

RAE-CEA- 17P13

RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE O PROJETO:

“Análise de Desempenho Discente”

Diego Marcondes
Adilson Simonis

São Paulo, Julho de 2017

CENTRO DE ESTATÍSTICA APLICADA - CEA - USP**RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA**

TÍTULO: Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Análise de Desempenho Discente”

PESQUISADOR: Adilson Simonis

INSTITUIÇÃO: Instituto de Matemática e Estatística – USP

FINALIDADE: Publicação

RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE: Diego Marcondes

Adilson Simonis

REFERÊNCIA DESTE TRABALHO:

MARCONDES, D.; SIMONIS, A.; **Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Análise de Desempenho Discente”**. São Paulo, IME-USP, 2017. (RAE – CEA - 17P13)

FICHA TÉCNICA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SIMONIS, A.; MARCONDES, D.; BARRERA, J. Local Lift Dependence Scale.

Submetido, 2017.

<http://www5.usp.br/ensino/graduacao/cursos-oferecidos/>. Acesso em 10/05/2017.

MAHALANOBIS, P. C. (1936). On the generalized distance in statistics. **Proceedings of the National Institute of Sciences (Calcutta)**, 2, 49–55, 1936

PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

Microsoft Word for Windows (versão 2016)

Microsoft Excel for Windows (versão 2016)

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS

Análise Descritiva Multidimensional (03:020)

Outros (03:990)

Análise de Associação e Dependência de dados Quantitativos (06:010)

ÁREA DE APLICAÇÃO

Educação (14:990)

Estatística (14:990)

Sumário

Resumo.....	5
1. Introdução.....	7
2. Descrição do estudo	10
2.1. Objetivo do estudo	10
2.1. Natureza do estudo	10
2.2. Coleta de dados	11
3. Descrição das variáveis	11
3.1. Variáveis de desempenho na graduação	11
3.2. Variáveis de desempenho na FUVEST	13
4. Análise descritiva.....	13
4.1. Frequências	14
4.2. Estrutura atual de requisitos.....	14
4.3. Técnicas estatísticas para a análise do desempenho discente	28
5. Inferência sobre as estruturas curriculares	37
5.1. Metodologia	38
5.2. Limitações.....	39
5.3. Escolha do η_c	41
5.4. Estruturas de requisitos propostas	42
6. Considerações finais	61
Apêndice A – Escala de Dependência Local do Lift	65
Anexo A – Estruturas de requisitos atuais.....	70

Resumo

A análise do desempenho discente é importante para o aprendizado e gestão de uma instituição de ensino superior. Dentre as suas aplicações está a determinação da relação entre disciplinas de uma mesma grade curricular, que se resume à sua estrutura de requisitos. A estrutura é determinada qualitativamente a partir do programa das disciplinas, embora uma análise quantitativa do desempenho discente possa também oferecer informações relevantes para a construção de novas estruturas de requisitos. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar técnicas estatísticas para analisar o desempenho dos discentes que ingressaram no Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo entre 2011 e 2016, a fim de propor novas estruturas de requisitos para os sete cursos do instituto. Além disso, também é objetivo deste estudo apresentar o potencial de uma nova técnica proposta para analisar rendimento discente.

A técnica estatística chamada dependência local do lift foi proposta para analisar a relação entre os desempenhos em uma disciplina e um grupo de disciplinas de uma determinada grade curricular. A partir de tal técnica estatística, a relação entre os desempenhos pode ser mensurada através de uma escala, dada por um coeficiente de dependência, ou localmente, através de tabelas e gráficos construídos para tal fim. Embora existam limitações práticas nos dados observados, impostas pela estrutura de requisitos atual, a técnica estatística aplicada é relevante e útil para a análise do desempenho discente, abrindo o caminho para novas aplicações na mensuração do desempenho discente.

As estruturas de requisitos propostas, embora condicionadas às estruturas de requisitos atuais, forneceram várias informações importantes sobre as relações entre as disciplinas das grades curriculares dos cursos do instituto. Observou-se que uma disciplina pode ser requisito para disciplinas de outros departamentos e que as disciplinas do Departamento de Matemática são as disciplinas com o maior número de requisitos, o que torna o Bacharelado em Matemática o curso cujas disciplinas possuem o maior

número de requisitos. A relação entre o desempenho nas disciplinas do vestibular da FUVEST e o desempenho nas disciplinas do primeiro semestre também foi estudada.

1. Introdução

A análise do desempenho discente é importante pois fornece informações sobre a eficiência do ensino. Dentre as dimensões da análise, destaca-se a influência do conjunto de disciplinas que precedem determinado conteúdo, na disciplina em que ele é ministrado, evidenciando uma estrutura de dependência entre as disciplinas. Além disso, ela permite a predição (mensurável) do desempenho em uma disciplina a partir do desempenho no grupo de disciplinas que a precedem.

Essa dependência se traduz, por exemplo, na estrutura de requisitos das disciplinas de uma grade curricular e nos requisitos necessários para se ingressar em um curso superior, i.e., o conteúdo cobrado no vestibular. Assim, a análise da dependência entre as disciplinas de um curso superior e de seu vestibular, apresenta informações sobre quais alunos serão selecionados e qual poderia ser a melhor estrutura de requisitos da grade curricular, segundo algum critério computacional bem definido, ou quantitativamente bem escolhido.

A grade curricular dos cursos do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME – USP), por exemplo, passou por grandes mudanças ao longo dos anos, contemplando a admissão e remoção de disciplinas e mudanças na estrutura de requisitos. Embora para diferentes propósitos, todas essas mudanças foram feitas baseadas apenas em análises qualitativas da grade curricular e dos programas das disciplinas que a compõe.

Ainda que, de fato, a estrutura de requisitos possa ser determinada qualitativamente a partir do programa de cada disciplina, pela sua análise por parte dos gestores do instituto, um estudo quantitativo da estrutura levantaria informações que poderiam corroborar a estrutura atual ou propor mudanças. Além disso, as técnicas utilizadas na análise quantitativa poderiam ser replicadas sistematicamente para se estudar ao longo do tempo o desempenho discente no instituto, e as relações entre os desempenhos nas mais diversas disciplinas, de diferentes departamentos, semestres e áreas.

Para se compreender a estrutura de requisitos da grade curricular, é necessário primeiro analisar a relação entre o desempenho dos ingressantes no exame de admissão da universidade e as disciplinas do primeiro semestre, pois isso possibilita iniciar uma estrutura de requisitos que relacionará as disciplinas de um semestre com as disciplinas do próximo sucessivamente, até que uma estrutura curricular seja totalmente definida a partir de uma análise quantitativa e qualitativa do desempenho discente. Uma estrutura de requisitos deve ser iniciada por disciplinas que não possuem nenhum requisito e, portanto, no presente estudo, a estrutura de requisitos será iniciada pelas disciplinas do vestibular. Fixamos que o requisito das disciplinas do primeiro semestre é o ensino médio, e colocamos isso como o ponto inicial da análise proposta.

O exame de admissão do IME – USP é aplicado pela FUVEST, que é uma instituição autônoma responsável pela realização dos exames de admissão para os cursos da USP e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo. O vestibular da FUVEST é o mais concorrido do Brasil, sendo que em 2016, 142.721 candidatos disputaram 9.568 vagas oferecidas para todas as unidades da USP, sendo até 2015 o único processo de seleção de estudantes para ingresso na universidade.

As provas do vestibular são divididas em duas fases e contêm questões dissertativas e de múltipla escolha de oito disciplinas, divididas em quatro dias de prova, além de uma redação. A partir de 2016, também passaram a ser oferecidas vagas na USP pelo Sistema Único de Seleção Unificada (SiSU), que seleciona os estudantes com base em seu desempenho no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Embora todo ingressante tenha que prestar as provas das oito disciplinas, independentemente do seu curso, algumas delas não são requisitos naturais (do ponto de vista qualitativo) do curso em que pretendem ingressar.

Portanto, uma contribuição importante da análise quantitativa do desempenho discente seria determinar a influência do desempenho nas avaliações da FUVEST nas disciplinas cursadas durante a graduação, i.e., quais as provas do vestibular que são boas preditoras do desempenho discente durante a graduação, principalmente nas disciplinas do primeiro semestre. O estudo de tal influência permite propor novos métodos

de seleção de estudantes para o instituto, que poderia levar em conta o desempenho em apenas algumas disciplinas que são requisitos para as disciplinas da graduação.

Apesar das importantes informações que a análise quantitativa apresentaria sobre o desempenho discente e a estrutura de requisitos de cursos superiores, é necessário primeiro desenvolver técnicas estatísticas que permitam mensurar a relação entre disciplinas baseando-se no desempenho nestas, sejam elas do vestibular ou da graduação, para então conseguir analisar o desempenho a fim de determinar a estrutura de requisitos mais eficiente.

Assim, um objetivo deste estudo é desenvolver e propor técnicas estatísticas que possam ser usadas para mensurar o desempenho, a fim de possibilitar a criação de uma estrutura de relação entre as disciplinas a partir do desempenho discente, tanto no vestibular quanto na graduação. As técnicas a serem desenvolvidas visam mensurar a influência de um grupo de disciplinas em uma determinada disciplina (ou outro grupo de disciplinas), fornecendo técnicas de predição do desempenho, além de possibilitar uma “engenharia reversa”, no sentido de apresentar quais os requisitos que devem ser cobrados para uma disciplina a fim de maximizar o desempenho dos alunos que a cursam, aumentando a eficiência dos cursos sequenciais.

As técnicas estatísticas aqui apresentadas podem ser replicadas pelo pesquisador para todos os cursos da USP, não somente para se determinar suas estruturas de requisitos, mas também para se estudar a relação entre o desempenho discente e variáveis sócio econômicas, por exemplo, além de mensurar o desempenho do discente a fim de projetá-lo durante a graduação, como por exemplo, para modelar a evasão e o tempo para se formar. Portanto, este estudo é um esforço no sentido de desenvolver métodos estatísticos que possam ser utilizados para estudar o desempenho discente, contribuindo para a melhora da educação no país, quando é possível obter informações mensuráveis sobre as estruturas propostas de ensino.

2. Descrição do estudo

2.1. Objetivo do estudo

A pesquisa tem por objetivo desenvolver técnicas estatísticas para mensurar o desempenho discente e determinar as relações entre os desempenhos nas mais diversas disciplinas, a partir do desempenho dos discentes ingressantes no IME – USP entre os anos de 2011 e 2016 no vestibular da FUVEST e nas disciplinas da graduação. Espera-se que as técnicas estudadas aqui sirvam também para problemas de outras áreas de aplicação da estatística.

Para nossos propósitos, engajar-nos-emos em propor uma estrutura de requisitos para os dois primeiros anos dos sete cursos do IME – USP a partir do desempenho discente no período considerado, i.e., a partir da análise quantitativa do desempenho discente no instituto. As técnicas desenvolvidas para estudar esse problema poderão então ser generalizadas para tratar diferentes questões relacionadas ao desempenho discente.

A estrutura de requisitos de uma grade curricular exprime a dependência entre os conteúdos das disciplinas que a compõe, no sentido de relacionar as disciplinas de acordo com os conteúdos necessários para cursá-las. Assim, cada disciplina do IME – USP pode possuir como requisitos outras disciplinas do instituto, que devem ser cursadas antes dela. A análise quantitativa terá como objetivo aplicar as técnicas propostas para determinar os requisitos de cada disciplina obrigatória dos dois primeiros anos dos cursos do instituto.

2.1. Natureza do estudo

O estudo é observacional e longitudinal, pois o desempenho dos estudantes do IME – USP foi observado durante um período de tempo, enquanto cursavam uma graduação no instituto, sem nenhum tipo de intervenção por parte do pesquisador. Foram

observadas variáveis que mensuram objetivamente o desempenho discente nos cursos do IME – USP, i.e., notas em disciplinas, e o desempenho no vestibular da FUVEST.

Tratar-se-á como a população-alvo do estudo todos os ingressantes no IME – USP pelo vestibular da FUVEST nos anos de 2011 a 2016. Portanto, não haverá nenhum processo de amostragem, já que possuímos os dados de toda a população e, assim, todas as análises terão um caráter descritivo. De fato, o interesse do estudo está em desenvolver técnicas estatísticas para a análise do desempenho discente e, por conseguinte, a parte inferencial, envolvendo estimação de quantidades de interesse e testes de hipóteses sobre uma população específica, poderá fazer parte de um estudo seguinte a este, em que as técnicas aqui desenvolvidas poderão ser aplicadas para fazer inferências sobre uma determinada população de interesse.

2.2. Coleta de dados

Para a realização do estudo, coletou-se do Sistema de Gestão Acadêmicas da Pró-Reitoria de Graduação da USP (JúpiterWeb) as notas de todos os ingressantes em cursos do IME - USP entre 2011 e 2016 nas disciplinas do instituto. Além disso, o desempenho em todas as provas do vestibular desses ingressantes foi fornecido pela FUVEST. Assim, estão presentes no banco de dados os valores das variáveis de interesse de todos os indivíduos da população-alvo.

3. Descrição das variáveis

3.1. Variáveis de desempenho na graduação

As variáveis de desempenho na graduação se dividem em dois tipos: as variáveis que se referem aos discentes (nota em primeira avaliação e curso) e as variáveis que se referem às disciplinas (docente e requisitos).

- **Nota em primeira avaliação:** Nota final sem recuperação/segunda avaliação em todas as vezes em que cursou disciplina, em todas as disciplinas obrigatórias cursadas até o segundo semestre de 2016. A nota está padronizada por turma, i.e., a nota de um discente em uma disciplina é dada pela sua nota (de zero a dez) menos a nota média da sua turma, dividida pelo desvio-padrão das notas da turma. A média e o desvio-padrão da turma são calculados considerando apenas os discentes do IME – USP da turma que estão cursando a disciplina pela primeira ou pela última vez, de acordo com o interesse da análise, e que são do mesmo curso.
- **Turma:** A turma em que o discente cursou a disciplina. Apresenta qual o ano, semestre e número da turma em que o discente cursou uma disciplina. Assim, a turma 2016140 significa a turma de número 40 do primeiro semestre de 2016.
- **Curso:** Curso do discente. Deve ser um dos apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Cursos do IME - USP

Curso	Período
Bacharelado em Estatística	Diurno
Bacharelado em Ciências da Computação	Diurno
Bacharelado em Matemática	Diurno
Bacharelado em Matemática Aplicada	Diurno
Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional	Noturno
Licenciatura em Matemática	Diurno
Licenciatura em Matemática	Noturno

- **Docente:** Docente que ministrou a disciplina. Está disponível apenas para disciplinas oferecidas pelo Departamento de Estatística (MAE) pois o pesquisador não teve acesso a essa informação para todas as disciplinas do conjunto de dados.

- **Requisitos:** Os requisitos de cada disciplina obrigatória dos primeiros dois anos dos sete cursos do instituto de acordo com a grade curricular de Maio de 2017.

3.2. Variáveis de desempenho na FUVEST

- **Proporção de acertos na primeira fase:** proporção de acertos na primeira fase no geral e em cada uma das oito disciplinas do vestibular da FUVEST, i.e., Matemática, Física, Química, Biologia, História, Geografia, Inglês e Língua Portuguesa, sem o acréscimo de nenhum tipo de bônus de inclusão.
- **Proporção de acertos na segunda fase:** proporção de acertos na segunda fase no geral e em cada uma das oito disciplinas do vestibular da FUVEST, sem o acréscimo de nenhum tipo de bônus de inclusão.
- **Proporção de acertos total:** proporção de acertos total no geral e em cada uma das oito disciplinas do vestibular da FUVEST, sem o acréscimo de nenhum tipo de bônus de inclusão.
- **Nota na redação:** nota na redação do vestibular da FUVEST.

A proporção de acertos total em uma disciplina do vestibular da FUVEST será tomada como a medida do desempenho discente na disciplina.

4. Análise descritiva

Nessa primeira parte da análise serão apresentadas as estruturas de requisitos atuais de cada curso do IME – USP, além de algumas características dos dados, a fim de se caracterizar o problema a ser tratado nas próximas seções. Os conceitos de *lift* e *coeficiente de dependência local do lift* serão propostos como técnicas estatísticas para a análise do desempenho discente.

4.1. Frequências

A Tabela 2 apresenta as frequências dos ingressantes no IME-USP por curso e ano.

Tabela 2: Frequência dos Ingressantes no IME - USP

Curso	Ano						Total
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Ciências da Computação	50	50	50	50	50	50	300
Estatística	40	40	40	40	40	38	238
Matemática	30	30	30	29	30	30	179
Matemática Aplicada	20	19	20	20	20	20	119
Matemática Aplicada e Computacional	49	49	50	50	50	46	294
Licenciatura em Matemática Diurno	47	49	50	49	49	50	294
Licenciatura em Matemática Noturno	99	98	100	100	100	93	590
Total	335	335	340	338	339	327	2014

4.2. Estrutura atual de requisitos

As estruturas atuais de requisitos dos dois primeiros anos de cada um dos sete cursos do IME – USP estão apresentadas nos grafos e tabelas a seguir. Cada sigla representa uma disciplina, cada cor um departamento da USP e as setas representam os requisitos de cada disciplina, i.e., os requisitos de uma disciplina apontam para ela. O tamanho das setas e a posição de cada disciplina no grafo são escolhidas de modo a tornar o grafo organizado visualmente e não tem nenhum significado específico. O Anexo A apresenta detalhadamente as sete estruturas de requisitos por semestre.

Figura 1: Grafo da estrutura de requisitos atual do Bacharelado em Ciências da Computação

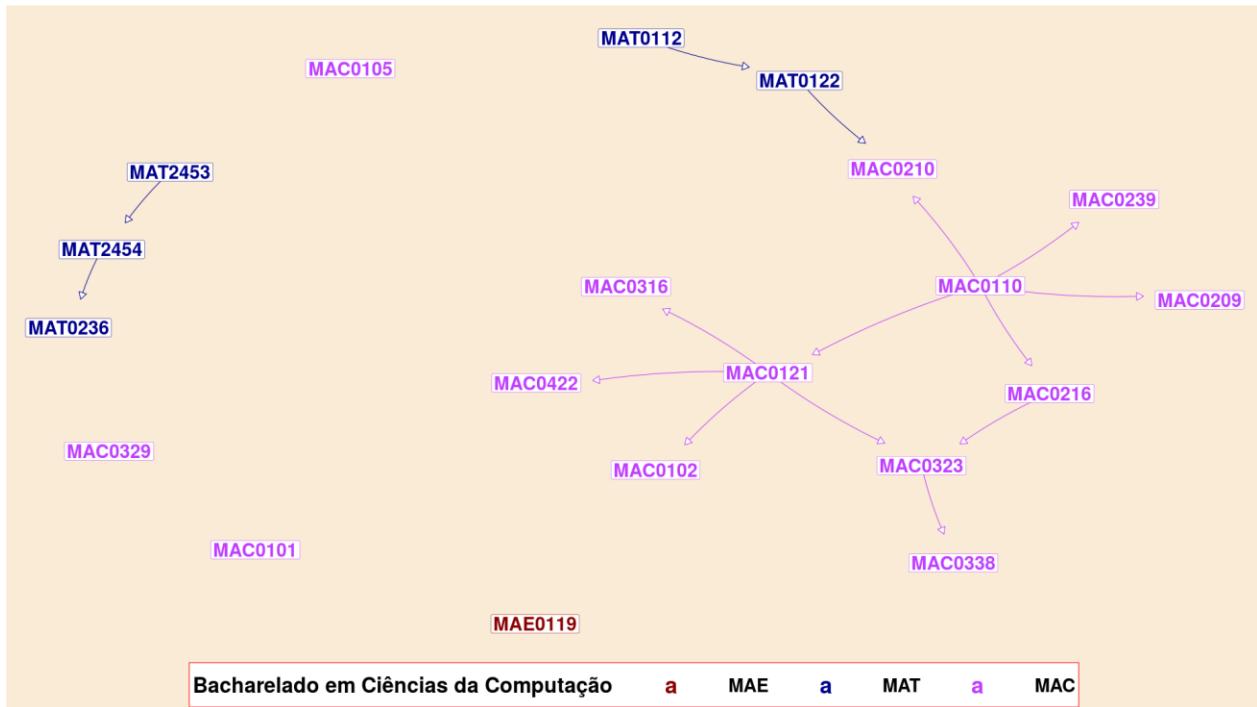


Tabela 3: Disciplinas da grade curricular do Bacharelado em Ciências da Computação

Código	Nome	Semestre
MAC0101	Integração na Universidade e na Profissão	1
MAC0102	Caminhos no Bacharelado em Ciência da Computação	3
MAC0105	Fundamentos de Matemática para a Computação	1
MAC0110	Introdução à Computação	1
MAC0121	Algoritmos e Estrutura de Dados I	2
MAC0209	Modelagem e Simulação	3
MAC0210	Laboratório de Métodos Numéricos	3
MAC0216	Técnicas de Programação I	2
MAC0239	Introdução à Lógica e Verificação de Programas	2
MAC0316	Conceitos Fundamentais de Linguagens de Programação	4
MAC0323	Algoritmos e Estruturas de Dados II	3

MAC0329	Álgebra Booleana e Aplicações	1
MAC0338	Análise de Algoritmos	4
MAE0119	Introdução à Probabilidade e à Estatística	2
MAC0422	Sistemas Operacionais	4
MAT0112	Vetores e Geometria	1
MAT0122	Álgebra Linear I	2
MAT0236	Funções Diferenciáveis e Séries	3
MAT2453	Cálculo Diferencial e Integral I	1
MAT2454	Cálculo Diferencial e Integral II	2

No Bacharelado em Ciências da Computação observa-se uma distinção entre as disciplinas do Departamento de Matemática (MAT) e do Departamento de Ciências da Computação (MAC), já que os requisitos de uma disciplina são outras disciplinas de seu departamento. A grade curricular é formada basicamente por disciplinas do MAT e do MAC, e apenas uma disciplina do Departamento de Estatística (MAE).

As disciplinas MAC0110 e MAC0121, que representam as disciplinas básicas de computação, são requisitos para a maioria das outras disciplinas do MAC. A única disciplina do MAE é o curso básico de probabilidade e estatística, e as três disciplinas isoladas do MAT, em que cada uma é requisito da anterior, representam as disciplinas de Cálculo.

É importante ressaltar que essa grade curricular sofreu mudanças recentemente (em 2016 e início de 2017) e, portanto, não será possível determinar quantitativamente os requisitos de algumas disciplinas, pois elas não foram oferecidas nenhuma vez.

Figura 2: Grafo da estrutura de requisitos atual do Bacharelado em Estatística

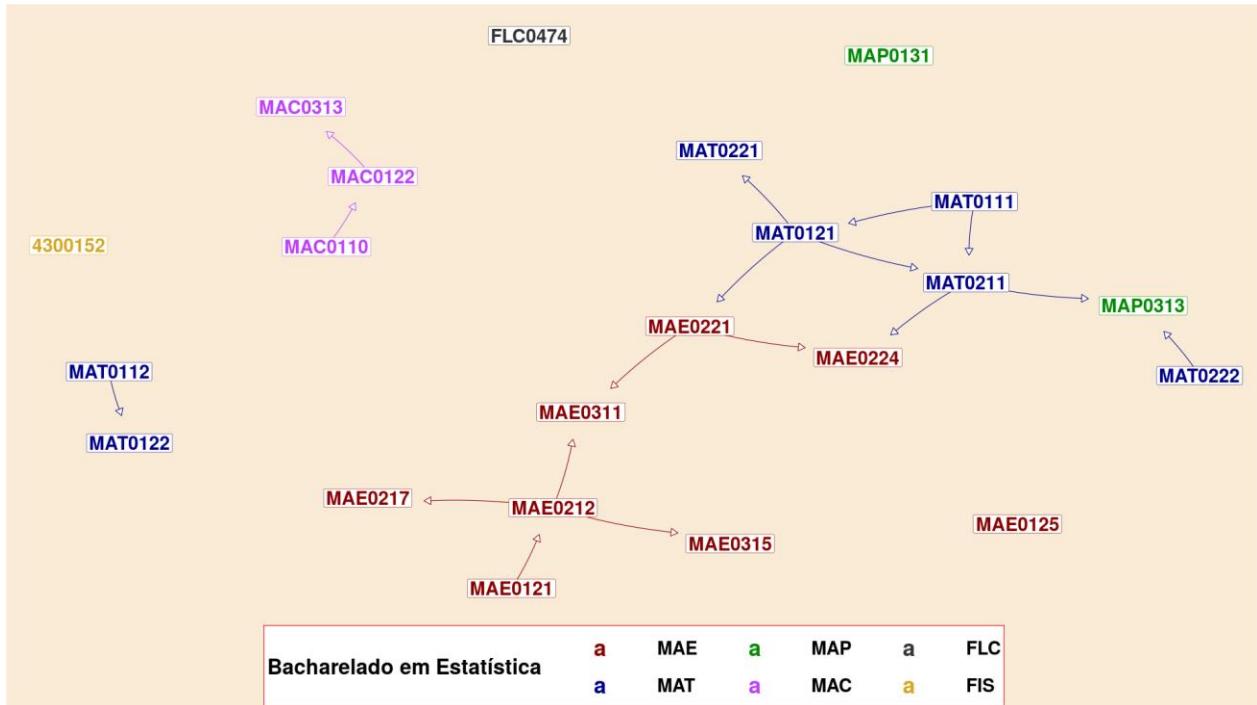


Tabela 4: Disciplinas da grade curricular do Bacharelado em Estatística

Código	Nome	Semestre
4300152	Introdução às Medidas em Física	1
FLC0474	Língua Portuguesa	2
MAC0110	Introdução à Computação	1
MAC0122	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	2
MAC0313	Introdução aos Sistemas de Bancos de Dados para Estatística	4
MAE0121	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	1
MAE0125	Perspectivas em Estatística	1
MAE0212	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	2
MAE0217	Estatística Descritiva	3
MAE0221	Probabilidade I	3
MAE0224	Probabilidade II	4
MAE0311	Inferência Estatística	4

MAE0315	Tecnologia da Amostragem	3
MAP0131	Laboratório de Matemática Aplicada	2
MAP0313	Cálculo de Diferenças Finitas	4
MAT0111	Cálculo Diferencial e Integral I	1
MAT0112	Vetores e Geometria	1
MAT0121	Cálculo Diferencial e Integral II	2
MAT0122	Álgebra Linear I	2
MAT0211	Cálculo Diferencial e Integral III	3
MAT0221	Cálculo Diferencial e Integral IV	4
MAT0222	Álgebra Linear II	3

A grade curricular do Bacharelado em Estatística apresenta disciplinas de seis departamentos diferentes. Observa-se que as disciplinas do MAC estão isoladas das demais, enquanto que há uma ligação entre as disciplinas do MAT e do MAE, sendo aquelas requisitos para essas.

As disciplinas mais importantes, no sentido de serem requeridas por outras, são MAT0121, que é requisito para as disciplinas de Cálculo e Probabilidade, e MAE0212, que é requisito para várias disciplinas do MAE. Vetores e Geometria e Álgebra Linear I são representados pelas duas disciplinas do MAT isoladas das demais. As disciplinas do MAP não são requisitos para nenhuma outra dos dois primeiros anos, e as disciplinas de Língua Portuguesa, Introdução às Medidas em Física e Perspectivas em Estatística estão isoladas das demais.

Figura 3: Grafo da estrutura de requisitos do Bacharelado em Matemática

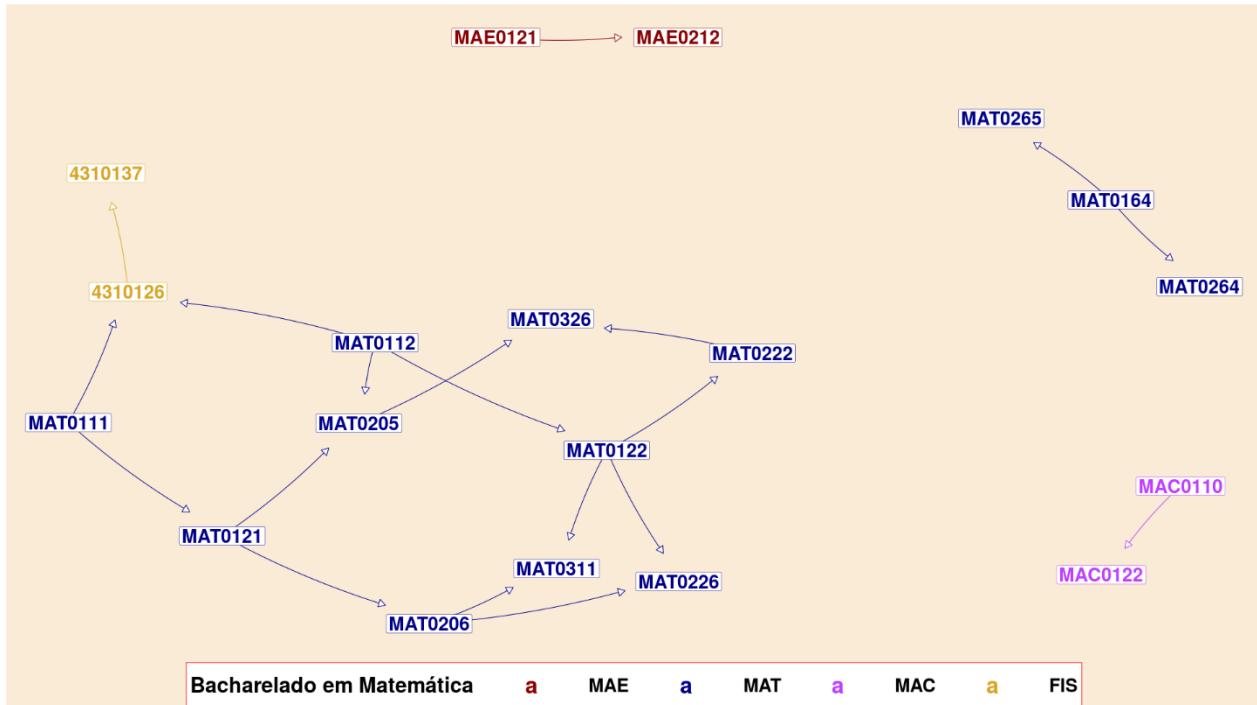


Tabela 5: Disciplinas da grade curricular do Bacharelado em Matemática

Código	Nome	Semestre
4310126	Física I	2
4310137	Física II	3
MAC0110	Introdução à Computação	1
MAC0122	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	2
MAE0121	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	1
MAE0212	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	2
MAT0111	Cálculo Diferencial e Integral I	1
MAT0112	Vetores e Geometria	1
MAT0121	Cálculo Diferencial e Integral II	2
MAT0122	Álgebra Linear I	2
MAT0164	Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática	1
MAT0205	Cálculo Diferencial e Integral III	3

MAT0206	Análise Real	3
MAT0222	Álgebra Linear II	3
MAT0226	Equações Diferenciais I	4
MAT0264	Anéis e Corpos	3
MAT0265	Grupos	4
MAT0311	Cálculo Diferencial e Integral V	4
MAT0326	Geometria Diferencial I	4

A grade curricular do Bacharelado em Matemática é formada basicamente por disciplinas do MAT que estão altamente ligadas entre si, se dividindo em dois grupos distintos. Um é formado por MAT0264, MAT0164 e MAT0265, que são as disciplinas de Anéis, Corpos e Grupos, enquanto que o outro é formado pelas disciplinas de Cálculo e Análise. Nota-se que as disciplinas MAT0122 e MAT0112 são as disciplinas que são requisitos para o maior número de outras.

As duas disciplinas do MAE e as duas do MAC representam as disciplinas básicas de estatística e computação, respectivamente. Já as duas disciplinas da Física, são as disciplinas introdutórias de Física.

Figura 4: Grafo da estrutura de requisitos atual do Bacharelado em Matemática Aplicada

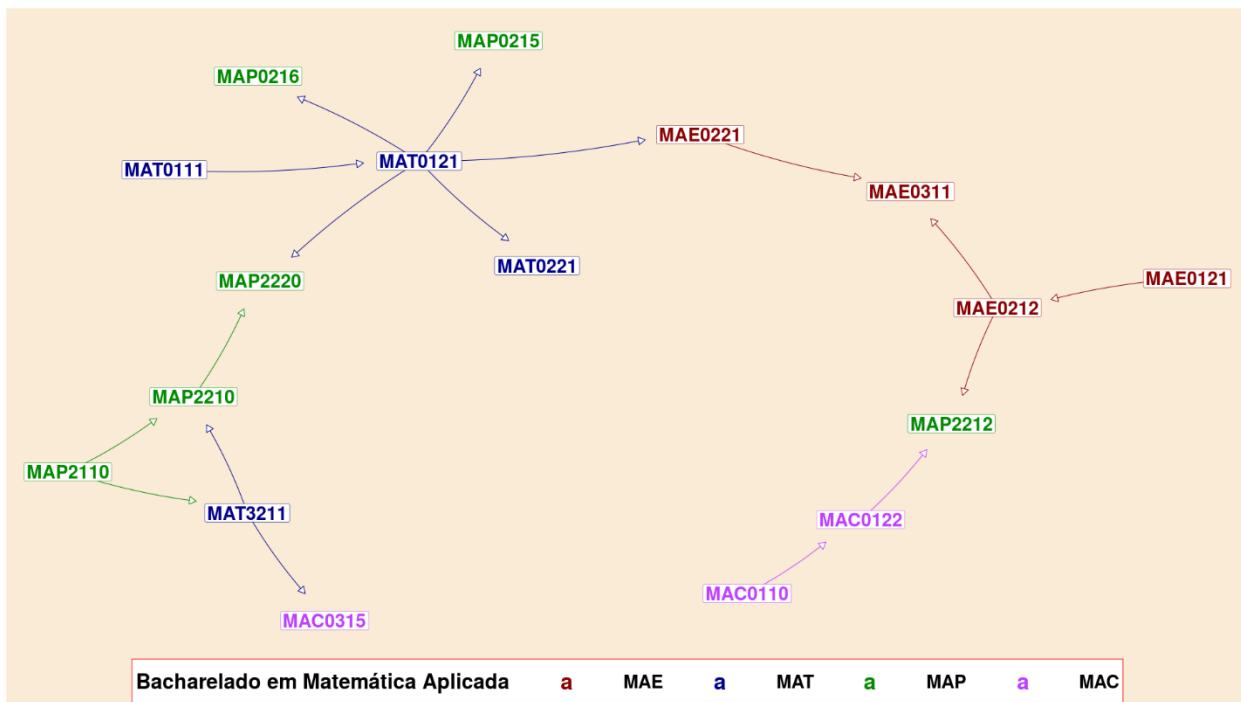


Tabela 6: Disciplinas da grade curricular do Bacharelado em Matemática Aplicada

Código	Nome	Semestre
MAC0110	Introdução à Computação	1
MAC0122	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	2
MAC0315	Programação Linear	4
MAE0121	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	1
MAE0212	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	2
MAE0221	Probabilidade I	3
MAE0311	Inferência Estatística	4
MAP0215	Cálculo Vetorial e Aplicações	3
MAP0216	Introdução à Análise Real	3
MAP2110	Modelagem e Matemática	1
MAP2210	Aplicações de Álgebra Linear	3

MAP2212	Laboratório de Computação e Simulação	3
MAP2220	Fundamentos de Análise Numérica	4
MAT0111	Cálculo Diferencial e Integral I	1
MAT0121	Cálculo Diferencial e Integral II	2
MAT0221	Cálculo Diferencial e Integral IV	4
MAT3211	Álgebra Linear	2

A grade curricular do Bacharelado em Matemática Aplicada é composta por disciplinas dos quatro departamentos do IME – USP. Observa-se que há núcleos de disciplinas de um mesmo departamento que são requisitos umas das outras, sendo MAE0212, MAP2110 e MAT0121 as disciplinas que são requisitos para o maior número de outras.

As disciplinas do MAT se dividem nas de Cálculo e de Álgebra Linear. As disciplinas do MAE são formadas pelas duas disciplinas básicas de estatística e as disciplinas de Probabilidade I e Inferência Estatística. As disciplinas do MAC são as básicas e Programação Linear.

Figura 5: Grafo da estrutura de requisitos atual do Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional

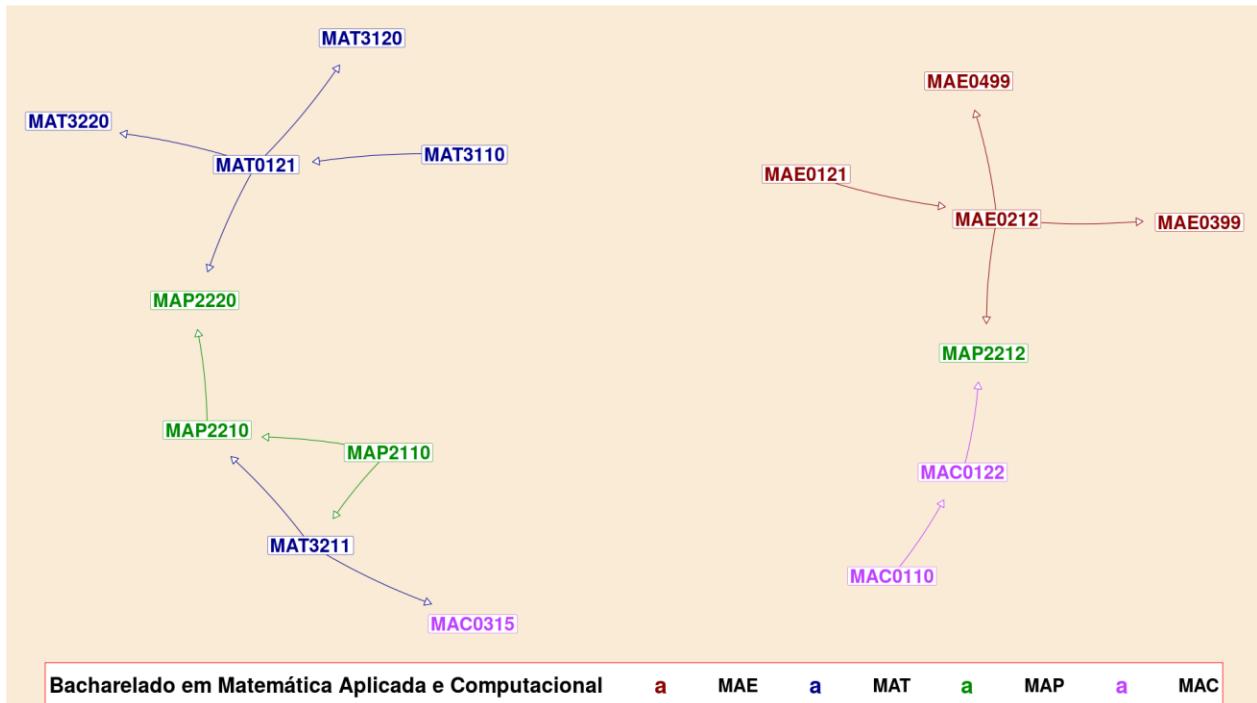


Tabela 7: Disciplinas da grade curricular do Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional

Código	Nome	Semestre
MAC0110	Introdução à Computação	1
MAC0122	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	2
MAC0315	Programação Linear	4
MAE0121	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	1
MAE0212	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	2
MAE0399	Análise de Dados e Simulação	3
MAE0499	Processos Estocásticos	4
MAP2110	Modelagem e Matemática	1
MAP2210	Aplicações de Álgebra Linear	3
MAP2212	Laboratório de Computação e Simulação	3

MAP2220	Fundamentos de Análise Numérica	4
MAT0121	Cálculo Diferencial e Integral II	1
MAT3110	Cálculo Diferencial e Integral I	2
MAT3120	Cálculo Diferencial e Integral III	3
MAT3211	Álgebra Linear	2
MAT3220	Cálculo Diferencial e Integral IV	4

A grade curricular do Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional é formada por disciplinas dos quatro departamentos do IME – USP, divididas em dois grupos. No primeiro, tem-se as disciplinas do MAE e do MAC que são requisitos para MAP2212. No outro, temos as disciplinas do MAT e as demais do MAP, além de uma do MAC. As disciplinas MAT0121, MAE0212 e MAP2110 são as que são requisitos para o maior número de disciplinas.

Figura 6: Grafo da estrutura de requisitos atual da Licenciatura em Matemática Diurno

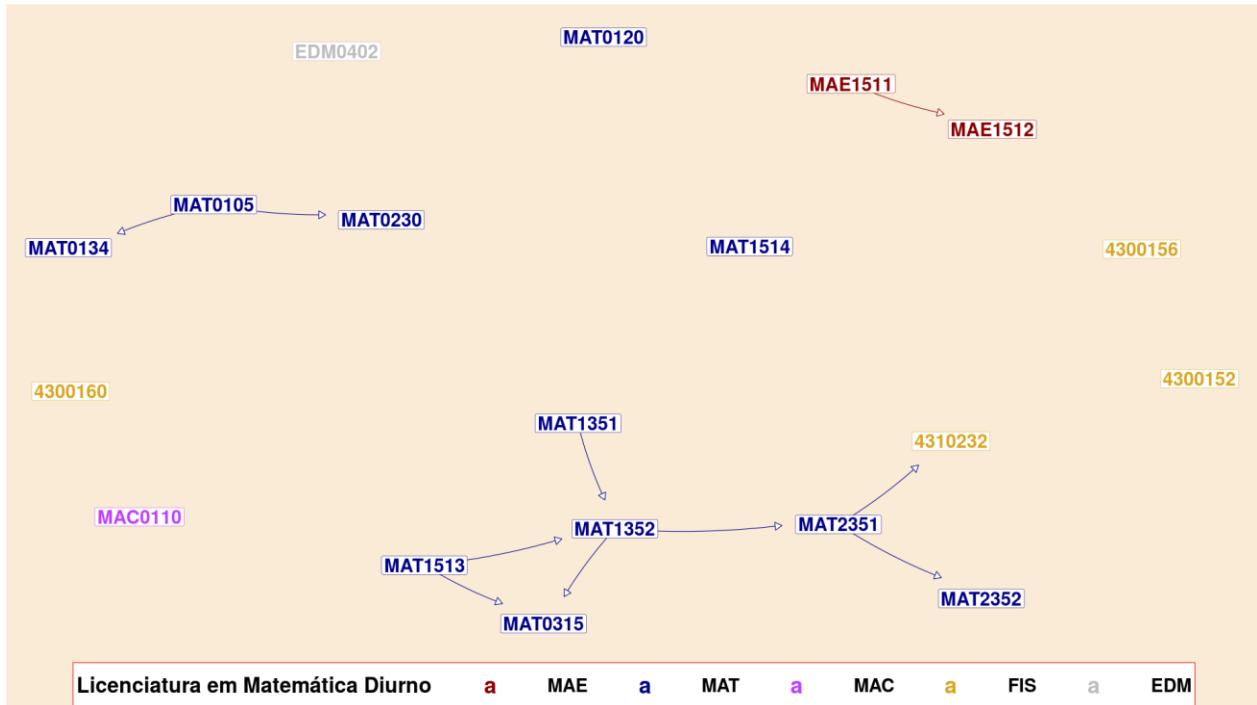


Tabela 8: Disciplinas da grade curricular da Licenciatura em Matemática Diurno

Código	Nome	Semestre
4300152	Introdução às Medidas em Física	3
4300156	Gravitação	2
4300160	Ótica	1
4310232	Mecânica para Licenciatura em Matemática	4
EDM0402	Didática	4
MAC0110	Introdução à Computação	3
MAE1511	Estatística para Licenciatura I	1
MAE1512	Estatística para Licenciatura II	2
MAT0105	Geometria Analítica	1
MAT0120	Álgebra I para Licenciatura	3
MAT0134	Introdução a Álgebra Linear	2
MAT0230	Geometria e Desenho Geométrico I	4

MAT0315	Introdução à Análise	4
MAT1351	Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	1
MAT1352	Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	2
MAT1513	Laboratório de Matemática	1
MAT1514	A Matemática na Educação Básica	2
MAT2351	Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	3
MAT2352	Cálculo para Funções de Várias Variáveis II	4

A grade curricular da Licenciatura em Matemática Diurno é formada basicamente por disciplinas do MAT, que são requisitos umas das outras, e disciplinas da Física (FIS) que não possuem requisitos. Além disso, há também as duas disciplinas básicas de estatística do MAE, em que uma é requisito da outra. As disciplinas MAT1352, MAT2351, MAT0105 e MAT 1513 são as únicas que são requisitos para duas outras.

Figura 7: Grafo da estrutura de requisitos atual da Licenciatura em Matemática Noturno

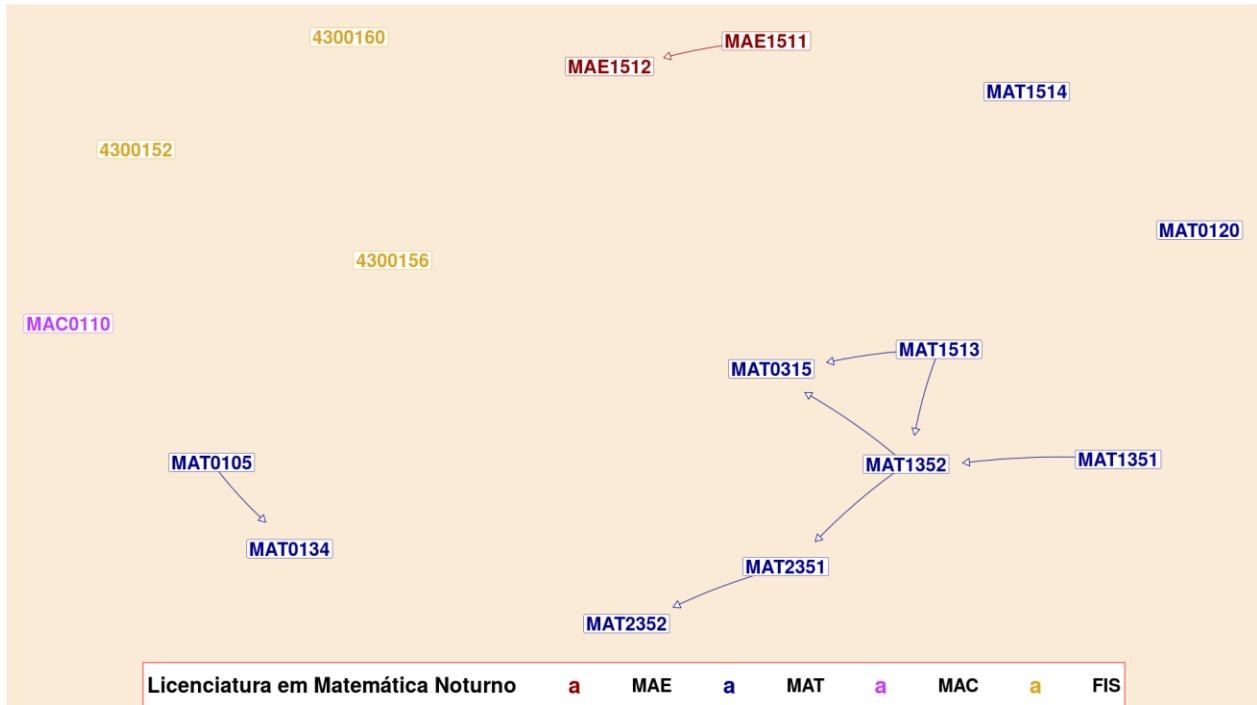


Tabela 9: Disciplinas da grade curricular da Licenciatura em Matemática Noturno

Código	Nome	Semestre
4300152	Introdução às Medidas em Física	3
4300156	Gravitação	2
4300160	Ótica	1
MAC0110	Introdução à Computação	4
MAE1511	Estatística para Licenciatura I	3
MAE1512	Estatística para Licenciatura II	4
MAT0105	Geometria Analítica	1
MAT0120	Álgebra I para Licenciatura	3
MAT0134	Introdução a Álgebra Linear	2
MAT0315	Introdução à Análise	4
MAT1351	Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	1
MAT1352	Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	2

MAT1513	Laboratório de Matemática	1
MAT1514	A Matemática na Educação Básica	2
MAT2351	Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	3
MAT2352	Cálculo para Funções de Várias Variáveis II	4

A grade curricular da Licenciatura em Matemática Noturno também é formada por disciplinas do MAT que são requisitos entre si e disciplinas da Física sem requisitos, além das duas disciplinas de estatística básica do MAE. As disciplinas MAT1352 e MAT1513 são as únicas que são requisito para duas outras.

4.3. Técnicas estatísticas para a análise do desempenho discente

Para analisar o desempenho discente a fim de propor uma nova estrutura para as grades curriculares apresentadas nos grafos acima, é possível mensurar a relação entre uma disciplina e um grupo de outras, visando determinar qual grupo de disciplinas está mais relacionado em algum sentido com uma dada disciplina, que poderá então ser tomado como o seu grupo de requisitos.

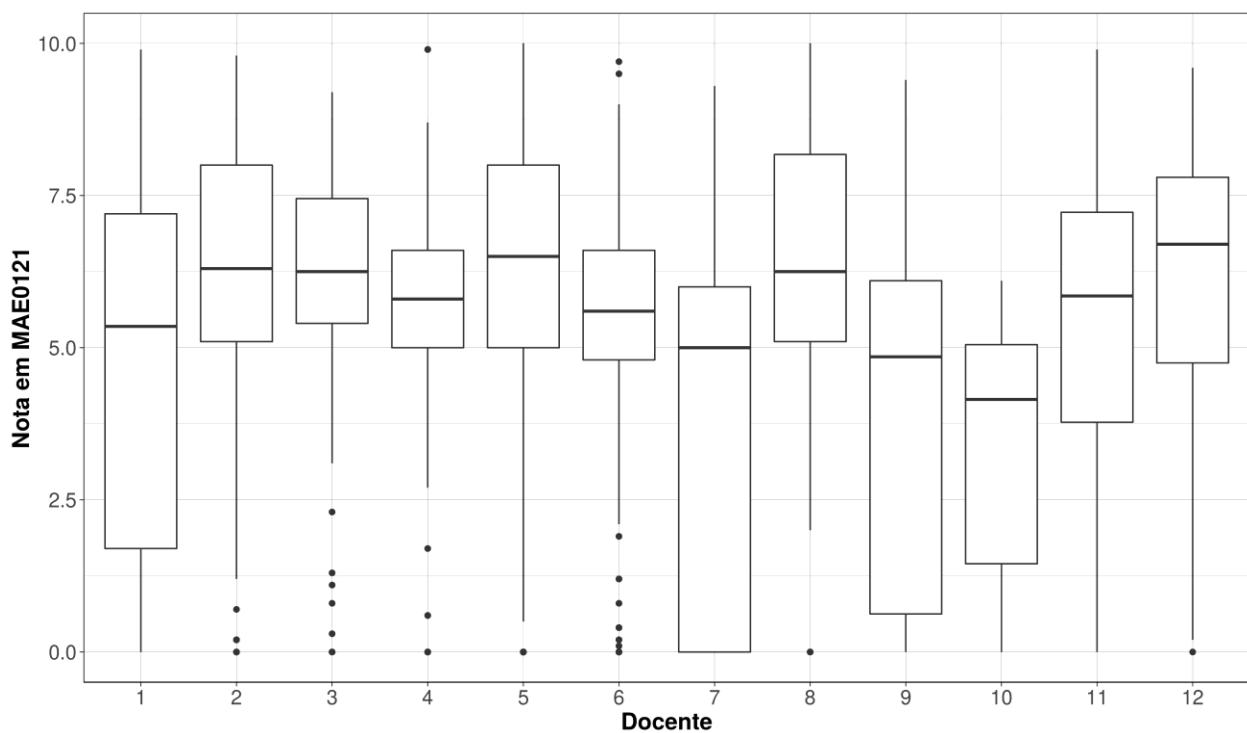
Entretanto, como evidenciado na Figura 8, que apresenta a distribuição das notas em MAE0121 dos ingressantes no IME – USP entre 2011 e 2016, o docente (informação não disponível para todo o banco de dados) é determinante no desempenho discente. De fato, observa-se uma grande variação no desempenho discente de um docente para outro. Portanto, é necessário padronizar as notas a fim de reduzir o efeito de docente no desempenho discente, pois tomar a nota de zero a dez como medida de desempenho não levaria em conta que a escala de notas, i.e., média e desvio-padrão, difere de um docente para outro.

Assim, a nota em uma disciplina será padronizada de acordo com a turma, ou seja, a nota padronizada será dada pela nota do discente menos a média de sua turma, dividido pelo desvio-padrão da turma. A nota média e o desvio padrão da turma são calculados apenas para os discentes do mesmo curso que estão cursando a disciplina pela primeira

ou última vez, de acordo com o objetivo da análise. Observe que tal padronização ameniza o efeito de docente pois, embora não conhecemos o docente, sabemos que todos os discentes de uma mesma turma tiveram aulas com o mesmo docente. Portanto, embora não sabemos, por exemplo, se 8 é uma boa nota, já que pode ter sido dada por docente cujas notas atribuídas possuem média alta, saberemos, por outro lado, que uma nota padronizada próxima de 2 coloca o discente entre os melhores de sua turma.

Consequentemente, quando juntarmos todas as notas padronizadas, teremos um conjunto de dados variando entre, aproximadamente, -2 e 2, e saberemos que os discentes com nota padronizada próximas de 2 são os melhores, enquanto que os discentes com notas próximas de -2 são os com maiores dificuldades de sua turma, o que possibilitará uma análise com efeito de docente amenizado. Entretanto, os dados continuarão sendo caracterizados por uma assimetria, como evidenciado na Figura 8.

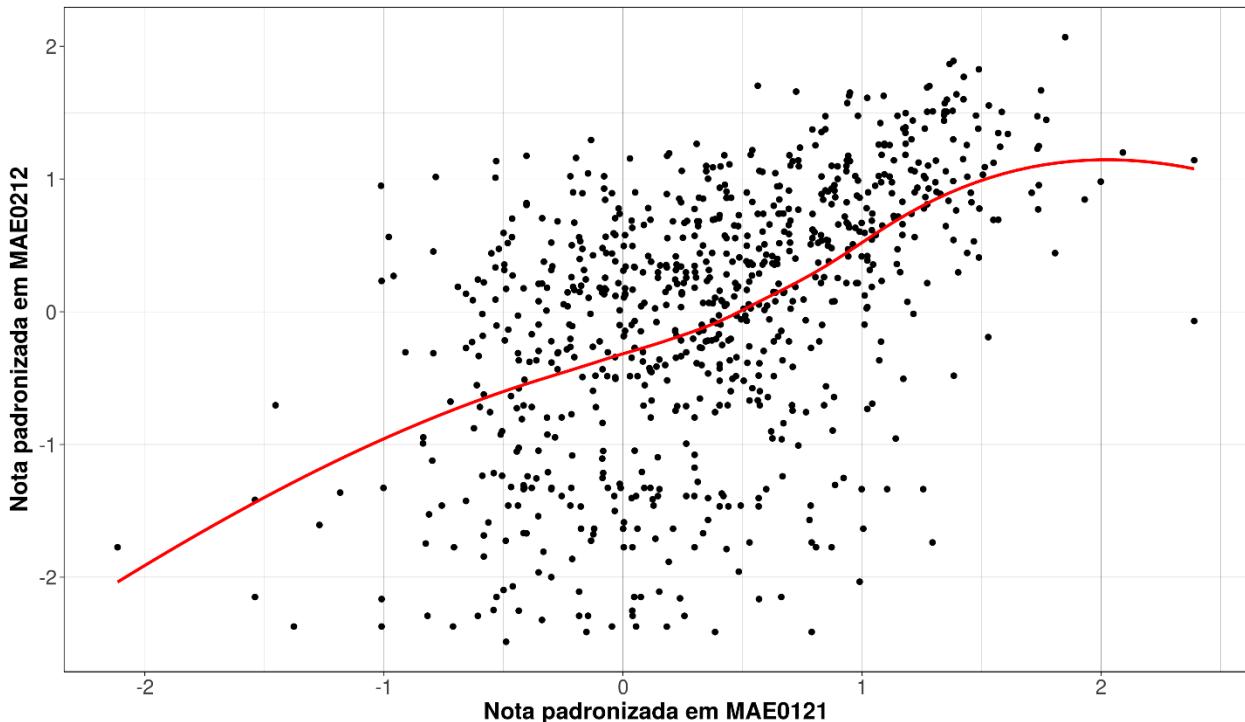
Figura 8: Distribuição das notas em MAE0121 dos ingressantes no IME - USP entre 2011 e 2016 por docente



Na Figura 9, temos o gráfico de dispersão das notas em MAE0121 e MAE0212 de todos os ingressantes no IME – USP entre 2011 e 2016 que cursaram as duas disciplinas pelo menos uma vez. A nota de um discente em MAE0212 é a nota que ele obteve quando cursou a disciplina pela primeira vez, enquanto que a nota do discente em MAE0121 é a nota que ele obteve quando a cursou pela última vez. Consequentemente, as notas em MAE0121 são maiores ou iguais a 3, pois essa é a nota mínima em primeira avaliação que possibilita um discente ser aprovado em segunda avaliação na disciplina. As notas são tomadas dessa maneira pois, pela sequência dos cursos, MAE0121 é cursada antes de MAE0212 e, portanto, uma medida do conteúdo adquirido dos discentes sobre a ementa ministrada em MAE0121 deve ser dada pela sua última nota, que então será comparada com a nota que obtiveram quando cursaram MAE0212 pela primeira vez, o que ocorre logo após cursar MAE0121 pela última vez.

Observa-se na Figura 9 que a relação entre o desempenho em MAE0121 e MAE0212, por exemplo, se existir, não deve ser linear, i.e., pode ser mal aproximado por uma reta. De fato, é necessário determinar essa relação de uma maneira que possa ser facilmente interpretada e que não faça suposições que possivelmente não são satisfeitas pelo conjunto de dados. Assim, há a necessidade de aplicar alguma técnica estatística que possa ser facilmente interpretada e que mensure a relação entre o desempenho discente em diferentes disciplinas, sem fazer suposições sobre a forma de tal possível (e particular) relação de dependência.

Figura 9: Gráfico de dispersão entre os desempenhos em MAE0121 e MAE0212 dos ingressantes no IME - USP entre 2011 e 2016



Com este objetivo, a técnica a ser usada nesse relatório será o cálculo da dependência local do lift, proposta por Simonis, Marcondes, Barrera (2017) como uma medida de dependência. Uma breve introdução aos conceitos relacionados com a dependência local do lift é apresentada no Apêndice A. Para ilustrar o uso da dependência local do lift, será analisada a relação entre os desempenhos em MAE0121, MAE0212 e MAE0221, que são os cursos básicos de probabilidade e estatística. Informalmente, o valor do *lift* na correspondente casela de uma dada distribuição conjunta é a frequência relativa observada na casela dividida pelo produto das frequências relativas marginais observadas.

Primeiro, analisaremos a relação entre os desempenhos em MAE0121 (última nota) e MAE0212 (primeira nota). Para tal fim, os discentes serão separados em três grupos (mas poderiam ser mais grupos) para cada disciplina de acordo com os tercis do desempenho, ou seja, ordenando as notas padronizadas em ordem crescente dentro de

cada turma, tomaremos o primeiro grupo como o um terço dos discentes da turma com menor nota, o segundo como o próximo um terço dos discentes da turma e o terceiro como o um terço dos discentes da turma com as melhores notas. Os tercis foram escolhidos como maneira de discretizar o desempenho pelo pesquisador. Esse processo foi realizado para as duas disciplinas, fornecendo a *Tabela Lift* na Tabela 10. Os números entre parênteses representam o número de discentes em cada categoria.

Tabela 10: Tabela Lift entre os desempenhos em MAE0121 e MAE0212 dos ingressantes no IME - USP entre 2011 e 2016

Desempenho em MAE0121	Desempenho em MAE0212			
	Primeiro Tercil	Segundo Tercil	Terceiro Tercil	Frequência
				Relativa
Primeiro Tercil	1,67 (171)	0,90 (85)	0,36 (34)	0,36
Segundo Tercil	0,96 (87)	1,33 (111)	0,71 (59)	0,32
Terceiro Tercil	0,31 (29)	0,79 (68)	1,97 (169)	0,33
Frequência Relativa	0,35	0,32	0,32	1

A interpretação da Tabela 10 é direta. Por exemplo, o número 1,97 na terceira linha e terceira coluna nos diz que a probabilidade de um discente estar no melhor tercil em MAE0212, condicionado ao fato de ele ter ficado no melhor tercil em MAE0121 é 1,97 vezes a probabilidade de um discente qualquer estar no melhor tercil em MAE0212 (se não soubermos seu desempenho em MAE0121 teríamos que sua probabilidade de estar no melhor tercil em MAE0212 é apenas 0,33). Dizemos então que estar no melhor tercil em MAE0121 alavanca (*lift*) em 97% a probabilidade de estar no melhor tercil em MAE0212.

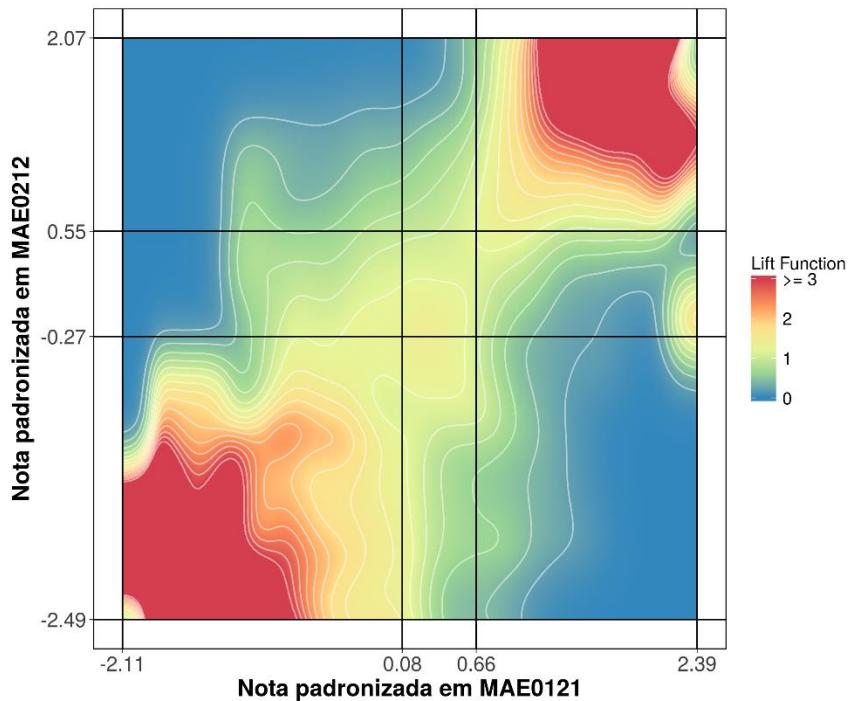
Interpretando a Tabela 10, categoria por categoria, temos uma visão geral da relação entre os desempenhos em MAE0121 e MAE0212, sem fazer nenhum tipo de suposição sobre a sua forma de dependência. De fato, os valores maiores do que um na diagonal da tabela, por exemplo, significam que estar em um determinado tercil em MAE0121

alavanca a probabilidade de estar no mesmo tercil em MAE0212. Entretanto, é necessário mensurar essa relação, no sentido de determinar se ela é forte ou fraca, de acordo com algum critério.

Em Simonis, Marcondes, Barrera (2017) foi mostrado que o maior valor que uma categoria da *Tabela Lift* acima pode assumir é 3. Assim, quanto mais valores próximos de 3, maior a dependência entre o desempenho nas duas disciplinas, enquanto que, quanto mais valores próximos de 1, menor a dependência entre os desempenhos. Uma medida para a distância entre os valores da *Tabela Lift* e sua configuração em que ocorre o que é definido como dependência máxima (ver Apêndice A) é dada pelo *coeficiente de dependência do lift* (η) (ou o que definimos como uma escala do *lift*).

Para a Tabela Lift na Tabela 10 um coeficiente $\eta = 0,33$, que é uma dependência substancial, pois η varia entre zero e um. Uma outra maneira de visualizar a dependência local do lift entre duas variáveis é através de um *heatmap* como o apresentado na Figura 10. As cores de uma região do *heatmap* entre os desempenhos em MAE0121 e MAE0212 representam os valores da *Função Lift* nessa região.

Figura 10: Heatmap entre os desempenhos em MAE0121 e MAE0212 dos ingressantes no IME - USP entre 2011 e 2016



As regiões vermelhas nos cantos do gráfico representam as categorias inferior desempenho nas duas disciplinas e superior desempenho nas duas disciplinas. A partir da Figura 10 é possível analisar a relação entre cada valor das notas padronizadas de cada disciplina, o que permite visualizar a dependência por região entre os dois desempenhos, sendo que as curvas em branco são as curvas de nível da *Função Lift*.

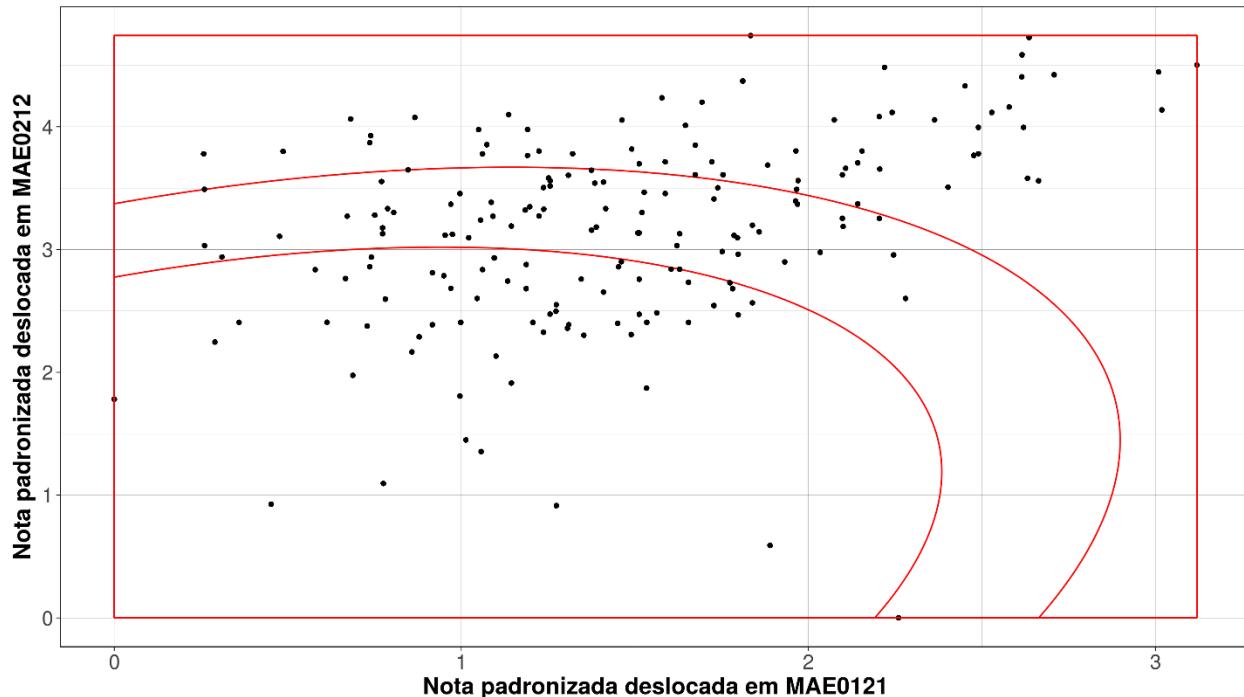
Por outro lado, para analisar a relação entre o desempenho em uma disciplina e em um grupo de outras, é necessário particionar o desempenho conjunto no grupo de disciplinas, de maneira a obtermos uma *Tabela Lift* como a da Tabela 10 por exemplo, para então interpretar a relação entre a disciplina e o grupo de outras. Assim, para estudar a relação entre o desempenho em MAE0221 (primeira nota) e o grupo de disciplinas MAE0121 (última nota) e MAE0212 (última nota) conjuntamente, é necessário particionar o desempenho em MAE0121 e MAE0212 conjuntamente, a fim de obter os seus tercis.

Como o espaço do desempenho em MAE0121 e MAE0212 possui dimensão dois, não há uma ordenação trivial para o desempenho dos discentes.

Entretanto, podemos deslocar o desempenho para o primeiro quartil, i.e., somar constantes as notas padronizadas em MAE0121 e MAE0212 de modo a mudar as suas escalas para aproximadamente de 0 a 4. Então, tomamos a distância entre as notas padronizadas deslocadas e o zero, que podem ser ordenadas para formar os tercis do desempenho. De fato, quanto mais próximo de zero o desempenho de um discente, pior ele é, pois isso significa que o discente está entre os de desempenho inferior. Por outro lado, quanto mais distantes o desempenho está de zero, melhor é o desempenho, pois isso significa que o discente está entre os de desempenho superior.

O gráfico da Figura 11 apresenta as notas padronizadas e deslocadas em MAE0121 e MAE0212 dos ingressantes no IME – USP entre 2011 e 2016 que cursaram MAE0221. Observe que as elipses representam os pontos de corte dos tercis da amostra, i.e., os pontos contidos na primeira elipse são o um terço dos discentes com pior desempenho, os discentes contidos na segunda mas não na primeira elipse são o um terço central, e os discentes que não estão contidos em nenhuma elipse são o um terço dos discentes com o melhor desempenho. A distância usada foi a Distância de Mahalanobis (MAHALANOBIS,1936).

Figura 11: Partição de Mahalanobis do desempenho em MAE0121 e MAE0212 deslocado dos ingressantes no IME - USP entre 2011 e 2016 que cursaram MAE0221



Por fim, particionando o desempenho em MAE0221 por turma, podemos construir a *Tabela Lift* presente na Tabela 11, que apresenta a relação entre o desempenho em MAE0221 e os desempenhos em MAE0121 e MAE0212 conjuntamente. Para a Tabela 11 temos $\eta = 0,10$, mostrando que a relação entre MAE0221 e os cursos básicos de probabilidade e estatística é baixa, o que já era esperado qualitativamente, pois os cursos básicos de estatística não são requisitos de MAE0221. De fato, os valores da tabela abaixo estão próximos de um, o que caracteriza dependência fraca entre os desempenhos nas disciplinas.

Tabela 11: Tabela Lift entre o desempenho em MAE0221 e o desempenho conjunto em MAE0121 e MAE0212 dos ingressantes no IME – USP entre 2011 e 2016

Desempenho Conjunto em MAE0121 e MAE0212	Desempenho em MAE0221			
	Primeiro Tercil	Segundo Tercil	Terceiro Tercil	Frequência Relativa
Primeiro Tercil	1,27 (32)	1,01 (17)	0,64 (12)	0,34
Segundo Tercil	0,8 (20)	1,27 (21)	1,02 (19)	0,33
Terceiro Tercil	0,93 (23)	0,72 (12)	1,35 (25)	0,33
Frequência Relativa	0,41	0,28	0,31	1

Para se estudar a relação entre uma disciplina e um grupo de mais de duas disciplinas, podemos proceder da mesma maneira. Entretanto, a distância entre as notas padronizadas deslocadas e o zero será tomada em um espaço de dimensão k se o grupo de disciplinas for formado por k disciplinas. Da mesma forma, para estudar a relação entre dois grupos de disciplinas, podemos particionar o desempenho conjunto em cada um deles e então construir uma *Tabela Lift*.

5. Inferência sobre as estruturas curriculares

Baseando-se no desempenho discente no IME - USP entre 2011 e 2016, e utilizando-se as técnicas estatísticas aqui discutidas, uma nova estrutura de requisitos poderia ser proposta e suas características e limitações discutidas. As novas estruturas de requisitos serão propostas fazendo-se uso de uma metodologia sistemática, aplicada através de um algoritmo computacional.

5.1. Metodologia

Para cada disciplina das grades curriculares dos sete cursos do IME – USP, será calculado o valor do coeficiente η entre a disciplina e “todos” os grupos de disciplinas que foram oferecidas nos semestres anteriores a ela, i.e., serão considerados como grupos cada disciplina anterior sozinha, cada par de disciplinas anteriores, cada trio de disciplinas anteriores e assim sucessivamente. Assim, o coeficiente η será calculado para cada subconjunto das partes do conjunto de disciplinas cursadas antes de determinada disciplina.

Para o cálculo do η , serão considerados os tercis da distância de Mahalanobis, se o grupo de disciplinas conter pelo menos duas disciplinas, ou os tercis por turma das notas na disciplina, caso o grupo de disciplinas seja formado por apenas uma disciplina. O desempenho na disciplina para qual se quer determinar os requisitos será tomado como a primeira nota do discente na disciplina e o desempenho nas disciplinas candidatas a serem seus requisitos será tomado como a última nota do discente na disciplina. Essa mensuração do desempenho é justificada pela natureza sequencial das disciplinas e suas candidatas a requisitos. De fato, uma disciplina é cursada em semestres posteriores as suas candidatas a requisitos e a última nota é uma medida do conhecimento do discente sobre certo conteúdo quando aprovado na disciplina, enquanto que a primeira nota é uma medida do conhecimento de um discente sobre um conteúdo após aprendê-lo pela primeira vez. O desempenho no vestibular da FUVEST será dado pela proporção de acertos total em cada disciplina do vestibular e a padronização dos desempenhos tanto na FUVEST quanto na graduação é feita levando-se em conta apenas os discentes do mesmo curso e na mesma situação (primeira ou última nota).

Aplicando-se o método proposto, será determinado qual o grupo de disciplinas candidatas a requisitos que maximiza o coeficiente η . Se η for maior do que um η crítico η_c , a ser determinado a posteriori, tomaremos esse grupo de disciplinas como os requisitos da disciplina fixada. Por outro lado, se η for menor do que η_c (o crítico) ficará determinado que a disciplina fixada não terá nenhum requisito. Para as disciplinas do primeiro semestre, iremos estudar a relação com o desempenho nas disciplinas do

vestibular da FUVEST a fim de encontrar o grupo de disciplinas do vestibular mais relacionado com cada disciplina do primeiro semestre.

A grade de requisitos determinada pelo método proposto ainda passará por um filtro, no sentido de excluir requisitos redundantes. Um requisito contido em um determinado grupo de requisitos é dito redundante se ele for requisito para uma disciplina do grupo. Por exemplo, se Cálculo I é requisito para Cálculo II e Cálculo III e se Cálculo II é requisito para Cálculo III, então Cálculo I é um requisito redundante para Cálculo III: Cálculo III só poderá ser cursado se Cálculo I também for, pois Cálculo I é requisito de Cálculo II, que por sua vez é requisito de Cálculo III. Assim, excluímos Cálculo I do grupo de requisitos de Cálculo III, pois o fato de Cálculo I ser requisito está expresso no fato de Cálculo II ser requisito.

No processo descrito acima, teremos eventualmente uma nova estrutura curricular para cada um dos sete cursos do IME – USP, que poderá então ser comparada com a estrutura atual.

5.2. Limitações

Por se tratar de um processo computacional que deve ser repetido para cada elemento nas partes de um conjunto, temos que, se uma disciplina possui k disciplinas que foram cursadas em semestres anteriores a ela, então $2^k - 1$ coeficientes η deverão ser calculados. Se $k > 15$ o processo computacional torna-se demorado. Portanto, para cada curso do IME - USP, algumas disciplinas não serão consideradas como requisitos para as disciplinas de semestres posteriores (trata-se de um filtro computacional que pode ser feito de maneira qualitativa).

Para o Bacharelado em Estatística, as disciplinas Perspectivas em Estatística, Língua Portuguesa, Introdução às Medidas em Física e Laboratório de Matemática Aplicada foram desconsideradas como requisitos. No Bacharelado em Matemática as disciplinas Física I e Física II foram desconsideradas como requisitos. Já no Bacharelado em Matemática Aplicada e no Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional

apenas a disciplina Laboratório de Computação e Simulação foi desconsiderada como requisito. Nas Licenciaturas em Matemática, as disciplinas Introdução às Medidas em Física, Gravitação, Ótica, Mecânica, Didática e A Matemática na Educação Básica não foram consideradas como candidatas à requisitos.

Para o Bacharelado em Ciências da Computação as limitações são maiores pois, como a grade curricular do curso foi alterada em 2016, algumas disciplinas ainda não foram oferecidas. Portanto, não há discentes que cursaram determinados grupos de disciplinas, inviabilizando o cálculo do η para todos os grupos de interesse. Assim, o coeficiente η foi calculado apenas para os grupos de disciplinas que foram cursadas por pelo menos 10 discentes (trata-se também de um filtro computacional para relevar as informações disponíveis).

Uma outra importante limitação no estudo é o fato de haver uma espécie de multicolinearidade entre os desempenhos discentes nas disciplinas consideradas. Como um exemplo, tome o desempenho discente em MAC0110, MAE0121 e MAE0212. Os discentes observados na população considerada cursaram MAE0212 apenas depois de cursarem MAE0121, já que, quando os seus desempenhos foram observados, a grade curricular vigente dispunha que MAE0121 era requisito para MAE0212. Portanto, não é possível determinar a influência marginal do desempenho em MAC0110 no desempenho em MAE0212, mas apenas a influência condicionada ao fato de os discentes terem cursado MAE0121. Em outras palavras, não é possível determinar, a partir dos dados observados, se discentes que cursam apenas MAC0110 terão o conhecimento necessário para cursar MAE0212 e se o seu desempenho em MAE0212 poderá ser predito pelo desempenho em MAC0110.

De fato, condicionado na grade curricular vigente, o grupo de disciplinas que está mais relacionado com dada disciplina é aquele que maximiza o coeficiente η . Portanto esse grupo não deveria por si só ser tomado como grupo de requisitos da disciplina. O grupo de requisitos deveria ser dado pelas disciplinas que são requisitos na grade vigente mais o grupo de requisitos proposto pelo método, pois os resultados estão condicionados à grade curricular vigente.

Uma sugestão para um estudo futuro é analisar qualitativamente a grade de requisitos atual, juntamente com os grupos de disciplinas que possuem os maiores coeficientes η (e não apenas o grupo que o maximiza), a fim de se determinar novas estruturas de requisitos que possam ser implementadas. O presente estudo se limitará a apresentar e aplicar o método proposto, tomando como requisito o grupo que maximiza o η , e servirá como guia para um possível futuro estudo. Portanto, deve-se entender que todas as conclusões do presente estudo estão condicionadas à estrutura atual e não podem ser usadas como pretexto para se alterar grades de requisitos sem se levar em conta a estrutura de requisitos atual. Assim, a mesma estrutura atual que influencia a proposta de uma mais eficiente, pode, por outro lado, servir de paradigma para que avaliações sistemáticas de suas alterações sejam mensuradas pelo método proposto.

5.3. Escolha do η_c

Após aplicar a metodologia proposta para todas as disciplinas dos sete cursos do IME – USP, obtivemos 125 valores de η máximos, cujas estatísticas descritivas estão apresentadas na Tabela 12. Observamos que em 25% das disciplinas o grupo de disciplinas que maximizou o coeficiente η obteve um coeficiente menor do que 0,242, metade das disciplinas obteve um η máximo menor do que 0,363 e 75% das disciplinas obtiveram um coeficiente menor do que 0,491. O coeficiente máximo médio foi 0,394 e o coeficiente máximo foi 1.

Tabela 12: Estatísticas descritivas dos η máximos

Mínimo	Primeiro Quartil	Mediana	Média	Terceiro Quartil	Máximo	Total
0,114	0,242	0,363	0,394	0,491	1	125

Será proposto que $\eta_c = 0,236$, pois tal escolha de η_c fará com que pouco mais de 25% das disciplinas consideradas não tenham nenhum requisito. Embora qualquer outro valor de η_c pudesse ser usado, esse valor foi o escolhido pois ele deixa a grade de requisitos proposta mais simples e fácil de ser interpretada.

5.4. Estruturas de requisitos propostas

Nessa seção, as estruturas de requisitos propostas de cada um dos sete cursos do IME – USP serão apresentadas. As estruturas serão representadas por grafos e detalhadas em tabelas. Cada sigla nos grafos representa uma disciplina (da graduação ou do vestibular), cada cor um departamento da USP e as setas representam os requisitos de cada disciplina, i.e., os requisitos de uma disciplina apontam para ela. O tamanho das setas e disposição das disciplinas não tem nenhum significado prático: as disciplinas são organizadas a fim de deixar o grafo visualmente organizado. Para uma melhor visualização, apenas as disciplinas que são requisitos para alguma outra, ou que tem pelo menos um requisito serão representadas. As demais disciplinas serão omitidas.

Figura 12: Grafo da estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Ciências da Computação

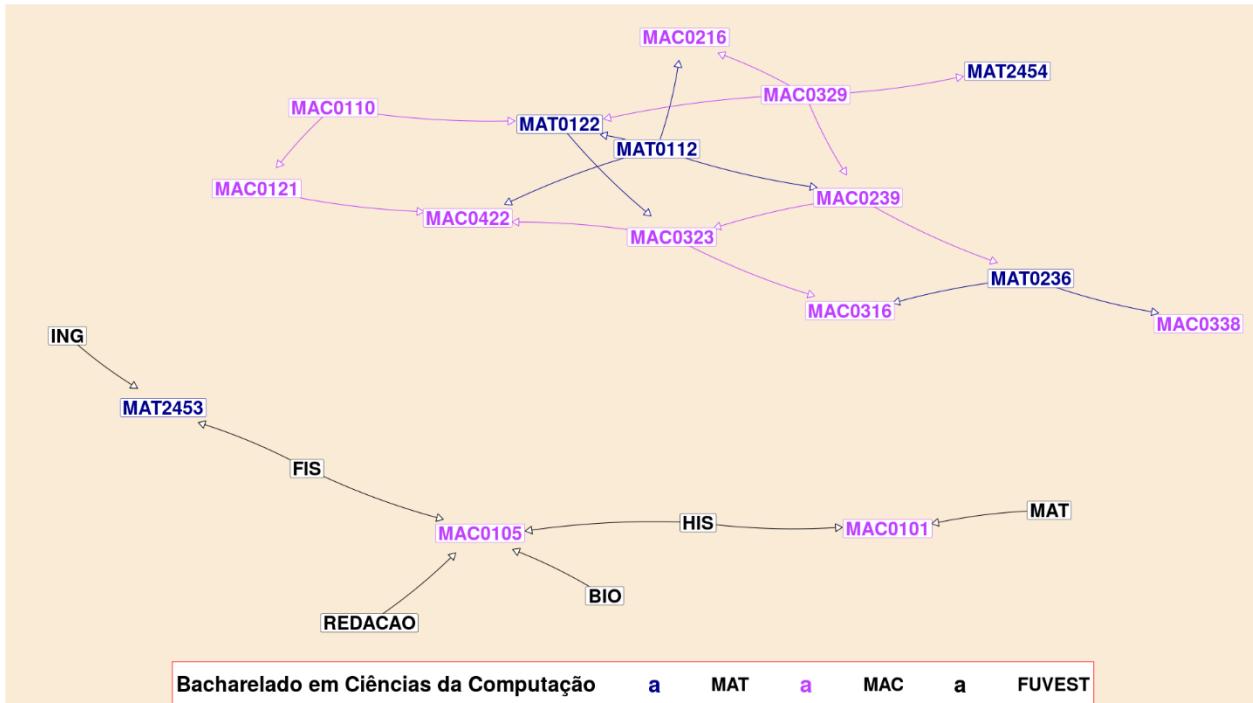


Tabela 13: Estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Ciências da Computação

Disciplina	Requisito
MAC0101 Integração na Universidade e na Profissão	História Matemática
MAC0102 Caminhos no Bacharelado em Ciências da Computação	
MAC0110 Introdução à Computação	
MAC0329 Álgebra Booleana e Aplicações	
MAT0112 Vetores e Geometria	
MAC0209 Modelagem e Simulação	

MAC0210 Laboratório de Métodos Numéricos	
MAE0119 Introdução à Probabilidade e Estatística	
	Redação
MAC0105 Fundamentos de Matemática para a Computação	Biologia Física História
MAT2453 Cálculo Diferencial e Integral I	Física Inglês
MAC0121 Algoritmos e Estrutura de Dados I	MAC0110 Introdução à Computação
MAC0216 Técnicas de Programação I	MAC0329 Álgebra Booleana e Aplicações MAT0112 Vetores e Geometria
MAC0239 Introdução à Lógica e Verificação de Programas	MAC0329 Álgebra Booleana e Aplicações MAT0112 Vetores e Geometria
MAT0122 Álgebra Linear I	MAC0110 Introdução à Computação MAC0329 Álgebra Booleana e Aplicações MAT0112 Vetores e Geometria
MAT2454 Cálculo Diferencial e Integral II	MAC0329 Álgebra Booleana e Aplicações
MAC0323 Algoritmos e Estruturas de Dados II	MAC0239 Introdução à Lógica e Verificação de Programas MAT0122 Álgebra Linear I
MAT0236 Funções Diferenciáveis e Séries	MAC0239 Introdução à Lógica e Verificação de Programas
MAC0316 Conceitos Fundamentais de Linguagens de Programação	MAC0323 Algoritmos e Estruturas de Dados II MAT0236 Funções Diferenciáveis e Séries
MAC0338 Análise de Algoritmos	MAT0236 Funções Diferenciáveis e Séries

MAC0422 Sistemas Operacionais

MAT0112 Vetores e Geometria

MAC0121 Algoritmos e Estrutura de Dados I

MAC0323 Algoritmos e Estruturas de Dados

II

Observa-se na estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Ciências da Computação que há disciplinas do vestibular da FUVEST que são requisitos para disciplinas do primeiro semestre. As disciplinas do MAC são requisitos entre si e as disciplinas do MAT são requisitos também para disciplinas do MAC. Diferentemente da estrutura de requisitos vigente, há disciplinas do MAC que são requisitos para disciplinas do MAT. Poucas disciplinas foram consideradas pois, devido à recente mudança na estrutura curricular do curso, muitas disciplinas ainda não foram oferecidas nenhuma vez.

Figura 13: Grafo da estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Estatística

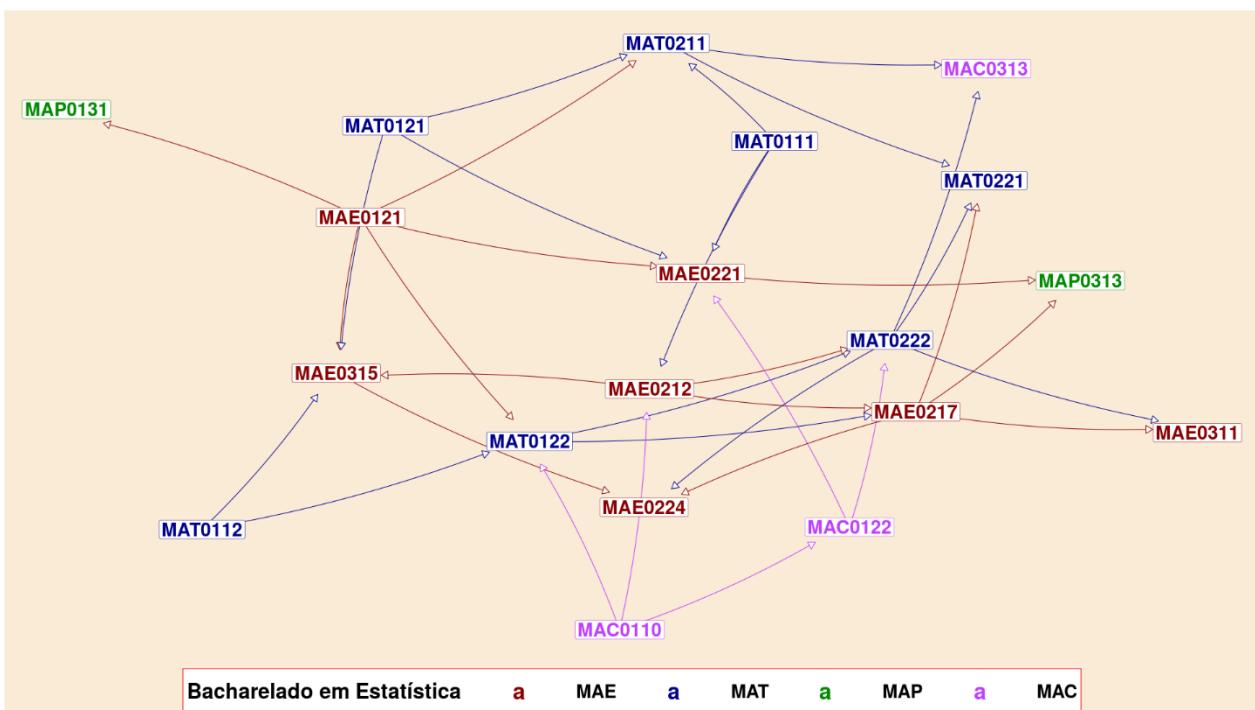


Tabela 14: Estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Estatística

Disciplina	Requisito
4300152 Introdução às Medidas em Física	
MAC0110 Introdução à Computação	
MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I	
MAE0125 Perspectivas em Estatística	
MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I	
MAT0112 Vetores e Geometria	
FLC0474 Língua Portuguesa	
MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	MAC0110 Introdução à Computação
MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II	MAC0110 Introdução à Computação MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I
MAP0131 Laboratório de Matemática Aplicada	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I
MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II	
MAT0122 Álgebra Linear I	MAC0110 Introdução à Computação MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0112 Vetores e Geometria
MAE0217 Estatística Descritiva	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II MAT0122 Álgebra Linear I
MAE0221 Probabilidade I	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos

	MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II
MAE0315 Tecnologia da Amostragem	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0112 Vectors e Geometria MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II
MAT0211 Cálculo Diferencial e Integral III	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II
MAT0222 Álgebra Linear II	MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II MAT0122 Álgebra Linear I
MAC0313 Introdução aos Sistemas de Bancos de Dados para Estatística	MAT0211 Cálculo Diferencial e Integral III MAT0222 Álgebra Linear II
MAE0224 Probabilidade II	MAE0217 Estatística Descritiva MAE0315 Tecnologia da Amostragem MAT0222 Álgebra Linear II
MAE0311 Inferência Estatística	MAE0217 Estatística Descritiva MAT0222 Álgebra Linear II
MAP0313 Cálculo de Diferenças Finitas	MAE0217 Estatística Descritiva MAE0221 Probabilidade I
MAT0221 Cálculo Diferencial e Integral IV	MAE0217 Estatística Descritiva MAT0211 Cálculo Diferencial e Integral III MAT0222 Álgebra Linear II

Para o Bacharelado em Estatística, nenhuma disciplina do vestibular foi proposta como requisito para as disciplinas do primeiro semestre. A estrutura proposta difere

bastante da estrutura vigente, já que, em geral, as disciplinas possuem requisitos que são disciplinas de outros departamentos.

Figura 14: Grafo da estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática

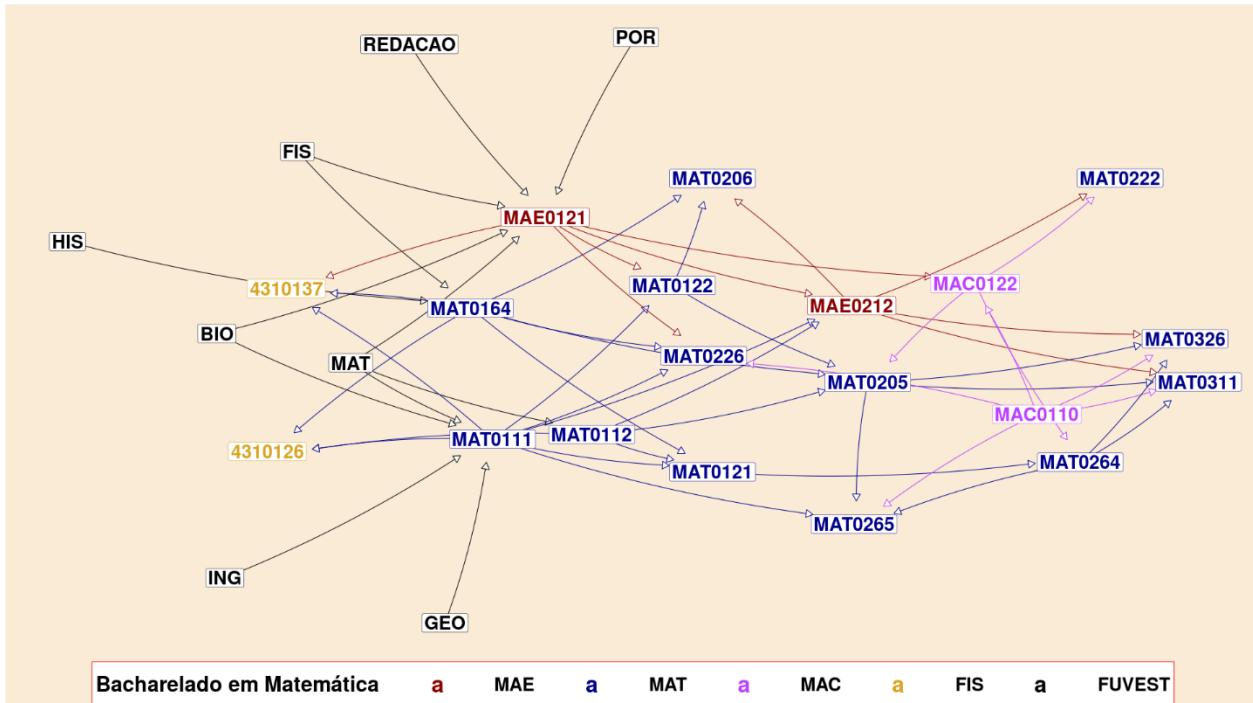


Tabela 15: Estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática

Disciplina	Requisito
MAC0110 Introdução à Computação	
	Redação
MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I	Biologia
	Física
	Matemática
	Português
MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I	Biologia

	Geografia
	Inglês
	Matemática
MAT0112 Vetores e Geometria	Matemática
MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática	Física História
4310126 Física I	MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I MAT0112 Vetores e Geometria MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática
MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	MAC0110 Introdução à Computação MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I
MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I MAT0112 Vetores e Geometria
MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II	MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I MAT0112 Vetores e Geometria MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática
MAT0122 Álgebra Linear I	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I
4310137 Física II	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática

	MAT0112 Vektoren und Geometrie
	MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática
MAT0205 Cálculo Diferencial e Integral III	MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos
	MAT0122 Álgebra Linear I
	MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática
MAT0206 Análise Real	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II
	MAT0122 Álgebra Linear I
	MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos
MAT0222 Álgebra Linear II	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II
MAT0264 Anéis e Corpos	MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II
	MAC0110 Introdução à Computação
	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I
MAT0226 Equações Diferenciais I	MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I
	MAT0164 Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática
	MAC0110 Introdução à Computação
	MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I
MAT0265 Grupos	MAT0205 Cálculo Diferencial e Integral III
	MAT0264 Anéis e Corpos
	MAC0110 Introdução à Computação
	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II
MAT0311 Cálculo Diferencial e Integral V	MAT0205 Cálculo Diferencial e Integral III
	MAT0264 Anéis e Corpos

MAT0326 Geometria Diferencial I	MAC0110 Introdução à Computação
	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à
	Estatística II
	MAT0205 Cálculo Diferencial e Integral III
	MAT0264 Anéis e Corpos

O Bacharelado em Matemática é o curso cujas disciplinas possuem o maior número de requisitos, o que evidencia que os conteúdos ensinados no curso são altamente dependentes entre si. A grade de requisitos proposta representa a evidência de que as disciplinas do Departamento de Matemática são altamente dependentes das disciplinas cursadas em semestres anteriores, já que elas são disciplinas de caráter essencialmente formal.

Figura 15: Grafo da estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática Aplicada

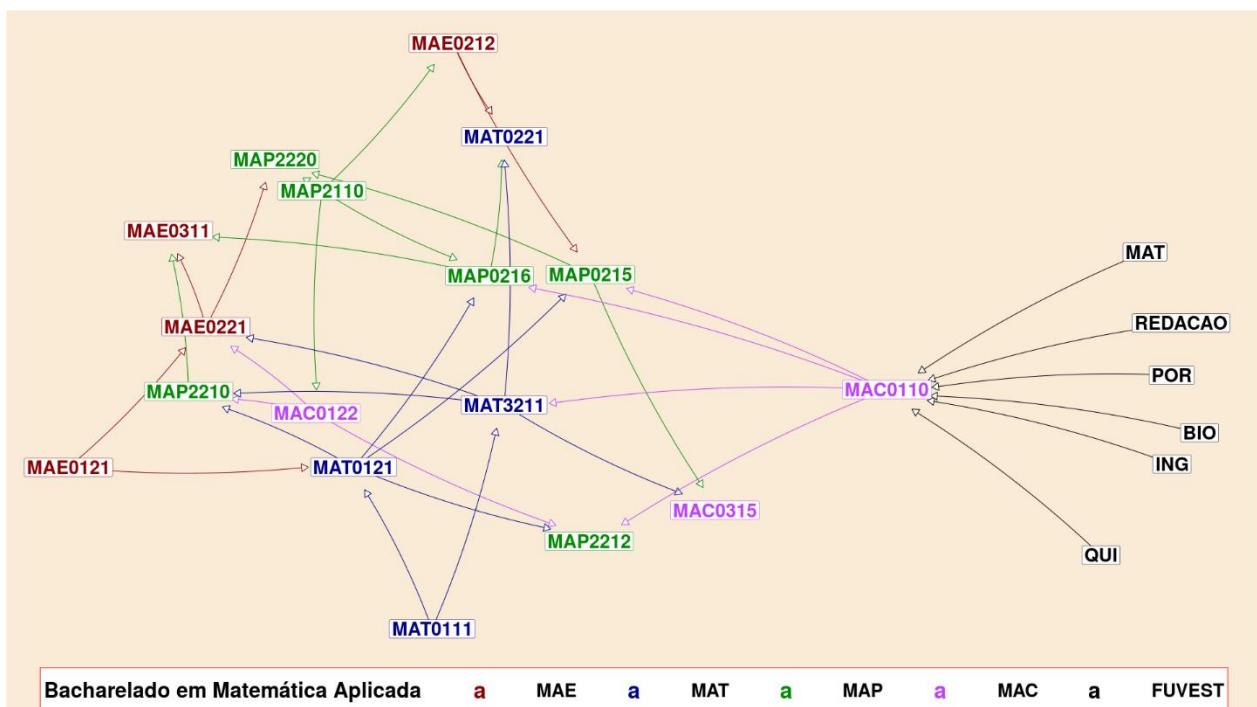


Tabela 16: Estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática Aplicada

Disciplina	Requisito
	Redação
	Biologia
	Inglês
MAC0110 Introdução à Computação	Matemática
	Português
	Química
MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I	
MAP2110 Modelagem e Matemática	
MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I	
MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	MAP2110 Modelagem e Matemática
MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II	MAP2110 Modelagem e Matemática
MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I
MAT3211 Álgebra Linear	MAC0110 Introdução à Computação MAT0111 Cálculo Diferencial e Integral I
MAE0221 Probabilidade I	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos MAT3211 Álgebra Linear
MAP0215 Cálculo Vetorial e Aplicações	MAC0110 Introdução à Computação MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II

MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II	
MAP0216 Introdução à Análise Real	MAC0110 Introdução à Computação MAP2110 Modelagem e Matemática MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II
MAP2210 Aplicações de Álgebra Linear	MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II MAT3211 Álgebra Linear
MAP2212 Laboratório de Computação e Simulação	MAC0110 Introdução à Computação MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II
MAC0315 Programação Linear	MAT3211 Álgebra Linear MAP0215 Cálculo Vetorial e Aplicações
MAE0311 Inferência Estatística	MAE0221 Probabilidade I MAP0216 Introdução à Análise Real MAP2210 Aplicações de Álgebra Linear
MAP2220 Fundamentos de Análise Numérica	MAE0221 Probabilidade I MAP0215 Cálculo Vetorial e Aplicações
MAT0221 Cálculo Diferencial e Integral IV	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II MAT3211 Álgebra Linear MAP0216 Introdução à Análise Real

A estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática Aplicada possui mais requisitos do que a estrutura vigente. Além disso, apenas MAC0110 possui como requisitos disciplinas do vestibular. Há várias disciplinas que possuem como requisitos disciplinas de outros departamentos.

Figura 16: Grafo da estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional

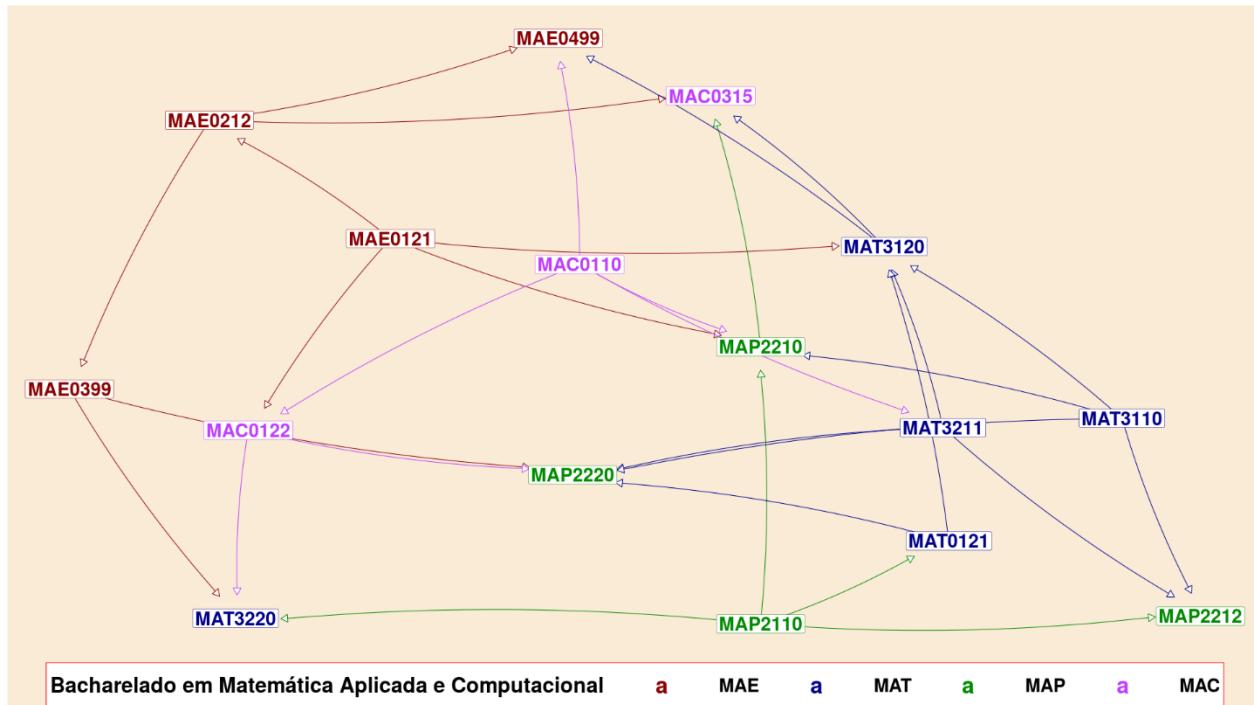


Tabela 17: Estrutura de requisitos proposta para o Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional

Disciplina	Requisito
MAC0110 Introdução à Computação	
MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I	
MAP2110 Modelagem e Matemática	
MAT3110 Cálculo Diferencial e Integral I	
MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	MAC0110 Introdução à Computação MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I
MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I

MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II	MAP2110 Modelagem e Matemática
MAT3211 Álgebra Linear	MAC0110 Introdução à Computação
MAE0399 Análise de Dados e Simulação	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II
MAP2210 Aplicações de Álgebra Linear	MAC0110 Introdução à Computação MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAP2110 Modelagem e Matemática MAT3110 Cálculo Diferencial e Integral I
MAP2212 Laboratório de Computação e Simulação	MAP2110 Modelagem e Matemática MAT3110 Cálculo Diferencial e Integral I MAT3211 Álgebra Linear
MAT3120 Cálculo Diferencial e Integral III	MAE0121 Introdução a Probabilidade e a Estatística I MAT3110 Cálculo Diferencial e Integral I MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II MAT3211 Álgebra Linear
MAC0315 Programação Linear	MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II MAP2210 Aplicações de Álgebra Linear MAT3120 Cálculo Diferencial e Integral III
MAE0499 Processos Estocásticos	MAC0110 Introdução à Computação MAE0212 Introdução à Probabilidade e à Estatística II MAT3120 Cálculo Diferencial e Integral III
MAP2220 Fundamentos de Análise Numérica	MAT3110 Cálculo Diferencial e Integral I MAC0122 Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos MAT0121 Cálculo Diferencial e Integral II MAT3211 Álgebra Linear MAE0399 Análise de Dados e Simulação

MAT3220 Cálculo Diferencial e Integral IV

MAP2110 Modelagem e Matemática

MAC0122 Princípios de Desenvolvimento
de Algoritmos

MAE0399 Análise de Dados e Simulação

Na estrutura proposta para o Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional não há nenhuma disciplina do vestibular que seja requisito para disciplinas do primeiro semestre. Além disso, a estrutura proposta parece estar bem organizada, havendo uma distinção entre as disciplinas de cada departamento, como evidenciado no grafo da Figura 16.

Figura 17: Grafo da estrutura de requisitos proposta para a Licenciatura em Matemática Diurno

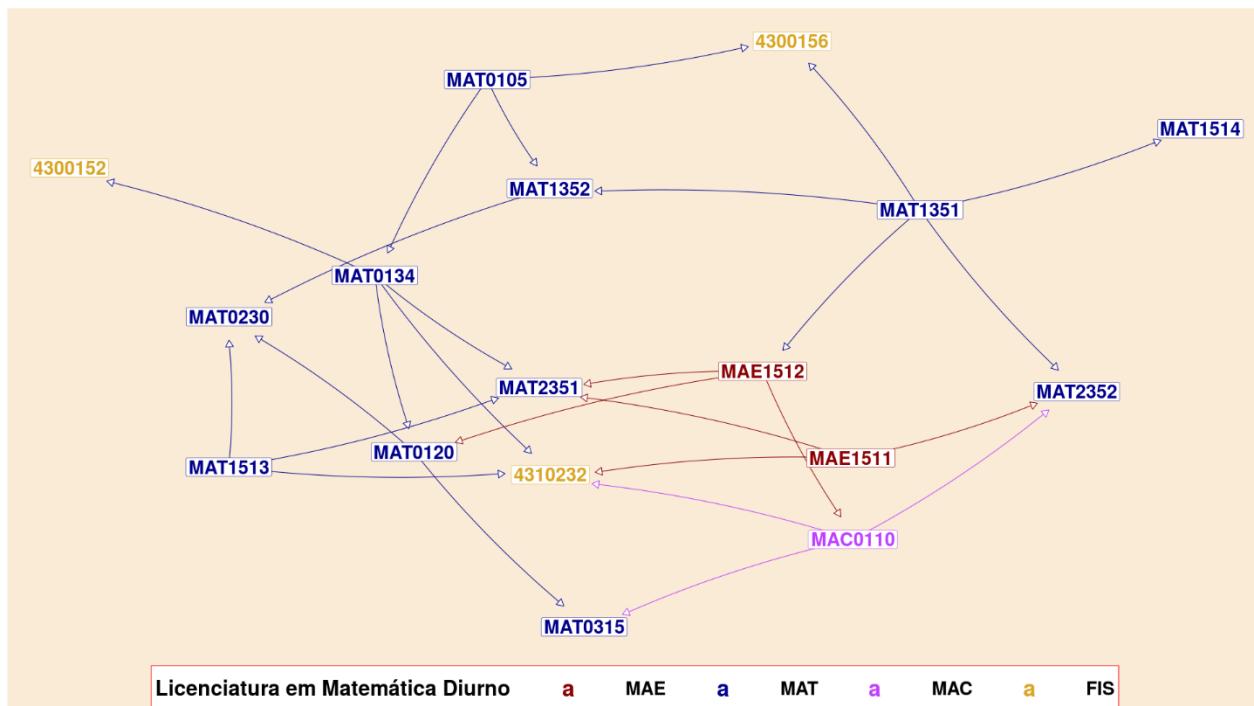


Tabela 18: Estrutura de requisitos proposta para a Licenciatura em Matemática Diurno

Disciplina	Requisito
4300160 Ótica	
MAE1511 Estatística para Licenciatura I	
MAT0105 Geometria Analítica	
MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	
MAT1513 Laboratório de Matemática	
	MAT0105 Geometria Analítica
4300156 Gravitação	MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I
MAE1512 Estatística para Licenciatura II	MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I

MAT0134 Introdução a Álgebra Linear	MAT0105 Geometria Analítica
MAT1352 Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	MAT0105 Geometria Analítica MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I
MAT1514 A Matemática na Educação Básica	MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I
4300152 Introdução às Medidas em Física	MAT0134 Introdução a Álgebra Linear
MAC0110 Introdução à Computação	MAE1512 Estatística para Licenciatura II
MAT0120 Álgebra I para Licenciatura	MAE1512 Estatística para Licenciatura II MAT0134 Introdução a Álgebra Linear
MAT2351 Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	MAE1511 Estatística para Licenciatura I MAT1513 Laboratório de Matemática MAE1512 Estatística para Licenciatura II MAT0134 Introdução a Álgebra Linear
4310232 Mecânica para Licenciatura em Matemática	MAE1511 Estatística para Licenciatura I MAT1513 Laboratório de Matemática MAT0134 Introdução a Álgebra Linear MAC0110 Introdução à Computação
EDM0402 Didática	
MAT0230 Geometria e Desenho Geométrico I	MAT1352 Cálculo para Funções de Uma Variável Real II MAT0120 Álgebra I para Licenciatura
MAT0315 Introdução à Análise	MAC0110 Introdução à Computação MAT0120 Álgebra I para Licenciatura
MAT2352 Cálculo para Funções de Várias Variáveis II	MAE1511 Estatística para Licenciatura I MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I MAC0110 Introdução à Computação

Na estrutura proposta para a Licenciatura em Matemática Diurno não há nenhuma disciplina do vestibular que seja requisito para disciplinas do primeiro semestre. Além

disso, as disciplinas do MAT são requisitos umas das outras e há poucos requisitos de outros departamentos na estrutura proposta para a Licenciatura em Matemática Diurno.

Figura 18: Grafo da estrutura de requisitos proposta para a Licenciatura em Matemática Noturno

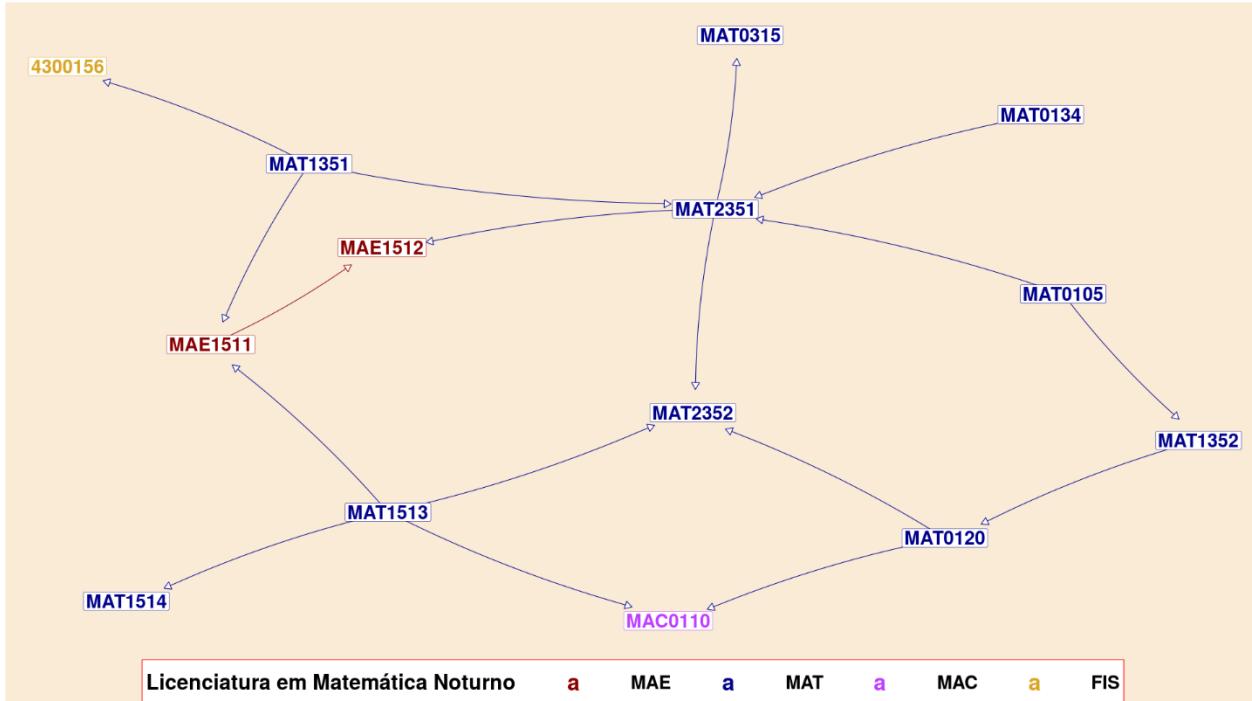


Tabela 19: Estrutura de requisitos proposta para a Licenciatura em Matemática Noturno

Disciplina	Requisito
4300160 Ótica	
MAT0105 Geometria Analítica	
MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	
MAT1513 Laboratório de Matemática	
4300156 Gravitação	MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I

MAT0134 Introdução a Álgebra Linear		
MAT1352 Cálculo para Funções de Uma Variável Real II		MAT0105 Geometria Analítica
MAT1514 A Matemática na Educação Básica		MAT1513 Laboratório de Matemática
4300152 Introdução às Medidas em Física		
MAE1511 Estatística para Licenciatura I	MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	
	MAT1513 Laboratório de Matemática	
MAT0120 Álgebra I para Licenciatura	MAT0105 Geometria Analítica	
MAT2351 Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	MAT1352 Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	
	MAT0105 Geometria Analítica	
MAC0110 Introdução à Computação	MAT1351 Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	
	MAT0134 Introdução a Álgebra Linear	
MAE1512 Estatística para Licenciatura II	MAT1513 Laboratório de Matemática	
	MAT0120 Álgebra I para Licenciatura	
MAT0315 Introdução à Análise	MAE1511 Estatística para Licenciatura I	
MAT2352 Cálculo para Funções de Várias Variáveis II	MAT2351 Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	
	MAT2351 Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	
	MAT0120 Álgebra I para Licenciatura	
	MAT2351 Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	

Na estrutura de requisitos proposta para a Licenciatura em Matemática Noturno também não há nenhuma disciplina do vestibular que seja requisito para as disciplinas do primeiro semestre. Além disso, a maioria das disciplinas que possuem requisitos são

do Departamento de Matemática e há poucas disciplinas que são requisitos para disciplinas de outros departamentos.

6. Considerações finais

Embora as diferentes limitações possam inviabilizar a implementação incondicional das estruturas de requisitos propostas, as técnicas estatísticas aplicadas para propor tais estruturas se mostraram uma ferramenta importante para o estudo do desempenho discente. As técnicas utilizadas fornecem uma escala, dada pelo coeficiente η , que permite comparar a relação entre os desempenhos em diversas disciplinas, mesmo que condicionado à estrutura de requisitos atual.

A forma não-paramétrica da dependência local do lift, a escala definida por η e o forte apelo visual do *heatmap* da Função Lift são características das técnicas estatísticas utilizadas que permitem o estudo local da dependência entre os desempenhos em diferentes disciplinas, obtendo-se conclusões para discentes com diferentes desempenhos. Dessa forma, as técnicas utilizadas no presente estudo podem ser também aplicadas em problemas relacionados ao desempenho discente para resolvê-los de forma incondicional, i.e., sem limitações práticas, e relevantes do ponto de vista conceitual.

Um exemplo dessa aplicação é a utilização das técnicas propostas para se estudar mais a fundo a relação entre as disciplinas do vestibular e o desempenho no primeiro semestre da graduação. Utilizando-se os dados coletados para este estudo, por exemplo, é possível estudar a relação entre cada disciplina do vestibular e o desempenho no primeiro semestre de maneira incondicional, pois nesse caso não há nenhum tipo de condicionamento no cenário atual, pois as disciplinas do primeiro semestre e do vestibular não têm nenhum requisito e, portanto, a dependência entre essas disciplinas não está confundida (condicionada) com o efeito de nenhuma outra disciplina que seja requisito para elas.

Outra aplicação incondicional e relevante das técnicas apresentadas se refere a determinar o perfil sócio demográfico dos ingressantes que possuem bom desempenho na graduação. Nessa aplicação, seria relevante determinar os perfis sócio demográficos que alavancam (*lift*) e inibem o bom desempenho na graduação, pois tais informações podem ser utilizadas para modificar o processo de seleção de estudantes e propor programas de permanência e desenvolvimento estudantil focados nos ingressantes com perfis de interesse. Nos parece que questão do bônus também poderia ser estudada pela metodologia aqui descrita.

Durante o andamento da pesquisa, observamos um fato relevante sobre o desempenho discente, que deve ser levado em conta em pesquisas futuras. Foi constatado que é importante fazer uma triagem dos discentes para se determinar quais obtiveram um desempenho fraco devido à condições alheias ao curso e à disciplina, como por exemplo discentes que abandonaram a disciplina por motivo de doença ou que abordaram o curso pois não o acharam de seu interesse. Tais discentes, que chamamos de residuais, viciam as análises estatísticas pois são estudantes que, em condições normais, não obteriam desempenho fraco. Logo, eles devem ser identificados e tratados separadamente ou excluídos da análise.

Verificamos que as estruturas de requisitos propostas forneceram informações relevantes sobre os cursos do instituto. Primeiro, observamos que, nas estruturas propostas, as disciplinas possuem, em geral, mais requisitos do que na estrutura atual. Da mesma forma, constatou-se, nas estruturas propostas, que disciplinas de um departamento são requisitos para disciplinas de outros departamentos. Além disso, observou-se que as disciplinas do Departamento de Matemática são as que possuem mais requisitos, sendo o Bacharelado em Matemática o curso com a estrutura de requisitos proposta mais forte, no sentido de ser a estrutura em que as disciplinas possuem o maior número de requisitos.

Verificamos que as estruturas de requisitos propostas neste estudo podem ser utilizadas como um complemento às informações disponíveis sobre as grades curriculares dos cursos do IME-USP. As estruturas propostas, complementadas pelas estruturas de requisitos atuais e por uma análise qualitativa dos programas das

disciplinas, podem ser usadas para propor mudanças na estrutura atual. Como as estruturas propostas estão condicionadas às estruturas atuais, as estruturas vigentes não podem ser simplesmente substituídas pelas estruturas propostas: as estruturas propostas devem ser usadas apenas como uma ferramenta para se propor discussões sobre as estruturas de requisitos. Além da estrutura proposta, os grupos que possuem os maiores coeficientes η , e não apenas o grupo que o maximiza, devem ser estudados também qualitativamente a fim de se determinar se algum deles não seria um grupo de requisitos mais adequado para a disciplina considerada.

Conclui-se que, embora os resultados deste estudo possuam limitações de ordem operacional severas, as técnicas estatísticas aqui empregadas se mostram úteis e relevantes para a análise do desempenho discente. Devido à complexidade da mensuração de desempenho e das diversas dimensões que caracterizam o desempenho de um discente de curso superior, uma técnica não-paramétrica e de apelo visual, sistemático e local como a dependência local do lift se mostra uma ferramenta efetiva, que pode ser aplicada não apenas para a análise do desempenho discente, mas para se estudar muitos outros aspectos de interesse em pesquisas das mais diversas áreas do conhecimento.

Apêndices

Apêndice A – Escala de Dependência Local do Lift

Sejam X e Y duas variáveis aleatórias absolutamente contínuas, definidas em um mesmo espaço amostral $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ e tomando valores em um suporte $S = S_X \times S_Y \subset \mathbb{R}^2$ com densidade conjunta $f(x, y), (x, y) \in S$ e densidades marginais $g(x), x \in S_X$, e $h(y), y \in S_Y$, respectivamente. Definimos a *Função Lift* entre X e Y como

$$L(x, y) = \frac{f(x, y)}{g(x)h(y)} = \frac{f(x|y)}{g(x)} = \frac{f(y|x)}{h(y)}, (x, y) \in S$$

em que $f(x|y)$ e $f(y|x)$ são as respectivas densidades condicionais de X dado Y e Y dado X , sempre que $g(x) > 0$ e $h(y) > 0$.

De fato, $L(x, y)$ representa quantas vezes a densidade condicional de $\{Y = y\}$ dado $\{X = x\}$ é maior do que a densidade marginal de $\{Y = y\}$ (e vice-versa). Portanto, quando $L(x, y) > 1$, dizemos que o evento $\{X = x\}$ alavanca o evento $\{Y = y\}$ (e vice-versa), pois, dado que um evento foi observado, a densidade do outro também ser é maior do que a densidade marginal do outro ser observado. Da mesma forma, se $L(x, y) < 1$, dizemos que o evento $\{X = x\}$ inibe o evento $\{Y = y\}$ (e vice-versa), pois, dado que um evento foi observado, a densidade do outro também ser é menor do que a probabilidade marginal do outro ser observado. Por fim, se $L(x, y) = 1$ para todo $(x, y) \in S$ temos, por definição, que X e Y são independentes.

O estudo da *Função Lift* é feito através das suas curvas de nível e do seu *heatmap*, isto é, um gráfico que *pinta* o domínio S de acordo com os valores da *Função Lift* e que permite visualizar o seu comportamento no suporte das variáveis. Assim, é possível determinar as regiões em que $L(x, y)$ é maior, menor e igual a um. De fato, Simonis, Marcondes, Barrera (2017) argumentam que ou todos os valores de L em S são iguais a um e as variáveis X e Y são independentes, ou existem valores de (x, y) para os quais $L(x, y)$ é menor do que um, e outros valores para os quais $L(x, y)$ é maior do que um. Portanto, o *lift* é uma característica local de X e Y , i.e., ponto-a-ponto, e não uma característica global da densidade f . O *heatmap* da *Função Lift* estimado para um conjunto de dados é feito pela função *heatmap.lift* do pacote *locallift* do R.

Uma outra maneira de se analisar o *lift* entre duas variáveis aleatórias contínuas é discretizá-las e então estudar sua *Tabela Lift*. De fato, sejam $S_X = A_1 \cup \dots \cup A_a$ e $S_Y = B_1 \cup \dots \cup B_b$ uma partição do suporte S . Defina duas variáveis aleatórias discretas U e V tomando valores em $S_{U,V} = \{1, \dots, a\} \times \{1, \dots, b\}$ com distribuição conjunta dada por

$$\mathbb{P}\{U = u, V = v\} = \mathbb{P}\{X \in A_u, Y \in B_v\}, (u, v) \in S_{U,V}$$

Então, definimos a *Tabela Lift* entre as variáveis aleatórias X e Y como

$$L^\Delta(u, v) = \frac{\mathbb{P}\{X \in A_u, Y \in B_v\}}{\mathbb{P}\{X \in A_u\}\mathbb{P}\{Y \in B_v\}} = \frac{\mathbb{P}\{X \in A_u | Y \in B_v\}}{\mathbb{P}\{X \in A_u\}} = \frac{\mathbb{P}\{Y \in B_v | X \in A_u\}}{\mathbb{P}\{Y \in B_v\}}, (u, v) \in S_{U,V}$$

em que $\mathbb{P}\{Y \in B_v | X \in A_u\}$ e $\mathbb{P}\{X \in A_u | Y \in B_v\}$ são as respectivas probabilidades condicionais dos eventos $\{X \in A_u\}$ e $\{Y \in B_v\}$. Temos que L^Δ é chamada *Tabela Lift* porque pode ser disposta em uma tabela, já que seu suporte é finito.

Assim, podemos interpretar L^Δ de maneira análoga à L , pois se $L^\Delta(u, v) > 1$ então a probabilidade de X pertencer ao conjunto A_u dado que Y pertence ao conjunto B_v é maior do que a probabilidade marginal de X pertencer a A_u (e vice-versa) e dizemos que A_u alavanca B_v . Da mesma forma, se $L^\Delta(u, v) < 1$ então A_u inibe B_v , e se $L^\Delta = 1$ então A_u e B_v são independentes.

Note que U e V serão independentes se, e somente se, $L^\Delta(u, v) = 1$ para todo $(u, v) \in S_{U,V}$ e que se X e Y forem independentes então U e V também serão, independentemente da partição, mas que não vale a volta: U e V independentes não implica X e Y independentes. Portanto, é necessário escolher a partição de S de maneira que dentro de cada partição os valores da *Função Lift* sejam maiores, menores ou iguais a um pois, assim, quando se integrar as partições para determinar L^Δ , o valor do *lift* continuará sendo maior, menor ou igual a um, e as inferências para as partições são diretas. A partir do *heatmap* de L é possível determinar se os valores dentro de cada partição são maiores, menores ou iguais a um, pois, caso essa condição seja satisfeita, todos os pontos dentro da partição terão o mesmo tom de cor.

A partição de S deve ser determinada de maneira a termos uma interpretação simples dos eventos $\{X \in A_u\}$ e $\{Y \in B_v\}$, pois assim poderemos concluir sobre a

dependência entre as duas variáveis aleatórias X e Y através da *Tabela Lift*. Para o presente estudo, tomaremos as partições como os tercis amostrais das variáveis X e Y nos dados observados, de modo que, por exemplo, A_1 representará o um terço das observações com o menor valor de X na turma, A_2 o um terço central das observações de X e A_3 o um terço das observações com maior valor de X na turma. Assim, se, por exemplo, $L^\Delta(3,3) > 1$ podemos interpretar que obter um valor de X no melhor tercil alavanca obter um valor de Y no melhor tercil.

Se os tercis forem escolhidos como uma partição, foi mostrado em Simonis, Marcondes, Barrera (2017) que o maior valor que L^Δ pode alcançar é 3. Assim, uma medida da dependência entre duas variáveis aleatórios X e Y pode ser definida como algum tipo de distância entre L^Δ e a configuração em que os valores da *Tabela Lift* são ou iguais a 3 ou iguais a zero, que representa uma padrão de dependência máxima entre as variáveis, quando os tercis são usados como partição.

O *coeficiente de dependência do lift*, que é a escala proposta nesse estudo, foi proposto por Simonis, Marcondes, Barrera (2017) como uma medida para tal distância. Ele é definido como

$$\eta(U, V) = \frac{1}{|S_{U,V}^+|} \sum_{(u,v) \in S_{U,V}^+} \frac{L^\Delta(u, v) - 1}{[\max(\mathbb{P}\{U = u\}, \mathbb{P}\{V = v\})]^{-1} - 1}$$

em que $S_{U,V}^+ = \{(u, v) \in S_{U,V} : L^\Delta(u, v) \geq 1\}$. Se particionamos X e Y em U e V tomando os tercis, então podemos definir o *coeficiente de dependência do lift* entre X e Y simplesmente como $\eta = \eta(U, V)$, com $0 \leq \eta \leq 1$. Teremos que $\eta = 0$ se X e Y forem independentes e, se $\eta = 1$, então diremos que X e Y são maximamente dependentes na partição dada pelos tercis.

Em determinadas situações temos que discretizar Y e $X = (X_1, \dots, X_k)$ em variáveis discretas U e V , respectivamente, de modo que as partições tenham uma interpretação simples e a dependência possa ser estudada a partir da *Tabela Lift* entre U e V e $\eta(U, V)$. A discretização de Y em U pode ser feito de maneira análoga à discutida acima, tomando os tercis de Y em cada turma nos dados observados.

Por outro lado, para discretizar X é necessário definir uma partição do \mathbb{R}^k em que se tenha uma boa interpretação da *Tabela Lift* gerada por tal partição. Note que em \mathbb{R}^k não temos uma ordenação trivial como em \mathbb{R} . Assim, uma maneira de escolher a partição é tomar os tercis da distância entre cada observação do conjunto de dados e um ponto fixo $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^k$. Para os dados tratados nesse relatório, podemos tomar a distância entre o desempenho nas disciplinas deslocado, que é um vetor positivo, i.e., todas as suas coordenadas são positivas, e $\mathbf{P} = \mathbf{0}$.

Dessa forma, se definirmos U pela partição usual de Y pelos seus tercis e V pela partição dada pelos tercis da distância, teremos uma simples interpretação para as categorias de U e V , sendo que, por exemplo, $\{U = 1, V = 1\}$ representará desempenho fraco em Y e fraco no conjunto de disciplinas X , enquanto que $\{U = 3, V = 3\}$ representará desempenho superior em Y e superior em X .

A distância a ser tomada pode ser, por exemplo, a Distância de Mahalanobis, que leva em consideração as variâncias e covariâncias entre as variáveis aleatórias de X . Para mais detalhes sobre o *lift* ver Simonis, Marcondes, Barrera (2017).

Anexos

Anexo A – Estruturas de requisitos atuais

Bacharelado em Estatística

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4300152</u>	Introdução às Medidas em Física	4	0	60			
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAE0121</u>	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	4	0	60			
<u>MAE0125</u>	Perspectivas em Estatística	2	0	30			
<u>MAT0111</u>	Cálculo Diferencial e Integral I	6	0	90			
<u>MAT0112</u>	Vetores e Geometria	4	0	60			
		Subtotal:	24	0	360		
2º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>FLC0474</u>	Língua Portuguesa	3	0	45			
<u>MAC0122</u>	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	4	0	60			
<u>MAC0110</u> - Introdução à Computação				Requisito			
<u>MAE0212</u>	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	4	0	60			
<u>MAE0121</u> - Introdução a Probabilidade e a Estatística I				Requisito			
<u>MAP0131</u>	Laboratório de Matemática Aplicada	4	0	60			
<u>MAT0121</u>	Cálculo Diferencial e Integral II	6	0	90			
<u>MAT0111</u> - Cálculo Diferencial e Integral I				Requisito			
<u>MAT0122</u>	Álgebra Linear I	4	0	60			
<u>MAT0112</u> - Vetores e Geometria				Requisito			
		Subtotal:	25	0	375		

3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAE0217</u>	Estatística Descritiva	4	0	60			
MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II						Requisito	
<u>MAE0221</u>	Probabilidade I	6	0	90			
MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II						Requisito	
<u>MAE0315</u>	Tecnologia da Amostragem	4	0	60			
MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II						Requisito	
<u>MAT0211</u>	Cálculo Diferencial e Integral III	6	0	90			
MAT0111 - Cálculo Diferencial e Integral I						Requisito	
MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II						Requisito	
<u>MAT0222</u>	Álgebra Linear II	4	0	60			
		Subtotal:	24	0	360		

4º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0313</u>	Introdução aos Sistemas de Bancos de Dados para Estatística	4	1	90			
MAC0122 - Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos						Requisito	
<u>MAE0224</u>	Probabilidade II	4	0	60			
MAE0221 - Probabilidade I						Requisito	
MAT0211 - Cálculo Diferencial e Integral III						Requisito	
<u>MAE0311</u>	Inferência Estatística	6	0	90			
MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II						Requisito	
MAE0221 - Probabilidade I						Requisito	
<u>MAP0313</u>	Cálculo de Diferenças Finitas	4	0	60			

MAT0211 - Cálculo Diferencial e Integral III	Requisito
MAT0222 - Álgebra Linear II	Requisito
<u>MAT0221</u> Cálculo Diferencial e Integral IV	4 0 60
MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II	Requisito
Subtotal:	22 1 360

Licenciatura em Matemática Diurno

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4300160</u>	Ótica	2	0	30			
<u>MAE1511</u>	Estatística para Licenciatura I	4	0	60			
<u>MAT0105</u>	Geometria Analítica	4	0	60			
<u>MAT1351</u>	Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	6	0	90			
<u>MAT1513</u>	Laboratório de Matemática	4	0	60			
Subtotal:		20	0	300			
2º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4300156</u>	Gravitação	2	0	30			
<u>4502402</u>	Atividades Acadêmico-Científico-Culturais II	0	0	0			0
<u>MAE1512</u>	Estatística para Licenciatura II	4	1	90			30
MAE1511 - Estatística para Licenciatura I	Requisito						
<u>MAT0134</u>	Introdução a Álgebra Linear	4	0	60			
MAT0105 - Geometria Analítica	Requisito						
<u>MAT1352</u>	Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	6	0	90			

MAT1351 - Cálculo para Funções de Uma Variável Real I		Requisito					
MAT1513 - Laboratório de Matemática		Requisito fraco					
<u>MAT1514</u>	A Matemática na Educação Básica	4	0	60			
	Subtotal:	20	1	330		30	
3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4300152</u>	Introdução às Medidas em Física	4	0	60			
<u>4502403</u>	Atividades Acadêmico-Científico Culturais III	0	0	0			0
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAT0120</u>	Álgebra I para Licenciatura	4	1	90			30
<u>MAT2351</u>	Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	4	0	60			
MAT1352 - Cálculo para Funções de Uma Variável Real II		Requisito					
	Subtotal:	16	1	270			30
4º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4310232</u>	Mecânica para Licenciatura em Matemática	4	0	60			
MAT2351 - Cálculo para Funções de Várias Variáveis I		Requisito					
<u>4502400</u>	Atividades Acadêmico-Científico-Culturais	0	7	210			200
<u>4502404</u>	Atividades Acadêmico-Científico-Culturais IV	0	0	0			0
<u>4810001</u>	Atividades Práticas I	0	0	0			
<u>EDM0402</u>	Didática	4	1	90	30	20	
<u>MAT0230</u>	Geometria e Desenho Geométrico I	4	1	90			30
MAT0105 - Geometria Analítica		Requisito					
<u>MAT0315</u>	Introdução à Análise	4	1	90			30

MAT1352 - Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	Requisito
MAT1513 - Laboratório de Matemática	Requisito
<u>MAT2352</u> Cálculo para Funções de Várias Variáveis II	4 0 60
MAT2351 - Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	Requisito
Subtotal:	20 10 600 30 80

Licenciatura em Matemática Noturno

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4300160</u>	Ótica	2	0	30			
<u>MAT0105</u>	Geometria Analítica	4	0	60			
<u>MAT1351</u>	Cálculo para Funções de Uma Variável Real I	6	0	90			
<u>MAT1513</u>	Laboratório de Matemática	4	0	60			
Subtotal:		16	0	240			
2º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4300156</u>	Gravitação	2	0	30			
<u>4502402</u>	Atividades Acadêmico-Científico-Culturais II	0	0	0			0
<u>MAT0134</u>	Introdução a Álgebra Linear	4	0	60			
MAT0105 - Geometria Analítica					Requisito		
<u>MAT1352</u>	Cálculo para Funções de Uma Variável Real II	6	0	90			
MAT1351 - Cálculo para Funções de Uma Variável Real I					Requisito		
MAT1513 - Laboratório de Matemática					Requisito fraco		
<u>MAT1514</u>	A Matemática na Educação Básica	4	0	60			

Subtotal: 16 0 240

3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
------------------	--	---------------	----------------	----	----	----	------

<u>4300152</u>	Introdução às Medidas em Física	4	0	60			
<u>4502403</u>	Atividades Acadêmico-Científico Culturais III	0	0	0			0
<u>MAE1511</u>	Estatística para Licenciatura I	4	0	60			
<u>MAT0120</u>	Álgebra I para Licenciatura	4	1	90		30	
<u>MAT2351</u>	Cálculo para Funções de Várias Variáveis I	4	0	60			

MAT1352 - Cálculo para Funções de Uma Variável Real II Requisito

Subtotal: 16 1 270 30

4º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
------------------	--	---------------	----------------	----	----	----	------

<u>4502400</u>	Atividades Acadêmico-Científico-Culturais	0	7	210			200
<u>4502404</u>	Atividades Acadêmico-Científico-Culturais IV	0	0	0			0
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAE1512</u>	Estatística para Licenciatura II	4	1	90		30	

MAE1511 - Estatística para Licenciatura I Requisito

MAT0315 Introdução à Análise 4 1 90 30

MAT1352 - Cálculo para Funções de Uma Variável Real II Requisito

MAT1513 - Laboratório de Matemática Requisito

MAT2352 Cálculo para Funções de Várias Variáveis II 4 0 60

MAT2351 - Cálculo para Funções de Várias Variáveis I Requisito

Subtotal: 16 9 510 60

Bacharelado em Matemática

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAE0121</u>	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	4	0	60			
<u>MAT0111</u>	Cálculo Diferencial e Integral I	6	0	90			
<u>MAT0112</u>	Vetores e Geometria	4	0	60			
<u>MAT0164</u>	Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática	4	0	60			
		Subtotal:	22	0	330		
2º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4310126</u>	Física I	6	0	90			
<u>MAT0111</u> - Cálculo Diferencial e Integral I		Requisito					
<u>MAT0112</u> - Vetores e Geometria		Requisito					
<u>MAC0122</u>	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	4	0	60			
<u>MAC0110</u> - Introdução à Computação		Requisito					
<u>MAE0212</u>	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	4	0	60			
<u>MAE0121</u> - Introdução a Probabilidade e a Estatística I		Requisito					
<u>MAT0121</u>	Cálculo Diferencial e Integral II	6	0	90			
<u>MAT0111</u> - Cálculo Diferencial e Integral I		Requisito					
<u>MAT0122</u>	Álgebra Linear I	4	0	60			
<u>MAT0112</u> - Vetores e Geometria		Requisito					
		Subtotal:	24	0	360		

3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>4310137</u>	Física II	6	0	90			
	4310126 - Física I				Requisito		
<u>MAT0205</u>	Cálculo Diferencial e Integral III	4	0	60			
	MAT0112 - Vetores e Geometria				Requisito		
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
<u>MAT0206</u>	Análise Real	6	0	90			
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
<u>MAT0222</u>	Álgebra Linear II	4	0	60			
	MAT0122 - Álgebra Linear I				Requisito		
<u>MAT0264</u>	Anéis e Corpos	4	0	60			
	MAT0164 - Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática				Requisito		
	Subtotal:	24	0	360			

4º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAT0226</u>	Equações Diferenciais I	6	0	90			
	MAT0122 - Álgebra Linear I				Requisito		
	MAT0206 - Análise Real				Requisito		
<u>MAT0265</u>	Grupos	4	0	60			
	MAT0164 - Números Inteiros: Uma Introdução à Matemática				Requisito		
<u>MAT0311</u>	Cálculo Diferencial e Integral V	6	0	90			
	MAT0122 - Álgebra Linear I				Requisito		
	MAT0206 - Análise Real				Requisito		
<u>MAT0326</u>	Geometria Diferencial I	4	0	60			
	MAT0205 - Cálculo Diferencial e Integral III				Requisito		

MAT0222 - Álgebra Linear II	Requisito
-----------------------------	-----------

Subtotal: 20 0 300

Bacharelado em Matemática Aplicada

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAE0121</u>	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	4	0	60			
<u>MAP2110</u>	Modelagem e Matemática	4	2	120			
<u>MAT0111</u>	Cálculo Diferencial e Integral I	6	0	90			
		Subtotal:	18	2	330		

2º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0122</u>	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	4	0	60			

<u>MAC0110</u> - Introdução à Computação	Requisito
<u>MAE0212</u> Introdução à Probabilidade e à Estatística II	4 0 60
<u>MAE0121</u> - Introdução a Probabilidade e a Estatística I	Requisito
<u>MAT0121</u> Cálculo Diferencial e Integral II	6 0 90
<u>MAT0111</u> - Cálculo Diferencial e Integral I	Requisito
<u>MAT3211</u> Álgebra Linear	4 0 60
<u>MAP2110</u> - Modelagem e Matemática	Requisito
Subtotal:	18 0 270

3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAE0221</u>	Probabilidade I	6	0	90			
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
<u>MAP0215</u>	Cálculo Vetorial e Aplicações	4	0	60			
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
<u>MAP0216</u>	Introdução à Análise Real	6	0	90			
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
<u>MAP2210</u>	Aplicações de Álgebra Linear	4	2	120			
	MAP2110 - Modelagem e Matemática				Requisito		
	MAT3211 - Álgebra Linear				Requisito		
<u>MAP2212</u>	Laboratório de Computação e Simulação	4	2	120			
	MAC0122 - Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos				Requisito		
	MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II				Requisito		
	Subtotal:	24	4	480			

4º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0315</u>	Otimização Linear	4	0	60			
	MAT3211 - Álgebra Linear				Requisito		
<u>MAE0311</u>	Inferência Estatística	6	0	90			
	MAE0228 - Noções de Probabilidade e Processos Estocásticos				Requisito		
	MAP0215 - Cálculo Vetorial e Aplicações				Requisito		
ou							
	MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II				Requisito		
	MAE0221 - Probabilidade I				Requisito		
<u>MAP2220</u>	Fundamentos de Análise Numérica	4	2	120			

MAP2210 - Aplicações de Álgebra Linear	Requisito
MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II	Requisito
<u>MAT0221</u> Cálculo Diferencial e Integral IV	4 0 60
MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II	Requisito
Subtotal:	18 2 330

Bacharelado em Matemática Aplicada e Computacional

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAE0121</u>	Introdução a Probabilidade e a Estatística I	4	0	60			
<u>MAP2110</u>	Modelagem e Matemática	4	2	120			
<u>MAT3110</u>	Cálculo Diferencial e Integral I	6	0	90			
Subtotal:		18	2	330			
2º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0122</u>	Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	4	0	60			
MAC0110 - Introdução à Computação	Requisito						
<u>MAE0212</u>	Introdução à Probabilidade e à Estatística II	4	0	60			
MAE0121 - Introdução a Probabilidade e a Estatística I	Requisito						
<u>MAT0121</u>	Cálculo Diferencial e Integral II	6	0	90			
MAT3110 - Cálculo Diferencial e Integral I	Requisito						
<u>MAT3211</u>	Álgebra Linear	4	0	60			
MAP2110 - Modelagem e Matemática	Requisito						

Subtotal: 18 0 270

3º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAE0399</u>	Análise de Dados e Simulação	4	0	60			
	MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II				Requisito		
<u>MAP2210</u>	Aplicações de Álgebra Linear	4	2	120			
	MAP2110 - Modelagem e Matemática				Requisito		
	MAT3211 - Álgebra Linear				Requisito		
<u>MAP2212</u>	Laboratório de Computação e Simulação	4	2	120			
	MAC0122 - Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos				Requisito		
	MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II				Requisito		
<u>MAT3120</u>	Cálculo Diferencial e Integral III	4	0	60			
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
		Subtotal:	16	4	360		

4º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0315</u>	Otimização Linear	4	0	60			
	MAT3211 - Álgebra Linear				Requisito		
<u>MAE0499</u>	Processos Estocásticos	4	0	60			
	MAE0212 - Introdução à Probabilidade e à Estatística II				Requisito		
<u>MAP2220</u>	Fundamentos de Análise Numérica	4	2	120			
	MAP2210 - Aplicações de Álgebra Linear				Requisito		
	MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito		
<u>MAT3220</u>	Cálculo Diferencial e Integral IV	4	0	60			

MAT0121 - Cálculo Diferencial e Integral II	Requisito
--	------------------

Subtotal: 16 2 300

Bacharelado e Ciências da Computação

Disciplinas Obrigatórias							
1º Período Ideal		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0101</u>	Integração na Universidade e na Profissão	2	0	30			
<u>MAC0105</u>	Fundamentos de Matemática para a Computação	4	0	60			
<u>MAC0110</u>	Introdução à Computação	4	0	60			
<u>MAC0329</u>	Álgebra Booleana e Aplicações no Projeto de Arquitetura de Computadores	4	0	60			
<u>MAT0112</u>	Vetores e Geometria	4	0	60			
<u>MAT2453</u>	Cálculo Diferencial e Integral I	6	0	90			
		Subtotal:	24	0	360		

2º Período Ideal							
		Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
<u>MAC0121</u>	Algoritmos e Estruturas de Dados I	4	0	60			

MAC0110 - Introdução à Computação	Requisito
--	------------------

<u>MAC0216</u>	Técnicas de Programação I	4	2	120	
----------------	---------------------------	---	---	-----	--

MAC0110 - Introdução à Computação	Requisito
--	------------------

<u>MAC0239</u>	Introdução à Lógica e Verificação de Programas	4	0	60	
----------------	--	---	---	----	--

MAC0110 - Introdução à Computação	Requisito
--	------------------

<u>MAE0119</u>	Introdução à Probabilidade e à Estatística	6	0	90	0
----------------	--	---	---	----	---

<u>MAT0122</u>	Álgebra Linear I	4	0	60	
----------------	------------------	---	---	----	--

MAT0112 - Vetores e Geometria	Requisito
--------------------------------------	------------------

<u>MAT2454</u>	Cálculo Diferencial e Integral II	4	0	60				
	MAT2453 - Cálculo Diferencial e Integral I				Requisito			
		Subtotal:	26	2	450			

3º Período Ideal	Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
-------------------------	-------------------	--------------------	-----------	-----------	-----------	-------------

<u>MAC0102</u>	Caminhos no Bacharelado em Ciência da Computação	2	0	30				
	MAC0121 - Algoritmos e Estruturas de Dados I				Requisito			
<u>MAC0209</u>	Modelagem e Simulação	4	0	60				
	MAC0110 - Introdução à Computação				Requisito			
<u>MAC0210</u>	Laboratório de Métodos Numéricos	4	0	60				
	MAC0110 - Introdução à Computação				Requisito			
	MAT0122 - Álgebra Linear I				Requisito			
<u>MAC0323</u>	Algoritmos e Estruturas de Dados II	4	2	120				
	MAC0121 - Algoritmos e Estruturas de Dados I				Requisito			
	MAC0216 - Técnicas de Programação I				Requisito			
<u>MAT0236</u>	Funções Diferenciáveis e Séries	4	0	60				
	MAT2454 - Cálculo Diferencial e Integral II				Requisito			
	Subtotal:	18	2	330				

4º Período Ideal	Créd. Aula	Créd. Trab.	CH	CE	CP	AACA
-------------------------	-------------------	--------------------	-----------	-----------	-----------	-------------

<u>MAC0316</u>	Conceitos Fundamentais de Linguagens de Programação	4	0	60				
	MAC0121 - Algoritmos e Estruturas de Dados I				Requisito			
<u>MAC0338</u>	Análise de Algoritmos	4	0	60				
	MAC0323 - Algoritmos e Estruturas de Dados II				Requisito			

<u>MAC0422</u>	Sistemas Operacionais	4	2	120
MAC0121 - Algoritmos e Estruturas de Dados I				Requisito
	Subtotal:	12	2	240