum and Passive Sum ou Soma ativa e Soma passiva**

A *Active Sum* indica a quantidade (e a intensidade) de todas as linhas (resultando no total de linhas do nó). A *Passive Sum* indica a quantidade (e a intensidade) de todas as arestas de entrada de um nó (resultando no total da coluna do nó) (LINDEMANN; MAURER, 2009).

Um valor alto (baixo) da Soma Ativa significa grande (pouco) impacto do nó em questão para outros nós na estrutura. Demonstrando o impacto do elemento analisado na matriz nos demais elementos da estrutura. Já um valor alto (baixo) da Soma Passiva significa grande (pouco) impacto de outros nós na estrutura para o nó em questão (DAENZER; HUBER, 1999). Atestando o impacto do sistema como um todo naquele elemento específico.

### **Nível de dependência**

Browning utilizou a classificação do nível de dependência entre os nós em Alto, Médio e Baixo. Este tipo de abordagem indica o nível do relacionamento entre as linhas e colunas da matriz estudada permitindo também uma análise qualitativa ou quantitativa quanto ao grau de suas dependências (BROWNING, 2001).

## Clustering ou Agrupamento

O objetivo é encontrar subconjuntos de elementos DSM (ou seja, clusters ou módulos) que são mutuamente exclusivos ou de interação mínima, ou seja, clusters como grupos que estão interconectados fortemente, enquanto estão pouco conectados ao restante do sistema (DSM ORG, c). Clusters representam uma base para a criação de módulos: uma adaptação de um nó do cluster causa um alto impacto a outros nós neste subconjunto, enquanto a substituição de todo o cluster requer apenas a reconsideração de algumas dependências (LINDEMANN; MAURER, 2009).

Esta estratégia de análise pode permitir a identificação de grupos de nós intimamente relacionados e suas sobreposições. Isso fornece a base para estratégias de modularização (BROWNING, 2015). Tendo em vista que módulos podem ser compartilhados entre diferentes projetos de características semelhantes economizando tempo e capital, o agrupamento de atividades vem se provando um método atraente para gerentes de projetos e organizações baseadas em processos (BROWNING, 2001).

### 2.4.1 Estratégias de Clustering

Segundo o levantamento feito por Haiyan et al. (2019) existem duas principais classes de algoritmos de criação de clusters em matrizes do tipo DSM: o *Loop Searching Method* (LSM) baseado na teoria de grafos e as Funções de Rastreamento (FSM), fundamentados em algoritmos heurísticos. Cada um deles tem seus pontos fortes e fracos dependendo da aplicação.

Haiyan et al. (2019) apresentou um workflow que sintetiza o trabalho de (KO; KUO; YU, 2010) na criação de *clusters* por meio da metodologia LSM ilustrado na Figura 1. O processo se inicia com a construção da matriz DSM do processo ou projeto (matriz A), em seguida a matriz R deve ser construída baseada na matriz A pelo processo de rastreamento do Algoritmo de Warshall. A matriz R gerada pelo algoritmo de Warshall representa todas as ligações diretas e indiretas entre todos os elementos do sistema. Então a *Strong Connected Matrix* (S), apresentada na equação 2.1 pode ser construída, esta matriz julga as conexões mais fortes existentes na matriz de acessibilidade (R) e seus vetores linha contém todos os clusters entre as atividades (KO; KUO; YU, 2010).

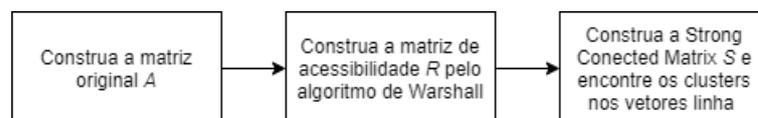


Figura 1 – Workflow para construção da *Strong Connected Matrix* (S). Fonte: Traduzido e adaptado de: (HAIYAN et al., 2019)

$$\mathbf{S} = R \cap R^T \quad (2.1)$$

Posteriormente, organizando o nível de atividades acopladas em cada bloco, pode-se obter uma DSM particionada.

O algoritmo de Warshall é um algoritmo sequencial para o cálculo do fecho transitivo, chamada matriz de acessibilidade. A necessidade de se computar o fecho transitivo apresenta-se normalmente quando um grafo é utilizado para representar as procedências ou relações entre objetos. O conceito do algoritmo consiste em: se um grafo contém caminhos entre  $v \rightarrow^* w$  e  $w \rightarrow^* u$  de forma que os vértices internos ao caminho pertençam a um conjunto específico  $R$ , então o grafo possui também um caminho  $v \rightarrow^* u$  com os vértices internos pertencendo ao conjunto  $R$  (JUNIOR, 2003).

Ko, Kuo e Yo (2010) sintetizaram a aplicação do algoritmo de Warshall na seguinte forma:

$$\mathbf{R}^{(k)}[i, j] = R^{(k-1)}(i, j) \oplus (R^{(k-1)}(i, k) \otimes R^{(k-1)}(i, j)) \quad (2.2)$$

Onde " $\oplus$ " é chamado de operador de soma booleana e " $\otimes$ " de operador de produto booleano. Ambas as operações são definidas como segue:

Regra 1: Se um elemento na linha  $i$  e coluna  $j$  é 1 em  $R^{(k-1)}$ , permanece 1 em  $R^{(k)}$ .

Regra 2: Se um elemento na linha  $i$  e coluna  $j$  é 0 em  $R^{(k-1)}$ , deve ser alterado para 1 em  $R^{(k)}$ , se e apenas se, seu elemento na linha  $i$  e coluna  $k$  e o elemento na linha  $k$  e coluna  $j$  são os dois iguais a 1 em  $R^{(k-1)}$ .

Desta forma é possível determinar a matriz de acessibilidade ( $R$ ) e aplicar operações matriciais de transposição e intercessão indicadas para as etapas seguintes da metodologia apresentada para obtenção dos cluестeres (HAIYAN et al., 2019).

O segundo método, o FSM, tem o objetivo de agrupar atividades em clusters que estão vagamente conectados entre si com base em um limiar de similaridade. Algoritmos como FSM foram desenvolvidos para agrupamento DSM, como complemento ao LSM. O FSM mais utilizado existente inclui algoritmos genéticos e *Simulated Annealing* (BONJOUR et al., 2009).

Com as metodologias de clustering definidas, e com o objetivo de reduzir significativamente a incerteza e retrabalhos em projetos complexos, (HAIYAN et al., 2019) desenvolveu uma abordagem para a escolha adequada do método de agrupamento ideal da DSM de acordo com o número de atividades na matriz e da métrica *Non-Zero Fraction* (NZF) baseada na teoria de Hölttä-Otto e Weck, (2007). A NZF atua como uma indicação da densidade da matriz estudada e varia entre 0 e 1, podendo ser determinada de acordo com a equação (2.3).

$$\mathbf{NFZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathit{DSM}(i, j)}{n(n-1)} \quad (2.3)$$

A partir do valor da densidade e do número de atividades uma curva com quatro zonas de atuação diferentes para para aplicação das metodologias de clustering foi proposta por Haiyan et al. (2019).

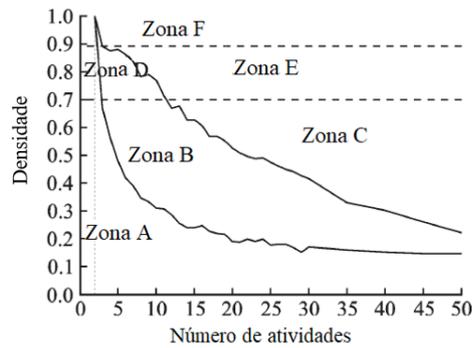


Figura 2 – Áreas de trabalho do LSM e FSM para DSMs com números diferentes de atividades e densidade [Adaptado de: (HAIYAN et al., 2019)]

A Zona A indica a área em que os métodos LSM e FSM podem funcionar bem. De acordo com a densidade da matriz, o método LSM deve ser preferencialmente escolhido nesta zona. Nas Zonas B e D, o LSM começa a perder sua capacidade de agrupamento e a vantagem de FSM aparece. Além disso, deve-se definitivamente usar FSM nas Zonas C e E porque o LSM se torna inválido nessas duas zonas. Casos na zona F não podem ser resolvidos por LSM ou FSM e outras metodologias devem ser aplicadas (HAIYAN et al., 2019).

## 3 Metodologia

### 3.1 Análise documental

Para o atingimento dos objetivos desta pesquisa deve-se primeiramente realizar a análise documental do sistema estudado. Sistemas estruturados, em sua grande maioria, possuem documentos que descrevem seus processos, agendas, atividades ou outras categorias. Estes escritos pactuam o que o observado na realidade e transfere estas definições para estruturas analógicas ou digitais (nos casos de documentos digitais).

Da perspectiva estrutural, um sistema pode ser desconstruído em um modelo de rede de entidades e suas respectivas relações. Uma das abordagens recomendadas para desconstrução de um sistema é a conversão de documentos em matrizes. Este tratamento transporta o conteúdo antes concentrado em forma de texto para uma visualização matricial de dependências entre seus respectivos domínios. Para analisar documentos através de um estudo matricial é preciso determinar os domínios que serão examinados e os tipos de relacionamentos existentes entre eles. Em documentos do tipo agenda as dependências acham-se entre horários e atividades específicas, no caso de um fluxograma de processos estão em como uma atividade precede a outra. Existem também aqueles que relacionam pessoas com seus determinados exercícios. Desta forma, podem existir diversos tipos de documentos a serem analisados, o essencial é determinar quais são os elementos relevantes que os compõem e como as relações entre eles se comportam.

### 3.2 Criação de matrizes de dependência

Após a definição dos elementos e domínios a serem analisados é preciso criar as matrizes de dependências para posterior estudo. Com o resultado da análise documental deve-se então determinar o tipo de matriz que o documento estudado originará. Se relações dos elementos examinados são pertencentes a um mesmo tipo, as matrizes relacionadas poderão ser definidas como intradomínio, a DSM. Matrizes que combinam elementos pertencentes a domínios diferentes são chamadas de matrizes entre domínios, a MDM. Por exemplo, componentes e funções de um produto podem ser considerados como elementos pertencentes a dois domínios diferentes, já atividades e suas características de dependências são consideradas elementos intra domínios. Com este entendimento deve-se portanto listar os elementos dos domínios em suas respectivas linhas e colunas para que então sejam elencadas suas relações.

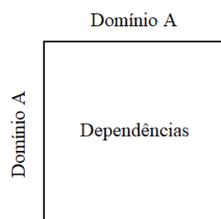


Figura 3 – Domínios da DSM. Fonte: Adaptado de: (LINDEMANN; MAURER, 2009)

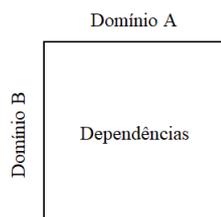


Figura 4 – Domínios da MDM. Fonte: Adaptado de: (LINDEMANN; MAURER, 2009)

Com as informações sobre os domínios inseridas é necessário apontar as dependências entre eles. Existem duas principais técnicas para demonstrar a conexão entre linhas e colunas de matrizes: a representação binária e a numérica. Neste momento deve-se escolher se a representação matricial informará apenas a respeito de relacionamentos entre os domínios ou também informações como probabilidade, nível de dependência, impacto, etc. Após a escolha do tipo de representação e munido das informações contidas no documento analisado, tem de se então elencar as relações entre os elementos da matriz.

No caso de documentos do tipo agenda opta-se por uma representação numérica de dependência, em que o número zero representa a não existência de relação entre a atividade e o horário, o número um indica que a atividade da linha analisada tem relação com o horário da coluna relacionada, para apontar que a matéria foi ofertada no mesmo horário um determinado número de vezes. Esta última representação se faz necessária para que as operações matriciais aplicadas posteriormente tenham resultados condizentes.

### 3.3 Operações matriciais

De posse da matriz de dependências construída a partir da análise documental, torna-se possível realizar estudos matriciais com os insumos obtidos. A análise matricial realizada nesta pesquisa constitui-se de duas principais etapas: a aplicação de operações matriciais e a observação dos resultados numéricos obtidos.

As operações matriciais devem ser aplicadas em três estágios diferentes: a criação da matriz transposta, multiplicação da própria matriz pela sua transposta à esquerda e também à direita.

$$\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{A}^T \quad (3.1)$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{A}^T \quad (3.2)$$

$$\mathbf{A}^T \times \mathbf{A} \quad (3.3)$$

É importante o entendimento que caso a matriz estudada seja inter domínio a sua multiplicação por sua transposta dá-se origem a uma matriz de apenas um domínio. Se a multiplicação for à esquerda origina-se uma matriz quadrada com as entidades contidas nas colunas originais. Se ocorrer à direita resulta numa matriz quadrada com os elementos da linhas originais. Ou seja, por meio desse procedimento ocorre a transformação de uma MDM para duas DSM conforme apontado nas figuras 5 e 6.

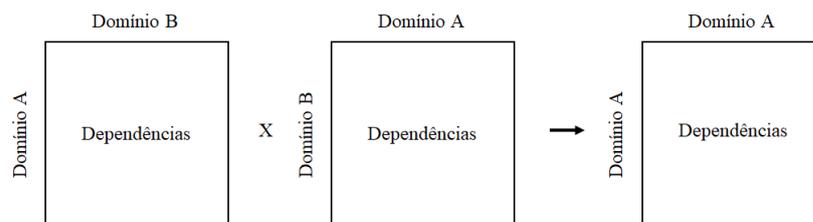


Figura 5 – Multiplicação da matriz transposta da MDM à esquerda. Fonte: Elaboração própria.

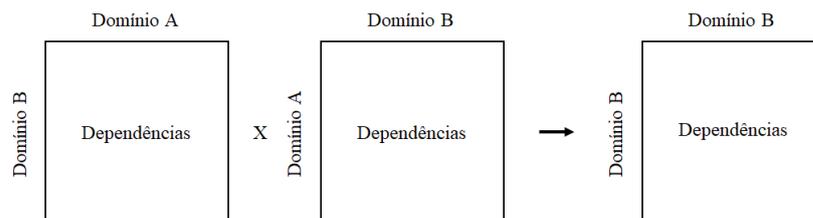


Figura 6 – Multiplicação da matriz transposta da MDM à direita. Fonte: Elaboração própria.

Estas operações podem ser aplicadas por meio de algoritmos de programação ou por meio de softwares que as realizem de forma automática. Após aplicadas as operações matriciais obtém-se quatro diferentes matrizes: Original, Transposta, Original multiplicada à esquerda e a direita pela Transposta.

Na matriz Original é possível ter uma visão ampla sobre os domínios listados. Nesta visualização, a quantidade de elementos e suas relações diretas são facilmente analisadas viabilizando a Gestão da Complexidade por meio de indicadores como quantidade de dependências por entidades, quantidade total por domínio, etc. Esta é a tradução do

conteúdo do documento analisado para a forma matricial. A Transposta é obtida a partir da Original trocando ordenadamente as linhas pelas colunas e permite o mesmo tipo de análise sobre seu conteúdo.

A matriz Original multiplicada à esquerda ou à direita pela Transposta é uma DSM, ou seja, possui apenas um domínio. Nesta matriz faz-se o estudo das relações entre os elementos do domínio podendo verificar as interações entre eles por meio de uma análise numérica, pois devido a álgebra matricial as matrizes resultantes possuem valores que representam numericamente a intensidade destas relações. Além de indicar relações críticas pois aquelas com os maiores valores possuem um grau maior de dependência.

### 3.4 Aplicação dos critérios de Análise Estrutural

Seguindo os objetivos da pesquisa, com as as matrizes construídas e operacionalizadas deve-se aplicar técnicas de análise matricial para que sejam tiradas maiores conclusões sobre o objetivo estudado.

Para matrizes de dependências que possuam mais de um domínio faz-se aplicação da medida de caracterização Soma Ativa e Soma Passiva. Desta maneira é possível estabelecer conclusões a respeito da intensidade numérica dos nós contidos nas relações entre as entidades do sistema estudado.

As matrizes obtidas como resultado das operações matriciais aplicadas na etapa anterior são do tipo DSM numérica e isto torna possível a aplicação de estruturas de caracterização como a de nível de dependência. Para este tipo de abordagem é preciso primeiramente definir uma escala para o caso estudado. Desta forma conhecendo-se o nível máximo e o mínimo de relacionamento existente deve-se então estabelecer escalas de dependência baseadas em seu valor numérico nos níveis Alto, Médio e Baixo.

Para aquelas matrizes natas DSM além das estruturas citadas anteriormente pode-se aplicar algoritmos de clusterização visando encontrar subconjuntos de entidades internos ao sistema.

Todas as caracterizações estruturais citadas podem e devem ser aplicadas com o auxílio de softwares de mercado indicados para cada sistema de acordo com suas particularidades.

#### 3.4.1 Clustering

Com a intenção de aprofundar o nível de caracterização estrutural sobre a matriz DSM estudada, técnicas de clustering devem ser implementadas. A estratégia de criação de clusters proposta nesta pesquisa é dividida nas principais fases apresentadas pela figura 7.

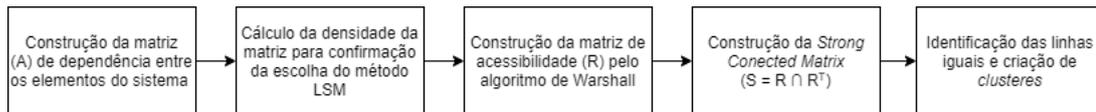


Figura 7 – Workflow para criação de clusteres em matrizes DSM. Fonte: Elaboração própria.

A construção da matriz de dependência  $A$  foi abordada na seção 3.2 e é a primeira etapa para a análise de clusteres. Com a matriz construída, deve-se calcular sua densidade por meio da *Non-Zero Fraction* e a partir deste resultado realizar o estudo da curva de Haiyan 2.4.1 que propõe as zonas de atuação das classes de algoritmos para definição do método de *clustering* mais indicado para matriz estudada. Neste estudo serão trabalhadas matrizes de baixa densidade ( $NZF < 0,1$ ) e com o número máximo de elementos entre 50 e 60. Sendo assim, a classe de algoritmo detalhada e aplicada será a LSM. Após a confirmação do método mais adequado para criação de clusteres, a matriz  $A$  deve ser transformada na de acessibilidade  $R$ , por meio do algoritmo de Warshall.

Com a obtenção da matriz  $R$ , a multiplicação dela pela sua transposta realiza-se elemento a elemento, resultando na intersecção entre as duas matrizes. Ao fim é necessário identificar as linhas iguais contidas na matriz  $S$ . Caso a linha  $i$  seja igual a linha  $(i+n)$ , significa que esses elementos podem ser modularizados e fazem parte de um cluster do sistema. Dessa forma identificando os grupos de linhas iguais será possível descobrir os clusteres gerados pelo aplicação do algoritmo. Por fim o algoritmo retorna vetores que contem os elementos que fazem parte de um grupo.

Para implementação da metodologia proposta nesta parte do estudo, a linguagem computacional *GNU Octave* versão 5.2.0 foi utilizada. O código construído está apresentado no apêndice E cointido na página 57.

Com o objetivo de vefificar o funcionamento do algoritmo, ele foi aplicado numa matriz de menor dimensão que já passou pelo processo de clusterização no trabalho de Haiyan et al. (2019). Desta forma é possível realizar uma validação prévia do algoritmo de criação de módulos proposto num escopo menor e já validado previamente.

A matriz utilizada para verificação possui dimensão  $n = 10$ . A figura 8 mostra a matriz original  $A$ , em seguida a figura 9 ilustra a matriz de acessibilidade  $R$  gerada pela aplicação do algoritmo de Warshall por meio do código elaborado na metodologia desta pesquisa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
B	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
C	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
D	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
E	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
F	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
G	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
H	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
I	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
J	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1

Figura 8 – Matriz DSM de dimensão 10x10 utilizada para validação do algoritmo de criação de clusteres. Fonte: Adaptado de Haiyan et al. (2019)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
B	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
C	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
D	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
G	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
H	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
J	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1

Figura 9 – Matriz de acessibilidade  $R$  gerada pela aplicação do algoritmo de Washall contido no primeiro passo do algoritmo de *clustering* elaborado na metodologia desta pesquisa. Representa todos os caminhos possíveis entre os elementos da matriz. Fonte: Eleboração própria.

A matriz  $R$  representa todos os caminhos possíveis entre os elementos do sistema por ela representado. Com a intersecção da matriz  $R$  pela sua transposta alcança-se a *Strong Connected Matrix* ( $S$ ), representada pela figura 10, que elenca as relações fortes entre os componentes da matriz original.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
B	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
C	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
D	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
E	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
F	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
G	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
H	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
I	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
J	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1

Figura 10 – *Strong Connected Matrix* ( $S$ ) gerada pela intersecção da matriz  $R$  pela sua transposta obtida pela aplicação do algoritmo de *clustering* elaborado na metodologia desta pesquisa. Representa as conexões fortes entre os elementos do sistema representado pela matriz DSM. Fonte: Elaboração própria.

Por fim por meio da identificação das linhas iguais contidas na matriz  $S$  e o registro dessas linhas em vetores que representam os grupos dos elementos é possível obter grupos

modularizados dos componentes do sistema apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Módulos obtidos ao final da aplicação do algoritmo de *clustering*. Fonte: Elaboração própria.

<i>Cluster 1</i>	A	D	F
<i>Cluster 2</i>	B	H	J
<i>Cluster 3</i>	C	G	-
<i>Cluster 4</i>	E	I	-

Os resultados obtidos nos módulos apresentados na Tabela 1 são idênticos aos identificados por Haiyan et al. (2019) em sua pesquisa, comprovando a eficiência do algoritmo na formação de grupos de elementos em matrizes DSM.

Com o propósito de validar especificamente o funcionamento da penúltima etapa do código, aquela que encontra a interseção entre a matriz  $R$  e sua transposta, para casos de matrizes de maior dimensão utilizou-se também uma técnica de validação manual. Após a obtenção da matriz de acessibilidade ( $R$ ) e de  $R^T$ , realiza-se a impressão de cada conjunto de valores encontrados em folhas de papel vegetal.

Em seguida, uma folha deve ser sobreposta à outra identificando possíveis intersecções entre os valores de cada posição das matrizes. Essa fase tem como objetivo verificar a existência de intersecções entre as matrizes garantindo que os resultados obtidos pela linguagem computacional sejam condizentes com a realidade encontrada.

## 4 Estudo de Caso

Com o objetivo de se aprofundar no tema abordado neste trabalho, um estudo de caso será adotado para demonstrar a funcionalidade das técnicas propostas nesta pesquisa. O estudo de caso, segundo Gil, consiste no estudo profundo de um objeto de forma a proporcionar um detalhamento amplo do tema abordado. Ainda por se tratar de um estudo de caso, deve-se preservar o caráter unitário do objeto estudado, descrever a situação do contexto da investigação realizada e formular hipóteses ou desenvolver teorias a respeito do problema tratado (GIL, 2002).

O estudo será realizado em uma universidade de grande porte brasileira, a Universidade de Brasília (UnB) em sua unidade do Gama, a Faculdade do Gama (FGA). Foram analisados documentos oficiais do campus visando compreender profundamente a distribuição das matérias ofertadas na unidade e como a gestão por processos pode impactar na eficiência deste sistema.

A FGA devido a sua dimensão e estrutura possui relações intrínsecas de seus recursos e atividades que podem ser classificados como sistemas estruturados complexos abrindo a possibilidade para aplicação de estratégias de Gestão da Complexidade.

A aplicação da metodologia proposta na pesquisa neste contexto pode trazer importantes *insights* para os responsáveis da gestão dos recursos físicos e limitados que fazem interface direta com os processos que serão estudados, como salas de aula, horários disponíveis por professores, quantidade de alunos etc. Essa análise aliada ao trabalho pedagógico realizado pela equipe de coordenação da FGA e do curso de Engenharia Eletrônica pode fundamentar decisões estratégicas sobre gestão e alocação dos recursos citados.

Nessa etapa do trabalho serão abordadas as aplicações da metodologia de pesquisa desenvolvida para auxiliar na busca de respostas acerca da eficácia da gestão por processos no gerenciamento de processos no escopo de disciplinas e horários na FGA.

### 4.1 Documentos estudados

Seguindo os objetivos da pesquisa e sua metodologia proposta o estudo aprofundou-se na análise dos documentos “Lista de Ofertas de Disciplinas 2019” (Documento 1) e “Fluxograma de Engenharia Eletrônica” (Documento 2).

A oferta de disciplinas possui elementos que possuem dependências (as matérias ofertadas e horários) e é organizada para atingir um objetivo que é o atendimento dos planos de ensino dos cursos oferecidos dentro do campus. As disciplinas ofertadas são relacionadas aos horários disponíveis e uma mudança desta oferta acarreta em altera-

ções sequenciais nas demais tendo em vista o recurso limitado de espaço. Estes aspectos caracterizam o processo representado pelo Documento 1 como um sistema.

Além disso, a Lista de Ofertas de Disciplinas 2019 possui uma estrutura intrínseca à ela contida nos fluxos de ensino de cada curso. Sendo assim seus elementos são relacionados de forma sistemática podendo se subdividir em conjuntos como cursos diferentes de graduação ou cadeias de matérias relacionadas. Por fim, a relação entre as matérias ofertadas, fluxos dos cursos oferecidos e os horários disponíveis o caracterizam um sistema estruturado e complexo.

O Documento 2 representa de forma organizada as relações de dependências entre disciplinas, relacionando uma espécie de fluxograma de atividades que podem ser executadas sequencialmente ou paralelamente.

## 4.2 Análise Documental

Na análise a respeito dos domínios dos documentos estudados no Documento 1 percebeu-se que dois principais domínios: disciplinas e horários. Para o Documento 2, observou-se apenas um domínio relevante ao estudo: as disciplinas do currículo.

## 4.3 Criação de Matriz de Dependência

Com a definição dos principais domínios existentes proveniente dos documentos estudados, tornou-se possível a classificação das matrizes como DSM ou MDM. Como possui mais de um domínio a matriz resultante do Documento 1 será do tipo MDM, já a decorrente do Documento 2 se caracterizará em uma matriz do tipo DSM devido ao fato de possuir apenas um domínio.

Estabelecidos os tipos de matrizes estudadas, utilizou-se o software *Microsoft Excel 2010* para criação das linhas e colunas matriciais. Para o Documento 1 as matérias ofertadas foram listadas como linhas na matriz e os horários disponíveis representados como colunas.

Para o Documento 1 adotando os procedimentos metodológicos definidos anteriormente obteve-se ao final da tabulação uma matriz de 169 linhas (disciplinas ofertadas) e 31 colunas (horários disponíveis). A figura 11 apresenta uma amostra da matriz obtida.

Disciplina - Código	Seg - 08:00 - 09:50	Seg - 10:00 - 11:50	Seg - 12:00 - 13:50	Seg - 14:00 - 15:50	Seg - 16:00 - 17:50
Prática de Circ Eletrônicos 1 - 119148	0	1	0	0	0
Prática de Circuitos Eletrônicos 2 - 119458	0	0	0	0	0
Prática de Eletrônica Digital 1 - 119466	1	1	0	1	1
Prática de Eletrônica Digital 2 - 119474	0	0	0	0	0
Teoria Eletrônica Digital 1 - 119482	0	0	0	0	0
Teoria Eletrônica Digital 2 - 119491	0	0	0	0	0

Figura 11 – Matriz de dependências entre disciplinas ofertadas e horários disponíveis.  
Fonte: Elaboração própria.

No Fluxograma de Engenharia Eletrônica as disciplinas representam tanto as linhas como as colunas da matriz de dependências. Neste documento optou-se pela representação binária de dependências já que este documento elenca atividades sequenciais que são melhores representadas desta maneira. Neste documento obteve-se ao final da tabulação uma matriz quadrada de 50 linhas e 50 colunas. Uma amostra desta matriz é apresentada na figura 12.

Disciplinas		1	2	3	4	5	6
Cálculo 1	1						
Algoritmos de Programação de computadores	2						
Desenho industrial assistido por computador	3						
Engenharia e ambiente	4						
Introdução à engenharia	5						
Cálculo 2	6	1					

Figura 12 – Matriz de dependências entre as disciplinas ofertadas no Fluxograma de Engenharia Eletrônica. Fonte: Elaboração própria.

De posse das matrizes de dependências elaboradas, aplicou-se então os métodos sugeridos na seção anterior para análise das dependências existentes.

## 4.4 Operações Matriciais

### 4.4.1 Documento 1 - Lista de Disciplinas 2019

O Documento 1 originou uma MDM, este fato corroborou na viabilidade da implementação da metodologia proposta para esta categoria de matriz. Em conformidade

com os métodos de pesquisa propostos, após a elaboração das matrizes de dependências foram aplicadas operações matriciais às matrizes originais estudadas.

Para aplicação das operações matriciais desta seção foi utilizado o software *Microsoft Excel* que é uma ferramenta de fácil manipulação e que permite a realização de análises em diversos níveis. As matrizes completas resultantes destas operações estão contidas nos apêndices deste trabalho e as figuras 13 e 14 representam uma amostra do resultado obtido pelas operações.

	Prática de Circ Eletrônicos 1 - 119148	Prática de Circuitos Eletrônicos 2 - 119458	Prática de Eletrônica Digital 1 - 119466	Prática de Eletrônica Digital 2 - 119474	Teoria Eletrônica Digital 1 - 119482	Teoria Eletrônica Digital 2 - 119491
Prática de Circ Eletrônicos 1 - 119148	7	0	3	1	4	0
Prática de Circuitos Eletrônicos 2 - 119458	0	2	0	0	0	0
Prática de Eletrônica Digital 1 - 119466	3	0	8	0	1	0
Prática de Eletrônica Digital 2 - 119474	1	0	0	2	1	0
Teoria Eletrônica Digital 1 - 119482	4	0	1	1	6	0
Teoria Eletrônica Digital 2 - 119491	0	0	0	0	0	2

Figura 13 – Dependências entre disciplinas (Multiplicação à esquerda pela matriz transposta). Fonte: Elaboração própria.

	Seg - 08:00 - 09:50	Seg- 10:00 - 11:50	Seg - 12:00 - 13:50	Seg- 14:00 - 15:50	Seg - 16:00 - 17:50
Seg - 08:00 - 09:50	21	7	1	4	1
Seg- 10:00 - 11:50	7	31	1	6	5
Seg - 12:00 - 13:50	1	1	2	0	0
Seg- 14:00 - 15:50	4	6	0	20	4
Seg - 16:00 - 17:50	1	5	0	4	20

Figura 14 – Dependências entre horários (Multiplicação à direita pela matriz transposta).  
Fonte: Elaboração própria.

## 4.5 Aplicação de Critérios de Análise Estrutural

### 4.5.1 Documento 1 - Lista de Disciplinas 2019

Neste documento aplicou-se dois principais critérios de análise estrutural: Soma Ativa e Soma Passiva e a Análise de Nível de Dependência.

#### ***Soma Ativa e Soma Passiva***

Essa classificação foi aplicada à matriz original provenientes do Documento 1 (disciplinas e horários). O objetivo da aplicação desta caracterização é que seja possível a identificação da quantidade e intensidade das relações presentes entre as linhas e as colunas da matriz. Desta forma, facilita-se a visualização da quantidade de disciplinas oferecidas por horário ou a quantidade de turmas ofertadas para determinada disciplina.

#### **Nível de Dependência**

Esta classificação foi empregada nas matrizes das figuras 13 e 14. O processo de implementação desta medida de classificação estrutural contou com duas principais etapas: a criação de faixas numéricas para representar os níveis de dependência (Alto, Médio e Baixo) e a utilização do software *Microsoft Excel* para plotar os níveis de dependências na matriz.

Para criação das faixas numérica correspondentes a cada grau de relacionamento primeiramente observou-se o maior valor contido em cada matriz analisada. Com esses valores identificados aplicou-se a divisão por três para viabilizar a representação de três

diferentes níveis de relações entre os elementos. A escala numérica utilizada é especificada com maiores detalhes na Tabela 2.

Tabela 2 – Faixa numérica para Níveis de Dependência. Fonte: Elaboração própria.

	<b>Maior valor</b>	<b>Nível Baixo de Dependência</b>	<b>Nível Médio de Dependência</b>	<b>Nível Alto de Dependência</b>
Dependências entre disciplinas	17	0 ao 6	7 ao 11	12 ao 17
Dependências entre horários	34	0 ao 11	12 ao 22	23 ao 34

Adotando esta classificação estrutural baseada no nível das dependências entre os elementos das matrizes tornou-se viável a mensuração de quantas relações possuem alta, média ou baixa dependência entre si, gerando um indicador relevante para gestão da complexidade envolvida no sistema. Os valores encontrados estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de relações entre disciplinas por nível de dependência. Fonte: Elaboração própria.

	<b>Total (Baixo)</b>	<b>Total (Médio)</b>	<b>Total (Alto)</b>
Dependência entre disciplinas	7291	13	5
Dependência entre horários	467	19	24

Seguindo o modelo aplicado por Browning foi utilizada uma representação simbólica dos níveis para viabilizar um melhor entendimento visual da distribuição dos níveis de dependência nas matrizes (BROWNING, 2001) como demonstrado nas figuras 15 e 16.



Disponível na página da DSM ORG (b) encontra-se uma macro implementada no *Microsoft Excel* que possibilita a aplicação de algoritmos de caracterização estrutural aplicando as técnicas de *clustering* e particionamento. Na primeira fase da pesquisa optou-se pela utilização dessa ferramenta pois se trata de uma solução de fácil e acesso e implementação.

Com a aplicação desse algoritmo foi possível visualizar novos subsistemas a partir do particionamento e concluir que após a *clusterização* a matriz original não sofreu alterações e nove partições de relações fortes foram identificadas.

Tabela 4 – Primeiro subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 1</b>
Cálculo 1
Algoritmos de Programação de computadores
Desenho industrial assistido por computador
Engenharia e ambiente
Introdução à engenharia

Tabela 5 – Segundo subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 2</b>
Cálculo 2
Física 1
Física 1 experimental
Introdução à álgebra linear
Probabilidade e estatística aplicada à engenharia
Engenharia econômica

Tabela 6 – Terceiro subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 3</b>
Cálculo 3
Mecânica dos sólidos 1 para engenharia
Química geral teórica
Química geral experimental
Métodos numéricos para engenharia
Teoria eletrônica digital 1
Prática eletrônica digital 1

Tabela 7 – Quarto subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 4</b>
Prática de eletromagnetismo
Teoria de eletromagnetismo
Fenômenos de transporte
Teoria de circuitos eletrônicos 1
Prática de circuitos eletrônicos 1
Teoria eletrônica digital 2
Prática eletrônica digital 2
Projeto integrador de engenharia 1
Sinais e sistemas para engenharia
Teoria de materiais de construção de engenharias
Laboratório de materiais de construção de engenharia

Tabela 8 – Quinto subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 5</b>
Teoria de eletricidade aplicada
Eletrônica embarcada
Laboratório de eletricidade aplicada
Teoria de física dos dispositivos eletrônicos
Prática de física dos dispositivos eletrônicos
Humanidades e cidadania
Gestão da produção e qualidade
Princípios de controle
Princípios de comunicação para engenharia

Tabela 9 – Sexto subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 6</b>
Teoria de circuitos eletrônicos 2
Prática de circuitos eletrônicos 2
Engenharia de segurança do trabalho
Processamento de sinais

Tabela 10 – Sétimo subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 7</b>
Projeto de circuitos integrados 1
Instrumentação eletrônica para engenharia
Sistemas operacionais embarcados

Tabela 11 – Oitavo subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 8</b>
Teoria de circuitos eletrônicos 3
Prática de circuitos eletrônicos 3
Projeto integrador de engenharia 2
Trabalho de conclusão de curso 1

Tabela 12 – Nono subsistema indicado na aplicação de particionamento. Fonte: Elaboração própria.

<b>Nova Partição 9</b>
Trabalho de conclusão de curso 2

### Aplicação do algoritmo de *Clustering*

Na segunda fase do estudo, seguindo a metodologia de pesquisa foi possível realizar o cálculo da densidade da matriz DSM gerada pelo Documento 2 para confirmação da maior adequação do método LSM de *clustering* para o caso analisado. O valor encontrado para o NFZ da matriz foi de 0.023265. Este fato aliado ao de que a matriz possui 50 elementos a enquadra na zona A da curva de (HAIYAN et al., 2019) viabilizando o uso da classe de algoritmos LSM.

Com a aplicação das próximas etapas apresentadas na metodologia de identificação de clusters obteve-se uma matriz S com todas as linhas e colunas iguais a 0. Na última fase proposta, a de identificação das linhas iguais para criação dos módulos, torna-se clara a existência de apenas um módulo gerado pelo algoritmo, que é aquele que contém todos os elementos da matriz já que todas as linhas da matriz S são iguais.

## 5 Discussão

Estas informações apresentam uma análise crítica dos resultados obtidos na aplicação da metodologia proposta na pesquisa no estudo de caso abordado.

### 5.1 *Soma Ativa e Soma Passiva*

O objetivo da aplicação desta caracterização foi viabilizar a visualização da quantidade de disciplinas oferecidas por horário ou a quantidade de turmas ofertadas para determinada disciplina de forma simples e direta. Desta forma as tabelas apresentadas nos apêndices C e D, contidos nas páginas 56 e 55 respectivamente, listam esses valores, que são importantes fundamentos para tomada de decisão gerencial no planejamento e distribuição desses elementos. Essa caracterização permite ao gestor responsável pela elaboração da oferta a fácil visualização dos horários com maior demanda bem como as disciplinas mais ofertadas.

As tabelas 13, 14 e 15 mostram respectivamente as três disciplinas com o maior número de turmas ofertadas, com maior impacto da oferta no geral sobre elas e os horários com o maior número de turmas simultâneas.

Tabela 13 – Maiores Somas Ativas de disciplinas do Documento 1. Fonte: Elaboração própria.

<b>Disciplina</b>	<b><i>Soma Ativa</i></b>
Desenho industrial assistido por computador - 199176	14
Cálculo 2 - 113042	12
Algoritmos Progr Computadores - 113476	12
Química Geral Experimental - 114634	10
Física 1 Experimental - 118010	14

Tabela 14 – Maiores Somas Passivas de disciplinas do Documento 1. Fonte: Elaboração própria.

<b>Disciplina</b>	<b><i>Soma Passiva</i></b>
Física 1 Experimental - 118010	147
Cálculo 2 - 113042	126
Algoritmos Progr Computadores - 113476	123

Tabela 15 – Maiores Somas Passivas de horários do Documento 1. Fonte: Elaboração própria.

<b>Horário</b>	<b><i>Soma Passiva</i></b>
Seg- 10:00 - 11:50	30
Ter - 14:00 - 15:50	30
Qua - 10:00 - 11:50	32
Qua - 14:00 - 15:50	31

Além disso sabe-se que quanto maiores o Soma Ativa de um nó (disciplina), mais alto é o impacto deste nó nos demais. Enquanto que quanto maior a Soma Passiva maior o impacto da estrutura neste nó. Essas informações podem servir de base para que alunos, professores, esforços e recursos administrativos estejam focados nestes casos críticos.

Essa análise pode fundamentar a decisão de remanejar a distribuição das turmas pelos horários para que não haja concentração em horários específicos ou justificar a retirada ou adição de uma turma específica devido ao número de oferta existente. Além disso, o conhecimento da informação do quanto uma disciplina tem poder de impacto nas demais pode trazer melhor poder de decisão para os estudantes no momento da escolha das disciplinas cursadas no semestre.

Um dos desdobramentos da análise das maiores Somas Ativas da matriz de disciplinas está na escolha do currículo por parte do discente. Possuindo esses valores o aluno pode optar por uma distribuição melhor dos impactos das disciplinas ao longo dos semestres cursados, diluindo as matérias que possuem maior impacto nos outros nós o que por fim pode diminuir o peso de uma possível reprovação. Já a Soma Passiva fornece a informação do impacto daqueles horários nos demais, o que apoia a construção do currículo semestral já que possibilita o aluno a ponderar melhor a opção de turmas diferentes oferecidas na mesma matéria por exemplo.

As maiores Somas Passivas por indicarem as disciplinas em que a estrutura do sistema possui um maior impacto, podem ser insumos para decisão de aumentar o número da oferta dessas disciplinas em questão, já que a análise mostra o quanto estes elementos são dependentes do sistema como um todo.

## 5.2 Nível de Dependência

A classificação de nível de dependência foi empregada nas matrizes resultantes das operações matriciais propostas na metodologia. A aplicação dessa abordagem teve como objetivo a indicação do nível do relacionamento entre as linhas e colunas das matrizes estudadas, permitindo também uma análise qualitativa ou quantitativa quanto ao grau de suas dependências. Tanto na matriz 13 que representa as relações entre disciplinas quanto na 14 que representa as relações entre horários observou-se uma forte relação entre elementos das diagonais da matriz. Isso se deve ao alto nível de dependência entre os próprios componentes.

### Horários

As relações entre elementos da matriz de relacionamentos entre horários fora da diagonal com um alto nível de dependência foram os quatro períodos da terça-feira e quinta-feira. Isso representa que se um aluno ou professor compromete algum desses horários a chance é alta de que o outro também seja comprometido devido ao alto nível de dependência entre esses componentes

### Disciplinas

As relações da matriz de relacionamento entre as disciplinas ofertadas fora da diagonal se deu apenas nos níveis baixo e médio, desta forma as relações de nível médio serão analisadas de forma mais aprofundada. A tabela 16 mostra os únicos elementos com relações de nível médio fora da diagonal da matriz. Observando as disciplinas com maiores Soma Ativa na seção anterior, as que possuem o maior nível de dependência entre si são as mesmas apresentadas na tabela 13. Isso reforça a importância da atenção que deve ser dada a essas disciplinas durante o planejamento da oferta.

Além disso, essas informações são importantes para os alunos na hora da escolha da grade horária, pois entender o nível de dependência entre disciplinas é um insumo importante para tomada de decisão nesta etapa fundamental do semestre estudantil.

Tabela 16 – Disciplinas com nível de dependência médio que estão fora da diagonal da matriz de reacionamento entre disciplinas ofertadas. Fonte: Elaboração própria.

<b>Disciplina 1</b>	<b>Disciplina 2</b>
Física 1 Experimental - 118010	Desenho industrial assistido por computador - 199176
Cálculo 2 - 113042	Desenho industrial assistido por computador - 199176
Física 1 Experimental - 118010	Química Geral Experimental - 114634
Física 1 Experimental - 118010	Algoritmos Progr Computadores - 113476
Química Geral Experimental - 114634	Algoritmos Progr Computadores - 113476
Algoritmos Progr Computadores - 113476	Química Geral Experimental - 114634
Algoritmos Progr Computadores - 113476	Física 1 Experimental - 118010
Química Geral Experimental - 114634	Física 1 Experimental - 118010

### 5.3 Particionamento

A macro disponibilizada pela ([DSM ORG, b](#)) possui uma funcionalidade de geração de partições que foi aplicada na matriz resultante do Documento 2, uma DSM, com o objetivo de observar os novos partições geradas pela ferramenta. A matriz foi dividida em nove partições, fazendo uma referência a como são separadas as disciplinas no Fluxograma do Curso de Engenharia Eletrônica temos os elementos (disciplinas) divididos em dez partições ou semestres.

É interessante observar a diferença entre os subsistemas gerados pela ferramenta e como eles se diferenciam do oferecido pelo curso de Engenharia Eletrônica. A aplicação da macro gerou partições que começam a se diferenciar dos originais a partir do quarto semestre, aumentando consideravelmente o número de disciplinas por semestre. Por se tratar de um algoritmo que utiliza como orientação apenas a precedência e dependências formais entre as disciplinas, deixa de considerar a distribuição da carga de estudos e o limite de créditos permitidos por semestre.

Essa análise traz luz à questão de que mesmo que os novos subsistemas propostos pela ferramenta sejam otimizados em comparação ao adotado hoje, não representa a melhor solução pois não leva em consideração os fatores importantes citados acima.

## 5.4 Clustering

Com a aplicação da macro fornecida pela (DSM ORG, b) para definição de clusteres na matriz, não foi possível identificar novos módulos para esta estrutura.

Uma matriz de zeros de dimensão 50 (dimensão da matriz 12) decorreu da aplicação do algoritmo para criação de módulos em matrizes proposto pela metodologia de pesquisa. Esse resultado apontou que novos clusteres não poderiam ser criados para matriz do Documento 2. Como a densidade da matriz e seu número de elementos estavam dentro dos critérios da curva A de (HAIYAN et al., 2019), indicando que métodos da classe LSM são recomendados, infere-se que por meio desse algoritmo a DSM não pôde ser clusterizada pois já apresenta seu nível máximo de modularização considerando as regras de dependência entre as disciplinas.

Esses resultados mostram o nível da eficiência do planejamento da distribuição de disciplinas em módulos (semestres) pela coordenação do curso de Engenharia Eletrônica, já que algoritmos aplicados em linguagem computacional com a função de otimizar a criação de clusteres apontaram que novos agrupamentos não poderiam ser realizados na matriz DSM estudada.

A *Design Structure Matrix* foi utilizada para identificar as interações entre as disciplinas com base em pré-requisitos estabelecidos pelo fluxograma do curso de Engenharia Eletrônica. A DSM permite uma fácil visualização das dependências entre os elementos e fornece a possibilidade da aplicação de diferentes metodologias de reagrupamento utilizadas em outros contextos como gestão de projetos, produtos e processos. Além disso pode ser uma grande aliada na concepção de um currículo não apenas baseado na dependência formal entre matérias, mas também entre conceitos e habilidades técnicas ou comportamentais.

A discussão também possui algumas limitações. Primeiro não leva em consideração pesos numéricos como risco associado de reprovação ou relações entre habilidades ou conceitos. Outra limitação é que a metodologias de *clustering* semelhantes à apresentada nesta pesquisa foram muitas vezes utilizadas nas fases de concepção ou planejamento dos sistemas complexos em que foram aplicadas em outras bibliografias. Este fato evidencia uma desvantagem do método em apresentar melhorias a sistemas que já passaram por uma fase de planejamento e concepção aprofundada como o caso do currículo do curso de Engenharia Eletrônica.

## 6 Conclusão

Neste trabalho discorreu-se sobre a aplicação de análises matriciais na gestão por processos de sistemas complexos. A metodologia apresentada foi elaborada a partir de referências técnicas no assunto e sua aplicação foi realizada por meio de um estudo de caso de processos internos na Faculdade do Gama.

De acordo com os objetivos estabelecidos no início da pesquisa, os métodos propostos se mostraram de grande utilidade na gestão da complexidade intrínseca aos sistemas analisados no estudo de caso. A aplicação de metodologias matriciais na gestão dos processos internos ao curso de engenharia eletrônica apresentou diversos insights gerenciais na forma de como as competências e recursos espaciais são alocados atualmente.

De forma geral os objetivos foram alcançados, funcionando como uma análise das formas de relacionamento entre os elementos dos sistemas estudados. Investigou-se a fundo a gestão da complexidade e suas principais implicações e desafios. Houve um aprofundamento do entendimento de como a análise matricial pode ser uma aliada à gestão. Com a aplicação da metodologia no estudo de caso foi possível compreender como funcionam as dependências entre elementos de um sistema. A aplicação e desenvolvimento de algoritmos de caracterização estrutural se mostraram úteis para identificação do comportamento dos sistemas estudados e geração de dados para tomada de decisão sobre a distribuição dos recursos relacionados.

Os resultados encontrados apontaram o nível da eficiência do planejamento da distribuição de disciplinas em módulos (semestres) pela coordenação do curso de Engenharia Eletrônica e as disciplinas e horários que têm maior impacto em todo o sistema.

Para dar continuidade para esse estudo identificou-se uma oportunidade para a coordenação responsável pela gestão da oferta de disciplinas, que é visitar a distribuição das disciplinas que têm um alto nível de dependência entre si, realocando-as em diferentes horários para que os estudantes tenham maior liberdade na escolha da grade horária caso optem em cursá-las.

Para os estudos futuros, foram identificadas oportunidades para o refinamento e aprofundamento das análises fazendo o uso de uma DSM numérica para acrescentar mais parâmetros na análise da interação entre os elementos. Existe também a oportunidade de aplicar algoritmos de modularização diferentes dos propostos na metodologia para obtenção de diferentes indicações de possibilidades de agrupamentos de disciplinas diferentes nos semestres do Fluxograma do Curso de Engenharia Eletrônica. Por fim foram identificadas as oportunidades de analisar os níveis de dependências entre os elementos de forma não linear e utilizar a metodologia de grafos para o estudo das matrizes.

# Referências

- BONJOUR, E. et al. Propagating product architecture decisions onto the project organisation: a comparison between two methods. *International Journal of Design Engineering*, Inderscience Publishers, v. 2, n. 4, p. 451–471, 2009. Citado na página 22.
- BROWNING, T. Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new direction. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2001. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 36.
- BROWNING, T. R. Design structure matrix extensions and innovations: a survey and new opportunities. *IEEE Transactions on Engineering Management*, IEEE, v. 63, n. 1, p. 27–52, 2015. Citado na página 21.
- BROWNING, T. R.; EPPINGER, S. D. Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development. v. 49, n. 4, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.
- CHEN, S. F. L. C.; CHEN, W. Project scheduling for collaborative product development using dsm. In: *International Journal of Project Management*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 21, p. 291–299. Citado na página 19.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. Product development performance: Strategy, organization, and management in the world auto industry. Boston: Harvard Business School Press, 1991. Citado na página 14.
- DAENZER, W. F.; HUBER, F. Systems engineering: Methodik und praxis. v. 10th, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.
- DSM ORG. *Different DSM types*. Disponível em: <<https://dsmweb.org/different-dsm-types/>>. Acesso em: 10 nov. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 19.
- DSM ORG. *Excel Macros for partitioning und Simulation*. Disponível em: <<https://dsmweb.org/excel-macros-for-partitioning-und-simulation/>>. Acesso em: 15 nov. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 38, 45 e 46.
- DSM ORG. *Indroduction to DSM*. Disponível em: <<https://dsmweb.org/introduction-to-dsm/>>. Acesso em: 10 nov. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.
- EPPINGER, S. D.; BROWNING, T. R. Design structure matrix methods and applications. In: . Massachusetts Institute of Technology: [s.n.], 2012. v. 1, p. 3–10. Citado na página 14.
- FINK, F. K. Integration of work based learning in engineering education. 31st Annual Frontiers in Education Conference, 2001. Citado na página 15.
- FONSECA, J. S. da. Metodologia da pesquisa científica. In: . Universidade Estadual do Ceará: [s.n.], 2002. v. 1, p. 8–10. Citado na página 17.

- GIL, A. C. In: *International Journal of Project Management*. [S.l.: s.n.], 2002. v. 4, p. 47–49. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 31.
- GROSE, D. L. Reengineering the aircraft design process. 5th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Panama City Beach, FL, 1994. Citado na página 20.
- HAIYAN, X. et al. A rework reduction mechanism in complex projects using design structure matrix clustering methods. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, v. 36, n. 2, p. 264–279, 2019. Citado 9 vezes nas páginas 7, 21, 22, 23, 28, 29, 30, 41 e 46.
- HÖLTTÄ-OTTO, K.; WECK, O. D. Degree of modularity in engineering systems and products with technical and business constraints. *Concurrent Engineering*, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 15, n. 2, p. 113–126, 2007. Citado na página 22.
- JOHNSON, M. A method for assessing required course-related skills and prerequisite structure. American Society for Engineering Education, 2012. Citado na página 15.
- JUNIOR, A. A. d. C. Implementação e avaliação de algoritmos BSP/CGM para o Fecho Transitivo e Problemas Relacionados. 2003. Citado na página 22.
- KO, Y.-T.; KUO, P.-H.; YU, C.-W. Modelling concurrent workflow for new product development management. In: IEEE. *2010 IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology*. [S.l.], 2010. p. 474–479. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- KRISHNAN, M. Complexity management: key to maximizing your program effectiveness! Paper presented at PMI® Global Congress 2013—EMEA, Istanbul, Turkey. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013. Citado na página 14.
- LINDEMANN, U.; MAURER, M. In: *Structural Complexity management*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 1, p. 27–50. Citado 10 vezes nas páginas 7, 10, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21 e 25.
- MALIK, F. Strategie des managements komplexer systeme. Bern: Haupt 2003, 2003. Citado na página 18.
- MAYLOR, H.; TURNER, N. Understand, reduce, respond: project complexity management theory and practice. *International Journal of Operations & Production Management*, Emerald Publishing Limited, 2017. Citado na página 18.
- NASA. *NASA Systems Engineering Handbook*. 2007. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa\\_systems\\_engineering\\_handbook\\_0.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf)>. Citado na página 17.
- PIMMLER, T. U.; EPPINGER, S. D. Integration analysis of product decompositions. Proceedings of the 1994 ASME Design Theory and Methodology Conference, Minneapolis., 1994. Citado na página 18.
- ROMPELMAN, O. Assessment of student learning: Evolution of objectives in engineering education and the consequences for assessment. *European Journal of Engineering Education*, 2010. Citado na página 15.

STEWART, D. On an approach to the analysis of the structure of large systems of equations. *siam*. In: . [S.l.: s.n.], 1962. v. 5, p. 321–342. Citado na página 14.

STEWART, D. The design structure system: A method for managing the design of complex systems. *IEEE Transaction on Engineering Management* 28, p. 79–83, 1981. Citado na página 18.

VESTER, F. *Die kunst vernetzt zu denken*. Stuttgart: DVA 2000, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

YASSINE, A. A. An introduction to modeling and analyzing complex product development processes using the design structure matrix (dsm) method. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 19.

# Apêndices





# APÊNDICE C – Soma Passiva - Matriz

## Disciplinas x Horários

Horário	Passive Sum
Seg - 08:00 - 09:50	20
Seg - 10:00 - 11:50	30
Seg - 12:00 - 13:50	2
Seg - 14:00 - 15:50	20
Seg - 16:00 - 17:50	20
Ter - 08:00 - 09:50	22
Ter - 10:00 - 11:50	26
Ter - 12:00 - 13:50	5
Ter - 14:00 - 15:50	30
Ter - 16:00 - 17:50	28
Qua - 08:00 - 09:50	27
Qua - 10:00 - 11:50	32
Qua - 12:00 - 13:50	3
Qua - 14:00 - 15:50	31
Qua - 16:00 - 17:50	24
Qua - 18:00 - 19:50	2
Qui - 08:00 - 09:50	24
Qui - 10:00 - 11:50	26
Qui - 12:00 - 13:50	3
Qui - 14:00 - 15:50	28
Qui - 16:00 - 17:50	28
Sex - 08:00 - 09:50	23
Sex - 10:00 - 11:50	25
Sex - 12:00 - 13:50	3
Sex - 14:00 - 15:50	27
Sex - 16:00 - 17:50	20
Sab - 08:00 - 09:50	1
Sab - 10:00 - 11:50	1
Sab - 12:00 - 13:50	0
Sab - 14:00 - 15:50	0
Sab - 16:00 - 17:50	0

# APÊNDICE D – Soma Ativa - Matriz

## Disciplinas x Horários

Disciplina	Active Sum
Prática de Circ Eletrônicos 1 - 119148	7
Prática de Circuitos Eletrônicos 2 - 119458	2
Prática de Eletrônica Digital 1 - 119466	8
Prática de Eletrônica Digital 2 - 119474	2
Teoria Eletrônica Digital 1 - 119482	6
Teoria Eletrônica Digital 2 - 119491	2
Laboratório Materiais de Construção - 119792	6
Equipamentos Térmicos Alternativos - 119806	2
Teoria de Materiais de Construção - 119865	6
Desenvolvimento de Software - 120651	2
Matemática Discreta 1	4
Teoria de Eletricidade Aplicada - 120693	4
Laboratório de Eletricidade Aplicada - 120707	5
Teoria Sistemas de Conversão de Energia - 120715	2
Laboratório Sistemas de Conversão de Energia - 120715	2
Ondulatória e Física Térmica p/ engenharia - 120731	2
Máquinas de fluido - 120791	3
Princípios de comunicação p/ engenharia - 120839	3
Princípios de controle - 120847	3
Eletrônica embarcada - 120871	3
Prática Circuitos eletrônicos 3 - 120898	2
Teoria circuitos eletrônicos 3 - 120928	2
Prática física dos dispositivos eletrônicos - 120936	2
Teoria física dos dispositivos eletrônicos - 120944	2
Sinais e sistemas p/ engenharia - 120952	7
Sistemas operacionais embarcados - 120961	3
Química orgânica aplicada à engenharia - 121533	2
Tópicos especiais em engenharia aeroespacial - 121576	2
Laboratório de O e F Engenharia - 122955	1
Matemática Discreta 2 - 127698	2
Introdução à web semântica - 127728	2
Eletrônica de alta frequência - 127779	2
Sistemas inf geog p/ engenharia - 128180	2
Teoria Eletromagnetismo - 128554	4
Prática de eletromagnetismo - 128562	2
Tópicos especiais 4 em eng aeroespacial - 129119	2
Eficiência energética em instalação elétrica industrial - 129704	0
Projeto de algoritmos - 130500	2
Processamento de sinais digitais financeiros - 130685	2
Regulação ambiental no setor energético - 130907	2
Termodinâmica 1 - 168009	2
Máquinas térmicas - 168025	3
Transferência de calor - 128033	3
Fenômenos de transporte - 168203	4
Engenharia econômica - 193321	6
Tópicos especiais de engenharia de software - 193623	6
Sistemas de banco de dados 1 - 193631	2
Métodos de desenvolvimento de software - 193640	4
Fundamentos de arquitetura de computadores - 193674	3
Física moderna - 193691	3
Estrutura de dados 1 - 193704	6
Projeto integrador de engenharia 1 - 193661	2
Engenharia de segurança do trabalho - 193712	2
Ergonomia do Produto - 193879	2
Mecânica dos sólidos 1 - 195308	6
Design de veículos - 196316	2
Combustíveis e biocombustíveis - 195324	2
Probabilidade e estatística aplicada à engenharia - 195332	4
Orientação à Objetos - 195441	6
Métodos numéricos p/ engenharia - 195413	7
Engenharia e ambiente - 198005	6
Humanidades e cidadania - 198013	4
Humanidades e cidadania - 199133	4
Elementos e métodos em eletrônica - 199150	2
Sistemas automotivos - 199168	2
Desenho industrial assistido por computador - 199176	14
Compiladores 1 - 101095	2
Humanidades e cidadania - 199133	4
Elementos e métodos em eletrônica - 199150	2
Sistemas automotivos - 199168	2
Desenho industrial assistido por computador - 199176	14
Compiladores 1 - 101095	2
Fund Equações Difer Engenharia - 101117	2
Sistemas Aeroespaciais - 101133	2
TCC 1 - 101141	0
TCC 2 - 102415	0
Anatomia e Fisiologia Humana - 102431	2
Processamento Sinais Biológicos - 102440	2
Processamento Digital Imagens - 102458	2
Projetos Circuito Integrado 2 - 102482	2
Estágio Supervisionado - 102512	0
Dinâmica dos Mecanismos - 102849	2
Sistemas Energia Solar Eólica - 102865	2
Princípio Robótica Educacional - 103187	2
Programação para Competições - 103195	2
Estrutura de Dados 2 - 103209	2
An de Sis de Energia Elétrica - 103667	2

An de Sis de Energia Elétrica - 103667	2
Tóp Esp Eng Aeroespacial - 104761	2
Aerodinâm Sist Aeroespaciais - 104779	3
Mecânica Estrut Aeroespaciais - 104787	3
Sistemas Controle Automotivo - 104876	2
Top Esp em Jogos Digitais - 107409	2
Din Gases Sist Aeroespaciais - 107425	2
Projeto Sistemas de Controle - 107433	2
Mecânica do Voo - 107441	2
Met Tec da Escrita Científica - 107450	4
Processos Petroquímicos - 107468	2
Mecânica do Voo Espacial - 108481	2
Proj de Sistemas Aeroespaciais - 108499	3
Dinestær - 110094	2
Propulsão Aeroespacial - 110108	3
Tóp Especiais em Programação - 110141	2
Cálculo 1 - 113034	9
Calculo 2 - 113042	12
Cálculo 3 - 113051	6
Introducao a Algebra Linear - 113093	8
Algoritmos Progr Computadores - 113476	12
Tecnologias de Fabricação 1 - 113778	2
Tecnologias de Fabricação 2 - 113786	2
Química Geral Teórica - 114626	4
Química Geral Experimental - 114634	10
Sistemas de Banco de Dados 2 - 115576	2
Propulsão Aeronáutica - 117668	2
Propulsão Química - 117676	2
Propulsão Elétrica - 117684	2
Física 1 - 118001	6
Física 1 Experimental - 118010	14
Fund Var Compl p/ Engenharia - 118869	2
Teoria de Circ Eletrônicos 1 - 118891	4
Teoria de Circ Eletrônicos 2 - 119130	2
Fontes de energia e técnicas de conversão - 199184	2
Fundamentos de sistemas operacionais - 202186	1
Requisitos de software - 201308	4
Interação humano computador - 201316	2
Engenharia de petróleo e gás - 201332	2
Análise instrumental de combustíveis - 201341	2
Mecânica dos sólidos 2 para engenharia - 201359	4
Gestão da produção e qualidade - 201626	4
Eletricidade aplicada - 201634	8
Métodos experimentais para engenharia - 203734	7
Projeto elementos automotivos - 203742	3
Materiais compostos plásticos - 203751	2
Arquiteturas de motores de combustão interna - 203769	2
Gestão da produção automotiva - 203777	2
Sistemas de controle - 203793	2
Engenharia de produto - 203823	2
Projeto de circuitos integrados digitais - 203831	2
Dinâmica dos fluidos - 203866	5
Engenharia de produto de software - 203874	2
Arquitetura e desenvolvimento de software - 203882	2
Paradigmas de programação - 203904	2
Fundamentos de redes de computadores - 203912	2
Tópicos especiais em engenharia automotiva - 203947	2
Projeto de circuitos elétricos integrados 1 - 206148	2
Instrumentação eletrônica - 206164	2
Processamento de sinais - 206172	2
Inteligência artificial - 206199	2
Comunicação digital para engenharia - 206229	2
Eletrônica veicular - 206237	2
Projeto de sistemas automotivos - 206261	2
Análise estrutural dos elementos finitos - 206270	2
Dinâmica de Veículos - 206288	2
Integração e testes - 206296	2
Biorrefinarias - 206326	2
Testes de software - 206500	2
Gerência configuração e evolução de software - 206598	2
Técnicas de programação em plataformas emergentes - 206601	2
Programação p/ sist paral emerg - 206610	2
Máquinas de fluxo - 207004	3
Projeto integrador de engenharia 2 - 208175	7
Sistemas hidroelétricos - 208191	3
Ciências aeroespaciais - 208213	2
Instrumentação biomédica 2 - 208256	2
Tópicos especiais eletrônica - 208281	6
Transmissão e distribuição de energia elétrica - 208299	3
Economia de energia - 208558	2
Acústica vibrações veiculares - 208582	2
Projeto de estruturas de veículos - 208591	2
Sistemas hidráulicos e pneumáticos - 208621	2
Melhoria de processo de software - 208655	2
Produtividade e profissionalismo engenharia de software - 208663	2
Engenharia de software experimental - 208671	2
Qualidade de software 1 - 208698	2

# APÊNDICE E – Algoritmo de clustering aplicado na linguagem computacional *GNU Octave*

```

1  %Universidade de Brasília, Faculdade Gama;
2  %Clusterização de matrizes
3  %Autora: Luana Carolina de Val Abreu
4  % Matricula: 140150234
5
6  clc;
7  A = xlsread('DSM_PRe_Requisitos.xlsx','C2:AZ51');
8  n = 50;
9  R = A;
10
11 %inserir zero nos espaços vazios
12
13 for i= 1:n
14     for j= 1:n
15         if (R(i,j) != 1)
16             R(i,j)=0;
17         endif
18     endfor
19 endfor
20
21 %implementando o algoritmo de warshall
22
23 for k= 1:n
24     for i= 1:n
25         for j= 1:n
26             R(i,j) = R(i,j) | (R(i,k) & R(k,j));
27         endfor
28     endfor
29 endfor
30
31 %criando a transposta de R e multilpicando pela matriz R
32
33 Rt = R';
34 S = R .* Rt;
35
36 % Criando clusters para matriz S
37
38 cluster = zeros(n);
39 coluna = 1;
40
41 for j= 1:n
42     for i= 1:n
43         var=S(j,:);
44         if (S(i,:)== var)
45             cluster(j,coluna) = i;
46             coluna = coluna +1;
47         endif
48     endfor
49     coluna = 1;
50 endfor
51
52
53 B = unique(cluster,'rows');
```

# Anexos

# ANEXO A – Fluxograma - Engenharia eletrônica

