KARINA WORM BECKMANN MARQUES

PREFERÊNCIA DECLARADA APLICADA À ALOCAÇÃO ÓTIMA DE ALUNOS ÀS ESCOLAS
UM ESTUDO DE CASO –

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências.
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.
Orientadora: ProfªDrª Maria Teresinha Arns Steiner
Co-orientador: Prof. Dr. Osmar Ambrósio de Souza

CURITIBA
2003

PREFERÊNCIA DECLARADA APLICADA À ALOCAÇÃO ÓTIMA DE ALUNOS ÀS ESCOLAS - UM ESTUDO DE CASO -

KARINA WORM BECKMANN MARQUES

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, pela comissão formada pelos professores:

_____
Profª Drª Maria Teresinha Arns Steiner
Departamento de Matemática, UFPR
Orientadora

_____
Prof. Dr. Osmar Ambrósio de Souza
Departamento de Matemática, UNICENTRO
Co-orientador

_____
Prof. Dr. Celso Carnieri
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia

_____
Profª. Drª. Mírian Buss Gonçalves
Departamento de Matemática, UFSC

Curitiba, 27 de março de 2003.

Ao meu filho
Rodrigo

AGRADECIMENTOS

A Deus que, em sua bondade e sabedoria, deu-me perseverança para alcançar muitos dos meus objetivos.

À minha família, agradeço o amor, carinho e apoio, que me fizeram ultrapassar os obstáculos desta caminhada.

Obrigada à minha mãe, pelo reanimar a cada momento de angústia e desânimo.

À minha orientadora, Professora Maria Teresinha Arns Steiner que, com competência soube ordenar de forma mais clara e precisa minhas idéias.

Ao professor e amigo Osmar Ambrósio de Souza, pelas horas que dispensou ajudando-me a aprimorar meu estudo e atingir minha meta.

Às amigas Eliana, Eliane, Elisane, Luciene e Margarete, pela presença nos momentos certos.

Aos demais colegas do curso, com os quais dividi momentos de apreensão e dificuldade, mas que souberam tão bem inserir na nossa convivência diária, o lazer e a diversão.

Aos professores do Departamento de Matemática da UNICENTRO que me deram o auxílio necessário para meus estudos.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste pelo apoio durante a realização do curso.

“Sempre me pareceu estranho que todos aqueles que estudam seriamente a Matemática acabam tomados de uma espécie de paixão pela mesma. Em verdade, o que proporciona o máximo prazer não é o conhecimento e sim a aprendizagem, não é a posse mas a aquisição, não é a presença mas o ato de atingir a meta”.

Carl Friedrich Gauss

SUMÁRIO

		Pág.
1	INTRODUÇÃO	
1.1	Considerações gerais	14
1.2	Importância do trabalho	14
1.3	Justificativa para o desenvolvimento do trabalho	16
1.4	Objetivos do trabalho	17
1.5	Limitações do trabalho	17
1.6	Estrutura do trabalho	18
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA REAL	
2.1	A cidade de Guarapuava	19
2.2	O Sistema Educacional	20
2.3	A escola	20
2.4	Projetos alternativos da escola	22
2.5	Descrição do problema observado	23
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
3.1	Introdução	26
3.2	Abordagens matemáticas dadas ao problema de planejamento da rede escolar	26
4	TÉCNICAS EMPREGADAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	
4.1	Método de Preferência Declarada	32
	4.1.1 Introdução	32
	4.1.2 Função Utilidade	33
	4.1.3 Técnica de Preferência Revelada (TPR)	34
	4.1.4 Técnica de Preferência Declarada (TPD)	34
	4.1.5 Preferência Revelada versus Preferência Declarada	35
	4.1.6 Análise de Preferência Declarada	36
	4.1.6.1 Modelo Logit Multinomial	39

Pág.

4.2 Problema de Transporte 41
4.2.1 Formulação clássica do problema de Transporte 41
4.2.2 Formulação do modelo utilizado 42

5 METODOLOGIA DO TRABALHO, SOLUÇÃO DO PROBLEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS
5.1 Introdução 44
5.2 Obtenção dos dados para o experimento de preferência declarada 47
5.3 Resultados obtidos com o experimento de preferência declarada 57
5.3.1 Análise da consistência da amostra 58
5.3.2 Estimativa dos parâmetros 60
5.3.3 Importância relativa de cada escola 62
5.4 Obtenção dos dados para a previsão do número de alunos em 2003 63
5.5 Designação dos alunos para as escolas 71
5.5.1 Resultados obtidos com o modelo de designação 72
5.5.2 Análise dos resultados 73

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS
6.1 Conclusões 75
6.2 Sugestões para futuros trabalhos 77

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 78

LISTA DE QUADROS

	Pág.
Quadro 5.1 – Dados coletados com o questionário 1	49
Quadro 5.2 – Quadro de níveis – Área 1	52
Quadro 5.3 – Quadro de níveis – Área 2	52
Quadro 5.4 – Enquadramento das escolas municipais com os níveis de estrutura física e pedagógica	53
Quadro 5.5 – Ensaios fatoriais com atributos de 2 níveis	55
Quadro 5.6 – Função utilidade	62
Quadro 5.7 – Número de alunos por série/escola em 2000	64
Quadro 5.8 – Número de alunos por série/escola em 2001	65
Quadro 5.9 – Número de alunos por série/escola em 2002	66
Quadro 5.10 – Capacidade atual das escolas	67
Quadro 5.11 – Número de alunos por série/escola previstos para 2003	70
Quadro 5.12 – Resultados obtidos com a aplicação do *software* LINGO	72

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 2.1 – Alunos matriculados de 1ª à 4ª série do Ensino Fundamental	25
Tabela 5.1 – Dados observados – Infra-Estrutura	58
Tabela 5.2 – Dados observados – Serviços Oferecidos	59
Tabela 5.3 – Coeficientes para Infra-Estrutura	60
Tabela 5.4 – Coeficientes para Serviços Oferecidos	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5.1 – Mapa do município de Guarapuava	45
Figura 5.2 – Fluxograma com as etapas do trabalho	46
Figura 5.3 – Grupo de atributos 1 – Infra-Estrutura Escolar	50
Figura 5.4 – Grupo de atributos 2 – Serviços Oferecidos	51
Figura 5.5 – Gráfico – Renda Familiar	56
Figura 5.6 – Gráfico – Escolaridade	56
Figura 5.7 – Gráfico – Região onde mora	57
Figura 5.8 – Gráfico – Dimensionamento da Amostra (Infra-Estrutura)	59
Figura 5.9 – Gráfico – Dimensionamento da Amostra (Serviços Oferecidos)	60
Figura 5.10 – Fatores explicativos do número de alunos da 1ª série	69
Figura 5.11 – Fatores explicativos do número de alunos das demais séries	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 – Cartões usados para o experimento de Preferência Declarada	81
Anexo 2 – *Software* Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC)	87
Anexo 3 – Exemplo de experimento de Preferência Declarada e o uso do LMPC	89
Anexo 4 – Relatório das entrevistas de Preferência Declarada	93
Anexo 5 – O *Software* Lingo	97
Anexo 6 – O modelo de designação com implementação no LINGO	100

RESUMO

Todo início do período letivo tem sido motivo de grandes preocupações tanto para os órgãos públicos educacionais, como para pais e alunos: as Secretarias de Educação precisam oferecer à população a escolarização fundamental às crianças, assegurada pela Constituição; os pais e alunos requerem um ensino de qualidade que venha atender a facilidade de acesso a uma determinada escola e que ofereça opções de atividades diversificadas, garantindo uma qualidade satisfatória, em turnos alternados.

Este trabalho tem por finalidade desenvolver um estudo referente aos estabelecimentos de Ensino Fundamental, de 1ª à 4ª séries, de caráter público, do município de Guarapuava.

O estudo consiste, primeiramente, de uma avaliação qualitativa dos estabelecimentos existentes e uma posterior redistribuição dos alunos de acordo com a capacidade das escolas, levando em consideração a expectativa que os pais têm em relação a cada uma delas.

Para a execução dos estudos relativos ao trabalho, são utilizadas as técnicas de Programação Matemática, que envolvem medidas quantitativas e qualitativas: Programação Linear e Preferência Declarada.

Os resultados alcançados com esse trabalho apresentam subsídios ao governo municipal para planejar uma rede de ensino melhor estruturada nos aspectos dimensionais e de qualidade educacional.

ABSTRACT

Every beginning of academic year have been the reason of enormous preocupations for a education public organizations and for parents and students: the Education Secretaries need to give to the population the fundamental schooling to childrens, guaranteed for the Constitution; the parents and the students require a teach of quality and that come to attend the facility of access to the certain school and that offer options of many activities, guaranting a satisfactory quality, in alternative shift.

This assignment have the finality to develop a study about the establishment of Fundamental Teach, de 1st to 4 st grade, of public character, in the Guarapuava city.

The study consist, firstly, the qualitative valuation about the establishment existing and then a redistribuction of the childrens, considering the capacity of schools and the expectation that parents had about each one of establishment.

To the execution of studies relative this assigment, are used the Math Programming Tecniques, whose envolved quantitative and qualitative rules: Linear Programming and Stated Preference.

The reached results with this study show subsidies for the local authority to plan an educational net with a good physical structure and a good quality in education.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

Este trabalho tem por finalidade estabelecer um estudo referente aos estabelecimentos de Ensino Fundamental, de 1ª à 4ª séries, de caráter público, do município de Guarapuava, situado no Estado do Paraná, região sul do Brasil.

O estudo consiste, primeiramente, de uma avaliação qualitativa dos estabelecimentos existentes e uma posterior redistribuição dos alunos de acordo com a capacidade das escolas, levando em consideração a expectativa que os pais têm em relação a cada uma delas. Esta redistribuição busca a indicação de quais escolas poderão ter seu espaço ocioso utilizado para outros fins, que não o de local para o ensino-aprendizagem de conteúdos curriculares, uma vez que é dever do município proporcionar à população atividades de lazer ou mesmo proporcionar o ensino de trabalhos artesanais e artísticos que possam ajudar no orçamento da população.

Para a execução dos estudos relativos ao trabalho em questão, foram utilizadas as técnicas de Programação Matemática, que envolvem medidas quantitativas e qualitativas: Programação Linear e Preferência Declarada.

1.2 Importância do trabalho

No início do período letivo percebe-se uma grande preocupação por parte dos órgãos públicos educacionais, pais e alunos, em relação aos estabelecimentos de ensino. As Secretarias de Educação precisam oferecer á população à escolarização fundamental às crianças, ou seja, é preciso que as escolas tenham capacidade para atender toda a demanda existente; já os pais e

os alunos requerem um ensino de qualidade que venha atender a facilidade de acesso a uma determinada escola e que ofereça opções de atividades diversificadas, garantindo uma qualidade satisfatória, em turnos alternados.

De acordo com a LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO (1990), o poder público municipal deverá, anualmente, fazer um levantamento estatístico da população em idade escolar e fazer a chamada dos educandos, no início do ano letivo, dando-lhes a oportunidade de estudar em uma escola próxima à sua residência e que atenda as necessidades pedagógicas.

Muitas vezes, porém, uma determinada região urbana apresenta um desenvolvimento sócio-econômico bastante acelerado, fazendo com que o planejamento escolar se torne uma tarefa árdua. Uma vez que a procura por matrícula nas escolas se dá nos meses de dezembro e janeiro, é difícil tomar providências adequadas para suprir a busca por uma vaga escolar, sendo o poder público levado a tomar medidas de caráter emergencial, como: transportar os alunos excedentes de uma escola para outras mais distantes, com salas de aulas ociosas; construção de salas ou mesmo locação de salas provisórias; atendimento em mais de dois turnos e outras.

Esses bairros, que durante certo tempo mantêm o crescimento da população em ritmo acelerado, podem fazer com que, no decorrer do ano, o Município construa escolas e amplie outras já existentes para atender à demanda; mas, se por algum motivo, a quantidade de moradores da região começa a sofrer um retrocesso, ocasionado, por exemplo, pelo fechamento de fábricas, que obriga as famílias a se mudarem para outras regiões em busca de condições melhores de vida, as escolas ficam ociosas. Outro caso que pode ser mencionado, é o de uma escola que é próxima da residência do aluno, mas que não oferece atividades extracurriculares tão atrativas como aquelas mantidas por uma escola que é distante e que acaba atraindo uma clientela moradora fora de sua área de abrangência; a escola próxima passa então a ter um espaço físico ocioso e que

precisa ter um destino que satisfaça a necessidade da comunidade restante, ao passo que outras escolas (distantes) passam a ter superlotação.

1.3 Justificativa para o desenvolvimento do trabalho

As escolas possuem em geral, entre seus vários objetivos, atender a uma clientela residente nas suas imediações, mas percebe-se em certos estabelecimentos, no entanto, que alunos que moram a poucos metros de uma escola acabam por terem que se deslocar ao outro lado da cidade para estudar.

Isso se dá pelo fato de que as escolas brasileiras, como outras em muitos outros países, não são equivalentes quanto ao seu desempenho pedagógico, estrutura física, conservação de suas instalações, capacitação dos professores, séries e turnos ofertados; aspectos estes que garantem a anuência dos pais (PIZZOLATO E SILVA, 1992).

É visto que, no momento da escolha dos pais por uma determinada escola, são considerados outros fatores além da função básica da escola que é a de preparar a criança para o futuro, dando então o embasamento de conteúdos curriculares; são consideradas também, escolas que ofereçam além do ensino básico, atividades extra-classe voltadas para a arte (pintura, dança, música), para o ensino de técnicas de trabalhos manuais (bordados, crochê, tricô, culinária, artesanato em madeira, em papel) e para o desempenho específico de certas áreas profissionais (ensino de língua estrangeira, conhecimento de informática). Assim sendo, um estabelecimento que prepare a criança como um todo, que lhe ensine os conteúdos obrigatórios e que lhe desenvolva as habilidades natas de cada indivíduo, são, certamente, os mais procurados.

É preciso, então, que no planejamento de uma rede escolar (ampliação, desativação e criação de novas escolas), perceba-se a importância de uma análise não apenas sobre as questões quantitativas (capacidade física) das

instituições de ensino, mas também aquelas de cunho qualitativo (professores especializados, recursos didáticos atualizados, assistência social, atividades extra-classes), que despertam o interesse dos pais e de seus filhos.

1.4 Objetivos do trabalho

O trabalho é realizado de forma tal a atingir os seguintes objetivos:

- averiguar quais são os fatores escolares relevantes para os pais;
- calcular a utilidade de cada estabelecimento para a comunidade;
- redistribuir os alunos de maneira mais adequada, entre os estabelecimentos de ensino;
- direcionar espaços escolares ociosos para uso em atividades construtivas.

1.5 Limitações do trabalho

A idéia inicial para este trabalho era buscar um meio de solucionar a falta de vagas nas escolas de 1ª à 4ª séries no início de cada ano letivo, porém percebeu-se que há sobra de vagas nas 2as, 3as e 4as séries na maioria das escolas do município de Guarapuava. Existe, sim, superlotação apenas nas turmas de 1ª série de algumas escolas, julgadas pelos pais como melhores qualificadas. O grande número de alunos nessa série, ocorre pelo fato de que muitas crianças da rede pública de ensino têm o primeiro contato com a escola somente na 1ª série, e algumas delas apresentam dificuldades de adaptação a essa nova etapa de sua vida.

Assim, o trabalho ganhou o enfoque de estudo para redistribuição dos alunos que estão excedentes em determinadas escolas para outras que têm espaço ocioso, tornando-as mais homogêneas em termos de procura de vagas.

1.6 Estrutura do trabalho

O trabalho apresenta, além deste capítulo, o capítulo II com informações sobre o município de Guarapuava, sistema e projetos educacionais e a descrição do problema.

No capítulo III são apresentados, sucintamente, alguns trabalhos científicos, com abordagem matemática, desenvolvidos na área de planejamento da rede escolar.

O capítulo IV traz a teoria que fundamenta as técnicas matemáticas utilizadas para a resolução do problema.

O capítulo V descreve os procedimentos realizados na coleta de dados e na obtenção e análise dos resultados obtidos.

Finalmente, o capítulo VI apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para estudos futuros.

CAPÍTULO II

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA REAL

2.1. A cidade de Guarapuava

Guarapuava está situada no Terceiro Planalto Paranaense, região centro-oeste, com altitude média de 1120 m e uma área de 3503 km^2, a uma distância de 260 km de Curitiba, capital do Estado do Paraná.

Seu clima é fresco no verão (20,2ºC) e frio no inverno (13,6ºC), podendo chegar a 1,4ºC negativos (SECRETARIA ESTADUAL DE TURISMO, 1998). Motivo este, que faz com que a população procure matricular seus filhos pequenos nas escolas que ofertam as séries iniciais do Ensino Fundamental no período da tarde, com menos exposição das crianças ao frio das fortes geadas da manhã.

Com 183 anos, Guarapuava exerce forte influência sobre 9 municípios vizinhos: Pinhão, Laranjeiras do Sul, Campina do Simão, Goioxim, Prudentópolis, Inácio Martins, Turvo, Cantagalo e Candói. Tem um grande número de habitantes descendentes de tropeiros oriundos de Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul que faziam a atividade pastoril dos primeiros tempos, dando à produção do campo a necessária vazão comercial entre as fontes produtoras do sul e o mercado consumidor do norte (KRUGER, 1999). Seus recursos são fortemente ligados a agricultura (soja, milho, trigo, cevada, fruticultura), a bovinocultura e avicultura.

A população de aproximadamente 160.000 habitantes é descendente de poloneses, italianos, austríacos, ucranianos, árabes, alemães, japoneses e portugueses (MARCONDES, 1998). Essa miscigenação de raças é encontrada também nas artes como, por exemplo, nos grupos folclóricos e no artesanato que apresenta ainda forte expressão indígena.

2.2 O Sistema Educacional

O município de Guarapuava trouxe, nos últimos anos, um crescimento acentuado no número de estabelecimentos escolares em todos os níveis do ensino, seja da Educação Infantil ao Ensino Superior.

Atualmente, a cidade conta com 49 escolas municipais (Educação Infantil e Ensino Fundamental de 1ª à 4ª séries) que absorvem cerca de 15.400 alunos, 24 escolas estaduais (Ensino Fundamental de 5ª à 8ª série e Ensino Médio) com aproximadamente 13.200 alunos e 27 colégios particulares (Educação Infantil, Ensino Fundamental e Médio) com cerca de 5.900 alunos; além disso a população pode contar com 1 Universidade Pública que mantém aproximadamente 3.500 estudantes (Campus de Guarapuava) e 2 Faculdades Particulares, com 1.400 alunos.

No ensino de caráter público, a Secretaria Municipal de Educação e Cultura mantém a Educação Infantil e o Ensino Fundamental de 1ª à 4ª série. O Ensino Fundamental de 5ª à 8ª série e o Ensino Médio ficam a cargo do Governo do Estado. Dessa forma, há escolas que são integralmente de competência do governo municipal, outras que são exclusividade do Governo do Estado e ainda aquelas que mantêm parceria, sendo coordenadas num turno pelo Estado e no outro pelo Município, geralmente o turno da manhã, oferece 5ª à 8ª séries e o da tarde, 1ª à 4ª séries.

Essa divisão iniciou em 1997 e foi sendo implantada gradativamente, de acordo com as normas estabelecidas pelo Ministério da Educação.

2.3 A escola

Sabe-se que a escola é o espaço de maior aprendizagem, espaço este, heterogêneo, por reunir pessoas com diferentes finalidades, algumas (docentes) com o objetivo de realizar o trabalho de ensinar, outras (funcionários) fornecem o

suporte necessário ao êxito do estabelecimento de ensino, enquanto que para todas as demais (discentes), o objetivo está centrado no estudo.

Esse ambiente tece tramas de relacionamento humano, pois as pessoas nele envolvidas são dotadas de características próprias, possuindo percepções sobre os fatos que ocorrem nesse ambiente, bem como fora dele, isto é, no meio em que vivem e é a partir das percepções que as pessoas, professores e alunos possuem, que organizam seu espaço social e conduzem os estabelecimentos aos quais pertencem (CABRAL, 1987).

Uma vez que a escola é então primordial para formação do ser humano, se faz necessário uma constante adaptação dos mecanismos pedagógicos das mesmas à vida do aluno, trabalhando com suas habilidades natas, visando prepará-lo para o mundo.

Por estes motivos, no início dos anos 80, a educação passou a ser vista sob uma nova perspectiva por alguns políticos educadores, o que resultou em 1996 na Lei 9394 que regulamenta a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (CHAGAS, 1998).

A LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação) fixou princípios como bases, onde o ensino deve ser ministrado dando ênfase ao fato de que a educação escolar deverá vincular-se ao mundo do trabalho e à prática social.

> *"Apesar das especialidades de cada momento histórico e de cada comunidade, a escola tem sempre uma função básica e universal, que deve ser reconhecida por todos: a de garantir o direito ao saber, científico, cultural e ético."*
>
> CADERNOS DA TV ESCOLA, 1996, p.33.

Nessa perspectiva, o aluno deve ter um papel ativo, na escola e na comunidade, recebendo estímulos e críticas para interagir com os demais de forma organizada e adquirir novos conhecimentos que influenciarão na formação de seu auto-conceito e de sua auto-estima.

2.4 Projetos alternativos da escola

O país, tem hoje, uma preocupação crescente com as crianças de rua. Muitas destas crianças vêem nas esquinas das ruas, uma forma de angariar seu sustento e às vezes do restante da família, sendo que muitas delas são exploradas, quando são forçadas a trabalhar nas ruas, vendendo produtos, ou pedindo esmolas. Dessa forma, essas crianças se encontram muito próximas do mundo das drogas e da marginalidade.

A cidade de Guarapuava, como muitas cidades do Brasil, busca sanar este problema social, propondo atividades alternativas para os alunos das escolas da rede municipal e oferecendo ainda, alguns serviços de caráter social às crianças e adolescentes da comunidade.

Muitos dos serviços prestados ficam a cargo da Secretaria Municipal de Educação e Cultura que têm como objetivo principal, apoiar a ação educativa e formadora da escola, através de atividades em contra-turno que favoreçam o lúdico, o conhecimento e a cultura.

Os tempos modernos exigem que grande parte das mães se ausente todo dia de casa, interessadas entre outras causas, em trabalhar para ajudar no sustento do lar e, durante a ausência das mesmas, as crianças ficam sem alguém, que lhes possa orientar pedagogicamente, em suas tarefas e na complementação do conteúdo trabalhado em sala de aula.

Assim sendo, o Projeto Municipal “Todo Tempo na Escola”, por exemplo, que é de caráter pedagógico, atendendo cerca de 1800 alunos de 4 a 12 anos de idade, busca ampliar as potencialidades dos alunos através do seu envolvimento em ações sócio-educacionais e promove o gosto pela leitura e o prazer da escrita, além de envolver as famílias num trabalho sócio-pedagógico-cultural. São oferecidas por este projeto, atividades de complementação pedagógica, sempre que necessárias, além de outras, envolvendo arte, recreação e jogos didáticos. Todas as atividades, independentemente de sua natureza, deverão contemplar uma oferta lúdica, interessante e renovada, com a finalidade de atrair e envolver a clientela, ao mesmo tempo em que a orienta e, por vezes, refaz conteúdos em defasagem.

Já um outro projeto municipal, o chamado “Oficinas-Escola”, tem por objetivo ensinar o artesanato como mecanismo de auxílio financeiro às famílias de baixa renda. Este projeto funciona em 9 escolas e atende cerca de 700 alunos, entre meninos e meninas, que em horário alternado ao das aulas voltam à escola para aprender bordado em ponto cruz, crochê e artesanato com jornal reciclado. Os produtos, depois de prontos, são vendidos em locais próprios e 50% do valor de sua venda é usado para compra do material necessário ao trabalho e 50% é remetido para a criança que confeccionou o produto. Assim, além de ajudar no orçamento familiar, a criança está desenvolvendo suas habilidades, para que no futuro, possa talvez ser uma profissional da área.

2.5 Descrição do problema observado

Pelo exposto nos itens 2.3 e 2.4, percebe-se a importância de manter as crianças envolvidas com atividades construtivas no horário em que não estão em sala de aula para a aprendizagem dos conteúdos curriculares. É visto ainda, os benefícios que projetos como os citados trazem à comunidade.

Para que todo esse esforço tenha êxito, um fator relevante é o local para o funcionamento de tais projetos.

Já que o interesse é manter as crianças fora das ruas, o ideal é que cada bairro tenha condições para oferecer tais atividades, sem que os “pequenos” tenham que se deslocar para locais distantes para tal aprendizado. Assim, cada escola deveria oferecer atividades alternativas à clientela próxima as mesmas.

Outro fator importante, porém de cunho pedagógico, é que algumas escolas têm superlotação de crianças nas turmas da 1ª série do ensino fundamental, sendo que esse número, de acordo com o ESTATUTO DO MAGISTÉRIO (1998), deve ser de no máximo 30 alunos por sala de aula, para que a criança tenha condições de ter uma adaptação satisfatória nessa nova etapa de sua vida, e possa, assim, assimilar o que lhe é ensinado pelo professor, que poderia então desenvolver um trabalho de excelência com seus educandos.

Percebe-se ainda que apesar da existência de escolas em todos os bairros da cidade, algumas recebem alunos de bairros distantes, cujos pais insistem em percorrer diariamente o longo trajeto com seus filhos, ao invés de matriculá-los na escola próxima de sua residência. A questão é, o que algumas escolas oferecem às crianças para que sejam tão disputadas pelos pais?

Tudo isso leva a um estudo sobre o espaço físico das escolas, verificando onde é possível destinar salas para projetos pedagógico-culturais, de onde e para onde deve-se fazer remanejamento de alunos e quais serviços são mais atrativos aos pais.

Até o ano de 2000, a cidade de Guarapuava vinha sofrendo um aumento no número de crianças que estudavam nos estabelecimentos da rede municipal de ensino, período em que foram construídas novas escolas e outras foram ampliadas; a partir daí houve um aumento no número de escolas particulares e o

número de crianças da rede pública municipal diminuiu, conforme apresentado na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Alunos matriculados de 1ª à 4ª série do Ensino Fundamental

Ano	Número de alunos
1998	**15.245**
1999	**15.636**
2000	**15.765**
2001	**15.523**
2002	**15.372**

Fonte: Secretaria Municipal de Educação e Cultura

As escolas municipais passaram então, a ter um espaço físico ocioso e que deve ser destinado a atividades necessárias e de maior interesse da comunidade, de acordo com o valor de sua atratividade perante os pais.

CAPÍTULO III

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Os sistemas educacionais podem ser vistos como mecanismos fundamentais para acelerar o desenvolvimento social e econômico de qualquer país, motivo pelo qual a otimização dos processos de decisão relativos ao seu planejamento merece prioridade dos governantes e dos sistemas administrativos de uma forma geral (ARANTES, 1986).

Para o desenvolvimento dos sistemas educacionais é necessário uma grande disponibilidade de recursos humanos, físicos e financeiros. Buscando estruturar e orientar todo o processo, é fundamental a geração de propostas, escolha e implementação de cada decisão com base em modelos apropriados.

3.2 Abordagens matemáticas dadas ao problema de planejamento da rede escolar

Um modelo matemático para designar estudantes para escolas de uma mesma região foi apresentado por KOENIGSBERG (1968). Os modelos de Programação Matemática para designar recursos (no caso alunos) para equipamentos (as escolas) estão sujeitos à restrições quanto aos equipamentos (capacidade) e quanto a recursos (tempo de deslocamento até a escola, distância, serviços prestados) a partir de uma medida de desempenho (custo total ou tempo total de viagem). O problema é visto assim, como um problema de transporte.

LIGGETT (1973) apresenta um algoritmo para delimitar as zonas de atendimento das escolas, de modo a satisfazer critérios de integração. O problema, colocado sob a forma de Programação Linear Inteira, torna-se extremamente complexo, e o autor propõe a utilização de uma heurística para solução. A heurística requer um método sistemático de geração de todos as soluções possíveis e, a avaliação da função objetivo para cada uma das soluções.

LEE e MOORE (1977) apresentaram a aplicação de Programação por Múltiplos Objetivos para problemas de transporte escolar, a fim de atingir múltiplos e conflitantes objetivos. Os modelos tentam derivar soluções ótimas tanto para refletir tais objetivos como para proporcionar oportunidade educacional para as crianças, levando em consideração o balanço racial, permitindo o conceito de escola da comunidade e minimizando o custo total de transporte.

O problema de alocação de estudantes foi, também, tratado por MOLINERO (1988). Em seu trabalho foi incluído o aspecto de manter ou não manter em funcionamento os estabelecimentos de ensino a partir da consideração de variáveis, como por exemplo, desemprego, moradia, área de localização e outras.

PIZZOLATO e SILVA (1992) descrevem uma metodologia para planejar a localização de escolas. A aplicabilidade do método parece ser ampla, mas seu interesse maior está na localização de escolas de 1º grau nas áreas urbanas, ou áreas em vias de urbanização, especialmente aquelas de rápida ocupação, como é o caso das grandes regiões metropolitanas. A metodologia parte do princípio de que o aluno deve optar pela escola mais próxima de sua residência, de forma que, ao nível macroscópico, a localização ideal é aquela que minimiza as distâncias totais percorridas pelo conjunto de alunos até as escolas mais próximas. Há cinco etapas no método: 1) obter a distribuição espacial da população escolar, o que é imediato com dados estatísticos dos setores censitários do IBGE e mapas em escala adequada; 2) medir as distâncias entre cada setor censitário, as quais indicam o percurso médio dos alunos até a escola mais próxima; 3) avaliar a

localização atual das escolas; 4) aplicar o algoritmo das p-medianas para propor a localização ideal das escolas e 5) interpretar e validar a solução para posterior implementação. O trabalho discute a experiência com a aplicação do método ao 1º Distrito de Nova Iguaçu, RJ, e seus resultados oferecem ao poder público um plano diretor para a expansão da rede pública durante um período mínimo de 10 anos.

Num trabalho utilizando dados do município de Florianópolis, SC, BASTOS (1994) apresenta uma abordagem baseada no método de preferência declarada para planejamento da rede escolar. A abordagem proposta permite a incorporação das preferências dos segmentos envolvidos no planejamento educacional: sociedade, educadores e gestores, que apresentam expectativas e aspirações diferentes. Além disso, propõe a integração de técnicas de otimização com técnicas de preferência declarada utilizando conceitos oriundos da teoria dos conjuntos difusos.

O trabalho desenvolvido por LOBO (1998) apresenta um estudo sobre a localização espacial de unidades de educação infantil municipais, de tempo integral, com atendimento às crianças de zero a seis anos de idade em Florianópolis – SC. A metodologia de cobertura de conjuntos é apresentada e utilizada como ferramenta para encontrar as melhores localizações. Uma sugestão de implementação é feita com base num índice de necessidade desenvolvido a partir de dados sócio-econômicos das regiões.

PIZZOLATO, et al. (1999) apresentaram um trabalho que consiste no estudo da localização das escolas municipais de ensino fundamental na Ilha do Governador, na região do Rio de Janeiro, com cerca de 200.000 habitantes. O objetivo foi avaliar a rede escolar pública no aspecto distribuição espacial e capacidade ofertada, identificando regiões onde há excesso ou escassez de vagas. O estudo foi feito com a utilização do SIG (Sistemas de Informação Geográficos) e como ferramenta para tal, foi usado o *Software ArcView*. A utilização do SIG possui as vantagens de integridade dos dados, simplificação das

tarefas e facilidade de apresentação dos resultados. As hipóteses adotadas são que todas as crianças em idade escolar devem ser alocadas a uma escola, sendo que as mesmas devem ter capacidade para absorvê-las e que, além disso, não há diferenças entre as escolas, possuindo todas o mesmo padrão de qualidade e, por isso, os alunos se dirigem à escola mais próxima de suas residências.

ANTUNES e PEETERS (2000) descrevem um modelo de otimização dinâmica (multiperíodos) que foi usado em Portugal para formular uma proposta para evolução de diversas redes de escolas. A principal contribuição do artigo envolve especificações de um modelo dinâmico de otimização no planejamento de facilidades/instalações públicas (no caso rede escolar). O modelo verifica quais facilidades devem ser fechadas ou reduzidas, bem como quais devem permanecer abertas ou serem ampliadas, com tamanhos limitados por padrões pré-definidos. O modelo assume que os custos devem ser divididos dentro de uma componente fixa em duas componentes variáveis dependendo, respectivamente, da capacidade e da freqüência. A técnica *Simulated Annealing*, dentre os métodos heurísticos usados, mostrou facilidade em sua programação, flexibilidade no seu uso e trouxe bons resultados para o problema.

Para SAMPAIO (2000), o início do período letivo apresenta inúmeros desafios às Secretarias Municipais e Estaduais de Educação no sentido de garantirem a escolarização fundamental à população, assegurada pela Constituição. Seu trabalho objetiva elaborar um plano de otimização da rede escolar (retração, ampliação ou criação de novas escolas) em uma região determinada do município de Curitiba após observar que a procura por matrícula tem extrapolado a capacidade de atendimento das escolas de algumas regiões da cidade enquanto que, em determinados bairros de ocupação consolidada algumas escolas permanecem com ociosidade. São usadas técnicas de Programação Matemática que buscam a localização ideal das escolas estaduais de 5ª à 8ª séries do ensino fundamental, visando minimizar o caminho percorrido pelos alunos desde suas residências até a escola mais próxima. A metodologia proposta

utiliza as técnicas *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético, comparativamente, para resolver o problema, considerando os setores censitários da cidade.

CORRÊA (2000), desenvolveu um trabalho onde é apresentada uma aplicação do problema das p-medianas capacitado a um problema real. É proposto um algoritmo que otimiza a designação de candidatos ao vestibular para os locais de provas mais próximos de suas residências. Para resolver o problema das p-medianas capacitado são propostas duas heurísticas modernas adaptadas ao problema. A primeira é baseada em um algoritmo genético simples que utiliza os operadores genéticos usuais e um operador heurístico chamado "hipermutação direcionada". A segunda heurística proposta é baseada em busca tabu e usa memória de curto e de longo prazo para controlar a busca. Também utiliza uma estratégia de oscilação e tempo tabu aleatório para tentar evitar a repetição de soluções. As duas heurísticas propostas são utilizadas para resolver o problema real mencionado anteriormente, comparativamente, sendo que o algoritmo genético e o das p-medianas capacitado, apresentaram melhores resultados.

GONÇALVES (2001) mostrou a aplicação do método Promethee em um problema de escolha de locais para construção de escolas ou ampliação de unidades já existentes. Normalmente problemas de decisão dessa natureza envolvem vários critérios a serem otimizados. Neste problema o local escolhido visa vários objetivos: atender o número máximo possível de alunos; ter o menor custo possível; ter o melhor nível de segurança e o melhor acesso para funcionários e alunos e estar próximo de postos de saúde. Como é quase impossível encontrar um local que satisfaça a todos estes requisitos, ou seja, não existe uma alternativa que seja melhor para todos os critérios, então o método fornece uma classificação em ordem decrescente ou crescente das alternativas sob o ponto de vista de todos os critérios. Dessa maneira não existe a melhor solução; o que pode-se obter é apenas uma solução mais satisfatória do que a atual.

LOPES E SCHOEFFEL (2002) descrevem um protótipo para a realização do controle de reservas de salas de aula. O protótipo permite, através de um algoritmo baseado na Pesquisa Operacional, otimizar o processo de alocação das turmas nas salas, satisfazendo algumas restrições. Também permite o controle, gerenciamento do espaço físico das salas através da geração de relatórios detalhados e a alocação de salas para empréstimos ocasionais. A principal dificuldade diz respeito à alocação semestral, uma vez que para cada sala e cada turma existem várias restrições que são levadas em consideração quando faz-se a alocação, entre as quais: capacidade/número de alunos, bloco(localização), acesso à deficiente físico, carteiras de desenho, quadros, ar condicionado e cadeiras estofadas. Deste modo a alocação trata de um problema complexo com diversas variáveis a serem consideradas e que o algoritmo do problema de designação resolveu com eficiência.

A seguir, no capítulo IV, são apresentadas as técnicas usadas no desenvolvimento deste trabalho.

CAPÍTULO IV

4. TÉCNICAS EMPREGADAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

4.1 Método de Preferência Declarada

4.1.1 Introdução

O interesse ao analisar problemas de determinação de preferências, é o de estabelecer bases metodológicas para a agregação de informações como essas (preferências), na solução de problemas de alocação de alunos em estabelecimentos escolares que são analisados pelos seus responsáveis sob diversos aspectos.

Nos problemas de alocação de alunos em escolas, diversas formulações podem ser propostas, cada uma delas contemplando a otimização de diferentes objetivos. Incorporar nesses objetivos, as preferências dos indivíduos é um problema derivado e que merece ser estudado, resultando dessa análise a possibilidade da utilização do método de preferência declarada.

Segundo ORTÚZAR e WILLUMSEN (1990), o princípio básico dos modelos de escolha discreta enuncia que a probabilidade de um indivíduo fazer uma certa opção é função de suas características sócio-econômicas e da atratividade da alternativa em questão em comparação a outras.

Para representar a atratividade das alternativas, adota-se o conceito de utilidade, advindo da Teoria do Consumidor (FERGUNSON, 1976). Um consumidor, em princípio, escolhe um produto ou serviço pelo conjunto de atributos que o produto possui, obedecendo a uma escala subjetiva de valor para

cada atributo, em relação ao seu custo. Assim, o consumidor busca um produto ou serviço cujo somatório dos atributos seja igual ou superior ao valor disposto a pagar.

O conceito de utilidade seguiu uma ordem de evolução até alcançar lugar nos modelos de preferência. Inicialmente, era expresso em função de custo generalizado, que transforma de maneira arbitrária, os atributos numa única variável monetária que representa o custo ao consumidor. A seguir, o conceito de utilidade passou a ser usado em modelos comportamentais à nível agregado, quando baseado em observações zonais ou inter-zonais, e desagregados, onde eram fundamentados em dados individuais. Finalmente, incorporou-se aos modelos de preferência propriamente ditos (NOVAES, 1995).

O estudo do comportamento dos indivíduos quando defrontados com alternativas de decisão é um problema bastante complexo. Este estudo tem a importante função de quantificar dados comportamentais necessários aos modelos matemáticos (VIEIRA, 1996). Dentre as técnicas em uso, tem-se as técnicas convencionais de Preferência Revelada e a técnica de Preferência Declarada, descritas nos itens 4.1.3 e 4.1.4 após algumas definições preliminares.

4.1.2 Função Utilidade

A utilidade é dada pelo valor alocado por um indivíduo a um serviço (ou atributo) ou a um produto, e só se torna significativa quando comparada com valores de outras opções. Esta medida quantitativa se formaliza através de uma função matemática chamada de Função Utilidade. Neste estudo, por exemplo, a Função Utilidade é vinculada a uma série de atributos que são os elementos que fazem parte de todo o desenvolvimento do processo de planejamento escolar estudado. A configuração mais comum para a Função Utilidade é uma função linear, em que os atributos se combinam de forma aditiva, como apresentado na equação (4.1.2.1) (FREITAS, 1995).

$$U_i = a_1 X_1 + a_2 X_2 + ... + a_n X_n \qquad \textbf{(4.1)}$$

onde:

U^i = utilidade da opção "i";

$X_1, X_2, ..., X_n$ = variáveis de serviço (atributos);

$a_1, a_2, ..., a_n$ = coeficientes do modelo;

4.1.3 Técnica de Preferência Revelada (TPR)

Preferência Revelada é uma abordagem convencional usada na previsão de comportamento e análise de preferência baseada em dados obtidos por observação direta ou através de questionamentos acerca de situações reais.

Logo, os modelos de Preferência Revelada são elaborados através de informações retiradas de seleções feitas por diferentes indivíduos em um ponto no tempo, que conduzem a situações reais observadas. Com cada uma destas seleções, sobre as quais os indivíduos revelam suas preferências, pode-se determinar matematicamente a conduta dos mesmos ao longo do tempo com relação a oferta de determinado produto e/ou serviço. A característica básica deste método é a de fornecer somente uma observação (dado) por indivíduo (FREITAS, 1995).

4.1.4 Técnica de Preferência Declarada (TPD)

A Técnica de Preferência Declarada, empregada no presente trabalho, se fundamenta em entrevistas mediante as quais é apresentado ao entrevistado um número de situações hipotéticas (opções) que se aproximem ao máximo da realidade. O entrevistado, frente a um "leque" de opções apresentadas na forma de cartões (Anexo 1), escolherá a melhor opção entre as oferecidas. Retira-se o cartão escolhido do conjunto, sendo solicitado ao entrevistado que faça uma segunda escolha e, assim, sucessivamente, havendo portanto, uma ordenação dos referidos cartões. Todas as opções escolhidas por ordem de preferência serão

utilizadas como informação e subsidiarão os modelos matemáticos (FREITAS, 1995).

Através da aplicação da técnica de Preferência Declarada pode-se desenvolver modelos matemáticos que representem a forma de decisão dos indivíduos, ou seja, a maneira através da qual os indivíduos tomam suas decisões.

4.1.5 Preferência Revelada versus Preferência Declarada

Ambos os métodos, Preferência Revelada e Preferência Declarada, possuem vantagens e também limitações, que devem ser analisadas ao se planejar um estudo envolvendo dados que referenciam preferências (FREITAS, 1995).

Os métodos de Preferência Revelada observam comportamentos reais, normalmente através de pesquisas, agregam dados no contexto de escolha e modelam o comportamento humano.

A Preferência Revelada apresenta algumas desvantagens, tais como:

- necessidade de pesquisas muito amplas;

- dificuldade de obter informações mais aprofundadas sobre as alternativas rejeitadas;

- alta correlação entre as variáveis explanatórias, tornando a estimação dos parâmetros que refletem as relações de troca, uma tarefa estatisticamente complicada;

- aplicação apenas para cenários existentes;

- a coleta de dados pode ser uma tarefa bastante cara, à medida que cada indivíduo fornece apenas uma informação ao analista.

Por outro lado, os métodos de Preferência Declarada surgiram, principalmente, para superar as limitações citadas anteriormente à medida que possuem características especiais como:

- possibilidade de analisar cenários hipotéticos, estudando novas situações que não fazem parte do conjunto atual de alternativas;

- indicação do fator ou atributo que mais influencia a satisfação do usuário podendo, o mesmo, concentrar as maiores atenções para o seu aperfeiçoamento;

- a multicolinearidade entre os atributos pode ser evitada ou minimizada;

- os atributos que não podem ser facilmente quantificados podem ser incorporados na análise.

4.1.6 Análise de Preferência Declarada

Um estudo de preferência declarada envolve as seguintes etapas, de acordo com FREITAS (1995):

- o método de entrevistas;
- a seleção da amostra;
- a forma e a complexidade do experimento;
- a medida de escolha;
- a análise dos dados.

As entrevistas podem ser realizadas face a face ou por meio de um questionário auto explicativo.

As entrevistas face a face apresentam a vantagem do entrevistador poder explicar diretamente os objetivos requeridos e administrar os exercícios de trade-off (troca) que são moldados em função das circunstâncias. Além disso, essa forma de entrevista é a que permite garantir uma alta taxa de respostas.

Numa entrevista bem conduzida, o entrevistado não é influenciado por fatores externos, pois é capaz de entender com clareza todas as especificações das alternativas que lhe são apresentadas, percebendo-as como um todo e não como a soma de um número de atributos separados.

As alternativas, geralmente, são apresentadas sob a forma de cartões. O entrevistado deve então avaliar uma série deles, cada um representando um cenário idealizado, onde os atributos apresentam diferentes níveis.

A seleção da amostra pode ser feita de diferentes formas, levando em consideração alguns pontos, como:

- a amostra deve ser retirada aleatoriamente da população ou de um grupo que esteja diretamente envolvido no processo. O segundo caso é mais eficiente, pois existe uma maior facilidade para contactar os indivíduos envolvidos;

- para fazer parte da amostra não é necessário que os indivíduos tenham vivenciado as opções apresentadas. Entretanto, para maximizar o realismo do experimento, os entrevistados devem, no mínimo, conseguir visualizar claramente a situação que lhes é apresentada.

Com relação à forma e complexidade do experimento, inicialmente, devem ser tomadas decisões a respeito de quais atributos serão utilizados e quantos níveis de cada um devem ser incluídos na pesquisa. A inclusão de mais atributos assegura que um maior número de fatores estejam presentes no experimento, e quanto mais níveis são usados, melhor a avaliação das diferentes respostas.

Entretanto, quanto maior for o número de atributos e níveis, maior será a complexidade da tarefa dos entrevistados, podendo tornar-se até inviável.

O número total de alternativas que podem ser definidas é função do número de atributos e de seus níveis. Contudo, os entrevistados podem, somente, avaliar um número limitado de alternativas ao mesmo tempo. Assim sendo, só poderão ser incorporadas todas as combinações possíveis (fatorial completo) se existir um pequeno número de atributos e de níveis. Quando um experimento fatorial completo gera muitas alternativas, o número pode ser reduzido pela adoção de um experimento fatorial fracionário (BASTOS, 1994).

Para a **medida da escolha**, os dados obtidos no experimento podem ser classificados em três grupos:

- Rating ou avaliação: usualmente, o método de rating é uma preferência relativa de uma entre duas alternativas, tal como: definitivamente escolheria a opção A, provavelmente escolheria A, indiferente entre as alternativas, provavelmente escolheria a opção B, definitivamente escolheria a opção B;

- Ranking ou ordenação: várias opções são apresentadas aos entrevistados de maneira que sua escolha seja uma classificação destas opções por ordem de preferência;

- Choice ou escolha: um conjunto de alternativas são apresentadas ao entrevistado e requer-se apenas a escolha daquela mais desejada.

Na **análise de dados** de experimento de Preferência Declarada as metodologias de estimação têm melhorado substancialmente. Os métodos mais comuns são:

- Análise de regressão múltipla, que pode ser aplicada a dados do tipo rating e não produz modelos de demanda diretos. Como resultado final, obtém-se a importância relativa de cada atributo;

- Análise monotônica da variância, adequado para dados do tipo ranking e que também não produz modelos de demanda diretos;

- Modelos de escolha discretos que são modelos probabilísticos desagregados e que têm como forma usual o Modelo Logit. Este tipo de análise envolve cálculos complexos e requerem softwares específicos como o Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC) , desenvolvido em linguagem Pascal por (SOUZA, 1999), descrito no Anexo 2 e exemplificado no Anexo 3 e utilizado neste trabalho.

4.1.6.1 Modelo Logit Multinomial

O modelo Logit Multinomial é um modelo empregado quando a análise do serviço que está sendo estudado envolve mais de um modo de apresentação (mais de uma opção); como é o caso do serviço escolar, em que para cada escola são avaliados infra-estrutura e serviços ofertados, cada um com seus respectivos atributos. O emprego deste modelo é a prática mais comum e mais simples entre os modelos de Escolha Discreta.

Devido ao componente aleatório, a escolha de uma opção i sobre uma opção j passa a ser regida por um processo probabilístico (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985), sendo:

$$P_i = \frac{e^{Ui}}{\sum_{j=1}^{n} e^{Uj}} \qquad (4.2)$$

onde: P_i = probabilidade da alternativa i ser escolhida;

e = base do logaritmo neperiano;

i, j = opções;

U = parcela determinística da função utilidade para a opção i e representa a equação descrita em 4.1.

O modelo Logit Multinomial satisfaz o axioma da independência em relação a alternativas que postula o seguinte: “Quando duas alternativas quaisquer tiverem probabilidade não nula de serem escolhidas, a relação entre a probabilidade de uma sobre a outra não é afetada pela ausência ou presença de qualquer alternativa adicional ao conjunto escolhido” (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

O referido modelo é aplicado aos casos com número de opções maior do que dois. Quando o número de modos (opções) é dois, tem-se o Modelo Logit Binomial, que é um caso particular do primeiro.

O modelo Logit Explodido é utilizado quando o método de Pesquisa de Preferência Declarada envolve o ordenamento das opções em um conjunto de seleções. O modelo “explode” à seqüência do entrevistado em (N-1) seqüências como se fossem escolhas feitas por diferentes entrevistados. Para explodir a informação contida nos dados ordenados com N preferências é necessário primeiramente considerar as ordens de escolha. Para o modelo Logit Multinomial isto pode ser feito usando-se a expressão (4.3).

$$\text{Prob}\,(r_1, r_2, \ldots, r_n) = \text{Prob}\,(r_1/C) * \text{Prob}\,(r_2, r_3, \ldots r_n) \quad (4.3)$$

onde:

Prob $(r_1, r_2, \ldots, r_n)$ = probabilidade de observar que a opção r_1 é preferida à r_2 e assim por diante;
Prob (r_1/C) = probabilidade de r_1 ser escolhida do conjunto de escolhas $C = (r_1, r_2, \ldots, r_n)$.

Aplicando sucessivamente o teorema, obtém-se a expressão para a probabilidade global de ordenação, nos termos de (N-1) probabilidades de escolha originadas do conjunto de opções ordenadas pelo entrevistado, como na expressão (4.4).

$$Prob(r_1, r_2, ..., r_n) = Prob(r_1/C)\ Prob(r_2/C - \{r_1\}) \quad (4.4)$$

onde:
C - $\{r_1\}$ indica o conjunto de escolhas excetuando-se a opção r_1 e assim por diante.

Usando-se esta teoria, o conteúdo de uma ordenação de escolhas pode ser explodido em (N-1) escolhas estatisticamente independentes, como segue:

$(U_1 \geq U_n)$ para n = 1,2,...,N
$(U_2 \geq U_n)$ para n = 2,3,...,N
...
$(U_{N-1} \geq U_n)$.

O ordenamento deve ser construído em ordem decrescente de preferência para cada entrevistado. Falhas nesse sentido podem até mesmo invalidar os resultados do modelo.

No presente trabalho foi aplicado o modelo Logit Multinomial para o seu desenvolvimento, dadas as suas características.

4.2 Problema de Transporte

4.2.1 Formulação clássica do Problema de Transporte

O modelo do transporte visa minimizar o custo total do transporte necessário para abastecer n centros consumidores (destinos) a partir de m centros fornecedores (origens). As quantidades disponíveis, ou oferta, em cada origem são: $a_1, a_2, ..., a_m$. As quantidades necessárias, ou demanda, em cada destino são: $b_1, b_2, ..., b_n$. O custo unitário de transporte entre a origem i e o destino j é c_{ij}.

Sendo x_{ij} a quantidade a ser transportada da origem i ao destino j o modelo para o Problema de Transporte é apresentado da seguinte forma (ZIONTS, 1974):

Minimizar $Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}$ (4.5)

sujeito a: $\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i$ (i = 1, 2, ..., m) (4.6)

$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j$ (j = 1, 2, ..., n) (4.7)

e $x_{ij} \geq 0$ e inteiras (i = 1, 2, ..., m) (j = 1,2, ..., n) (4.8)

onde em (4.5) é formulada a função objetivo do problema que é minimizar os custos de transporte; em (4.6) tem-se que a quantidade a ser transportada a partir da origem i deve ser igual à sua oferta a_i e em (4.7) tem-se que a quantidade a ser transportada para cada destino j deve ser igual a sua demanda b_j. Além disso em (4.8) tem-se que todos as variáveis x_{ij} devem ser maiores ou iguais a zero e inteiras, fazendo com que o Problema de Transporte seja um Problema de Programação Linear Inteira.

4.2.2 Formulação do modelo utilizado

Segundo ACKOFF e SASIENI (1971) um dos problemas clássicos de Pesquisa Operacional é o problema de atribuição ou designação (particularidade do problema de transporte), que pode consistir em atribuir homens a funções ou tarefas, caminhões a rotas de entrega, motoristas a caminhões, turmas a salas de aula, ou problemas a equipes de pesquisa, onde cada tarefa necessita de um único recurso e cada recurso pode ser usado em somente uma tarefa.

Neste trabalho o modelo de transporte foi reformulado para designar o maior número possível de alunos para as escolas e séries disponíveis na rede de ensino

estudada, considerando o valor da utilidade de cada escola (u_i), conforme a equação (4.9).

Desse modo o modelo passou a ser definido conforme a formulação abaixo.

Maximizar $$Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} u_i x_{ij} \qquad (4.9)$$

sujeito a $$\sum_i x_{ij} = \sum_i d_{ij} \qquad (4.10)$$

$$x_{ij} \leq c_{ij} \qquad (4.11)$$

$$x_{ij} \geq p.c_{ij} \qquad (4.12)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \textit{e inteiras (i = 1,2,...,n) (j = 1,2,...,m)} \qquad (4.13)$$

onde em (4.10) tem-se que o total de alunos designados para a escola i na série j (x_{ij}) deve ser igual a toda a demanda existente (d_{ij}); de (4.11) tem-se a garantia que o número de alunos designados respeitará a capacidade das escolas e séries (c_{ij}); a equação (4.12) determina o tamanho das turmas, pois p representa um percentual que, multiplicado pela capacidade, indica a quantidade de crianças a serem matriculadas nas escolas e séries. Em (4.13) tem-se que as variáveis devem ser não negativas e inteiras.

No capítulo V, apresentado a seguir, são mostradas como a técnica de Preferência Declarada e o Modelo de Transportes foram utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

CAPÍTULO V

5. METODOLOGIA DO TRABALHO, SOLUÇÃO DO PROBLEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Introdução

Este trabalho, conforme já mencionado, procura analisar a infra-estrutura física e pedagógica existente nas escolas municipais de Guarapuava que ofertam o Ensino Fundamental de 1ª à 4ª séries, em termos de um possível aumento no número de turmas de 1ª série (onde, em muitas escolas, há superlotação) ou de um remanejamento dos alunos excedentes para escolas com espaço ocioso, ou ainda, alocando estruturas para uso em outras atividades sociais.

O município de Guarapuava é bastante disperso com relação aos núcleos habitacionais; as escolas municipais, em sua maioria, são distantes uma das outras e estão localizadas tanto na região central da cidade como na periferia. A rede municipal mantém um total de 39 escolas de Ensino Fundamental de 1ª à 4ª séries, sendo que 7 delas estão localizadas em distritos e portanto afastadas das demais e devido a isso, elas não foram consideradas no estudo, ou seja, a pesquisa foi desenvolvida com dados de 32 escolas que influenciam de alguma forma a clientela existente. Buscando fazer a coleta de dados em diversas áreas da cidade, e assim atingir a mais variada clientela escolar, o município foi dividido em 9 regiões que compreendem as 32 escolas envolvidas na pesquisa. Cada região abrange vários bairros e portanto várias escolas e foram demarcadas, principalmente, em virtude das principais vias de acesso a cada uma. As escolas utilizadas no estudo estão localizadas no mapa de Guarapuava, dividido em bairros, cada qual com o número da região a que pertencem, e apresentado na Figura 5.1.

A metodologia para a resolução do problema proposto envolve várias fases e procedimentos que estão descritos no decorrer deste capítulo. Na Figura 5.2 está o fluxograma mostrando as diversas etapas do trabalho.

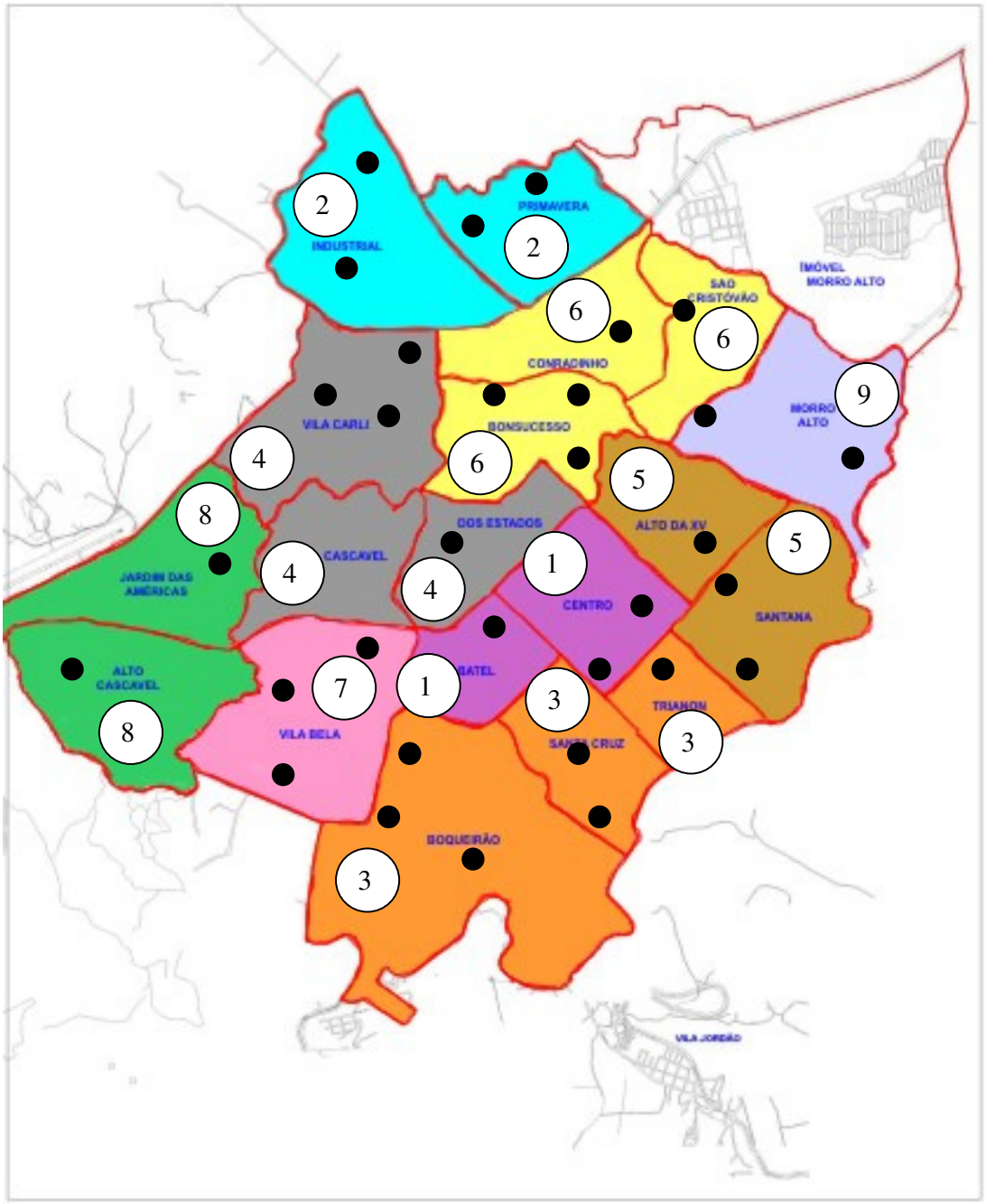


Figura 5.1. Mapa do Município de Guarapuava, com divisão por bairros e localização das escolas envolvidas no estudo

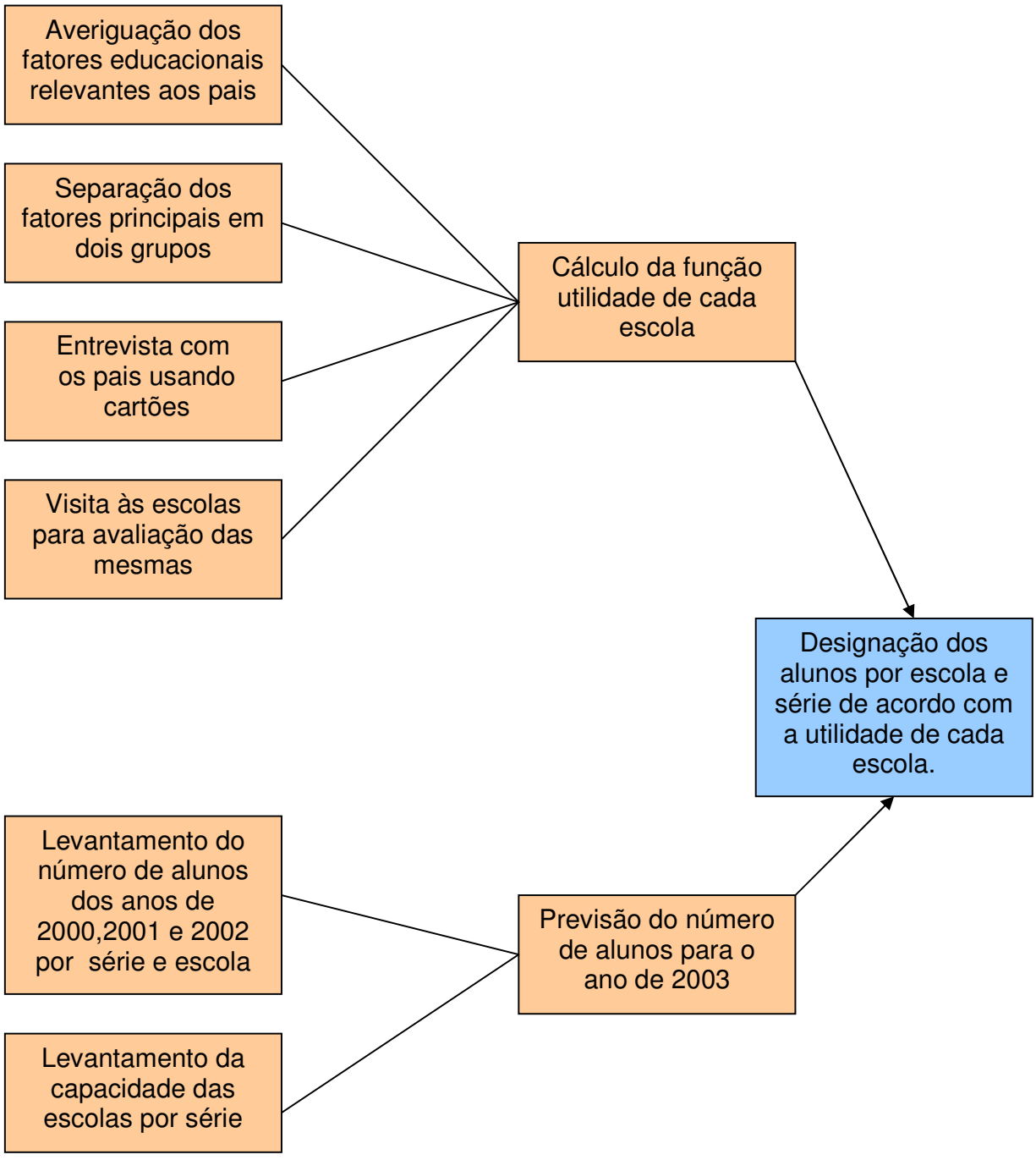


Figura 5.2. Fluxograma com as etapas do trabalho.

5.2 Obtenção dos dados para o experimento de preferência declarada

O experimento de preferência declarada usado no presente trabalho tem por finalidade determinar a função utilidade dos estabelecimentos de ensino e a respectiva probabilidade de utilidade que cada estabelecimento de ensino tem perante a comunidade, isto é, um valor quantitativo para fatores que determinam a qualidade de serviços educacionais.

Inicialmente, levantou-se junto a um grupo de 6 pessoas, entre pais e professores, uma discussão sobre os atributos que são importantes para o bom funcionamento escolar. Dessa “tempestade de idéias” resultou um questionário, conforme modelo a seguir, com 23 atributos.

Levando em conta um universo de 32 escolas e aproximadamente 14.000 alunos, optou-se por fazer uma averiguação junto a cerca de 1% da população, formando uma amostragem espacial estratificada em função da distribuição física das escolas. Dessa forma o questionário, apresentado na página seguinte, foi aplicado a 180 pais de diversos bairros da cidade, no mês de março de 2002, buscando averiguar os atributos mais relevantes.

Os resultados da pesquisa preliminar no levantamento dos atributos relevantes são mostrados no quadro 5.1, mais adiante.

QUESTIONÁRIO 1

Sr. Pai ou Responsável

O que você considera mais importante em uma escola, dentre os itens abaixo? Marque com X apenas 5(cinco) alternativas.

( ) facilidade de acesso (vias de trânsito)
( ) transporte escolar disponível
( ) ter ponto de ônibus próximo
( ) ser próxima de sua residência
( ) pátio com grama
( ) pátio coberto
( ) pátio cercado
( ) boas condições físicas do prédio
( ) salas de aula arejadas e espaçosas
( ) professores especializados
( ) recursos de informática à disposição dos alunos
( ) material didático adequado ao aprendizado do aluno
( ) biblioteca
( ) merenda escolar
( ) Associação de Pais e Professores
( ) uniforme escolar
( ) horário de funcionamento das séries ofertadas
( ) atendimento médico
( ) atendimento dentário
( ) acompanhamento psicológico
( ) atendimento oftalmológico
( ) ser próximo de posto de saúde
( ) outro _____

Quadro 5.1 - DADOS COLETADOS COM O QUESTIONÁRIO 1

Atributos	Descrição	Número de escolhas
1	Professores especializados	72
2	Atendimento médico	72
3	Recursos de informática disponíveis	50
4	Pátio cercado	45
5	Atendimento dentário	42
6	Salas de aula arejadas e espaçosas	41
7	Transporte escolar disponível	40
8	Merenda escolar	40
9	Ser próxima da residência	37
10	Material didático adequado ao ensino	29
11	Biblioteca	27
12	Atendimento oftalmológico	27
13	Pátio coberto	21
14	Pátio com grama	20
15	Uniforme escolar	20
16	Boas condições físicas do prédio	19
17	Associação de Pais e Professores	16
18	Ponto de ônibus próximo	15
19	Acompanhamento psicológico	14
20	Facilidade de acesso (vias de trânsito)	12
21	Ser próxima de posto de saúde	10
22	Outro (policiamento, esportes, carteirinha)	07
23	Horário de funcionamento das séries	01

Foram distribuídos 180 questionários em 5 escolas de diversas regiões da cidade, no entanto, foram preenchidos e devolvidos apenas 131 questionários.

Além disso, os pais deveriam marcar 5 alternativas quanto aos fatores julgados importantes para uma escola, porém, alguns questionários tiveram mais que 5 alternativas marcadas e outros menos que 5 alternativas marcadas.

Em seguida os itens que obtiveram maior número de escolhas foram reunidos e separados em áreas, com quatro atributos em cada grupo, conforme as figuras 5.3 e 5.4. A divisão dos grupos segue a metodologia de formarem grupos com atributos ortogonais não correlacionados (SOUZA, 1999), para permitir as análises dos efeitos principais.

O atributo “professores” engloba os atributos: professores especializados; material didático adequado ao ensino. O atributo “condições do prédio” engloba os atributos: pátio cercado; salas de aula arejadas e espaçosas; pátio coberto, pátio com grama; boas condições físicas do prédio. Os atributos “merenda escolar” e “biblioteca” são formados por apenas eles próprios. O atributo “assistência à saúde” engloba os atributos: atendimento médico; atendimento dentário; atendimento oftalmológico. O atributo “transporte escolar” engloba os atributos: transporte escolar disponível; proximidade da residência; ponto de ônibus próximo. Os atributos “uniforme escolar” e “recursos de informática” são formados por apenas eles próprios.

ÁREA 1

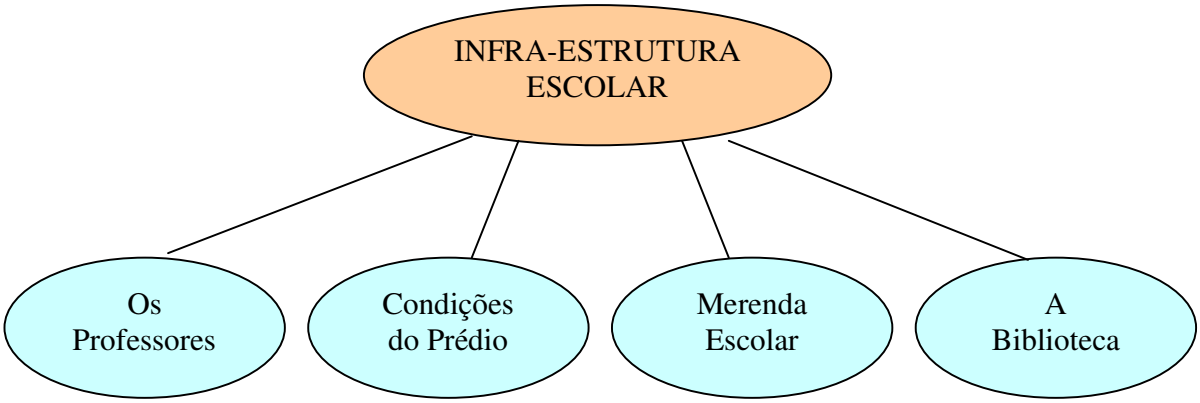


Figura 5.3 – Grupo de atributos 1 – Infra-estrutura escolar

ÁREA 2

Figura 5.4 – Grupo de atributos 2 – Serviços oferecidos

Os atributos considerados relevantes foram avaliados em cada escola, sendo atribuídas notas que variam do nível 0 até o nível 1. A especificação de cada nível é mostrada nos quadros 5.2 e 5.3 e serve para dimensionar o escopo do atributo. Embora a avaliação seja numérica reflete a relação semântica com as definições qualitativas dos conceitos.

Quadro 5.2 - QUADRO DE NÍVEIS – ÁREA 1

ATRIBUTOS	NÍVEL 0	NÍVEL 1
Professores especializados	Mais de 50% dos professores não têm formação em Magistério ou Pedagogia e contam com menos de 2 anos em sala de aula.	Possui mais de 50% dos professores com formação em Magistério e Pedagogia; os professores contam com mais de 2 anos em sala de aula; os professores contam com curso de aperfeiçoamento.
Infra-estrutura da escola	Salas abafadas, mal iluminadas e não comportam o número de alunos; pátio sem segurança; estrutura física ruim nas demais dependências da escola.	Salas arejadas, espaçosas e bem iluminadas; carteiras em boas condições; pátio cercado, plano parcialmente coberto; quadra coberta para esportes; banheiros e demais dependências em bom estado.
Merenda escolar	Em quantidade insuficiente; higiene inadequada; cardápios não nutritivos.	Em quantidade suficiente, cardápios nutritivos e variados; merenda de boa aparência, cheiro e sabor.
Biblioteca	Desatualizada, poucos exemplares, local inadequado, livros em má condições de uso.	Atualizada; número de exemplares suficientes para consultas; local adequado; prateleiras organizadas; livros em boas condições de uso.

Quadro 5.3 - QUADRO DE NÍVEIS – ÁREA 2

ATRIBUTOS	NÍVEL 0	NÍVEL 1
Assistência à saúde	Não tem atendimento médico e dentário; não tem atendente o educando; fica distante de postos de saúde.	Atendimento médico e dentário em tempo integral; enfermeira de plantão; medicamentos comuns disponíveis na escola.
Transporte escolar	Não possui vias de acesso transitáveis; não possui veículo para transporte dos alunos; não tem ponto de ônibus próximo.	Ruas asfaltadas para acesso à escola; veículo apropriado para transporte gratuito dos alunos.
Uniforme escolar	Não adota uniforme.	Adota e exige uniforme completo.
Recursos de informática	Não possui computadores para fins didáticos.	Possui laboratório de informática com tecnologia de ponta; programas didático-pedagógicos voltados para o ensino de conteúdos específicos.

A avaliação de cada estabelecimento de ensino foi feita mediante visita às escolas e análise dos quesitos já mencionados. As notas que variam de 0 a 1 são apresentadas no quadro 5.4. Os critérios de valoração levam em conta os "*trade off*" (trocas compensatórias) entre os quesitos estabelecidos em cada atributo. Por exemplo, uma escola pode ter professores especializados mas não ter transporte escolar, mesmo assim ela é preferível a outra que tenha o transporte mas não ofereça bons professores.

Quadro 5.4 - ENQUADRAMENTO DAS ESCOLAS MUNICIPAIS COM OS NÍVEIS DE ESTRUTURA FÍSICA E PEDAGÓGICA (abril/2002)

ESCOLA	ÁREA 1				ÁREA 2			
	Prof.	Infra-Est.	Merenda	Biblioteca	Saúde	Transp.	Uniforme	Informát.
1	0,7	0,6	0,9	1	0,2	0,8	0,5	1
2	0,6	0,9	0,9	1	0,2	0,8	0,8	0
3	0,5	0,8	0,9	1	0	0,7	0,8	0
4	0,7	1	0,9	1	0,4	0,7	0,8	1
5	0,6	0,6	0,9	1	0	0,7	0,8	1
6	0,5	0,8	0,8	1	0,2	0,7	0,8	1
7	0,8	0,5	0,8	0,6	0	0,7	0,8	0
8	0,5	1	0,8	1	0	0,8	0,8	1
9	0,7	0,7	0,9	0	0	0,7	0,8	0
10	0,7	0,5	0,8	0,7	0	0,8	0,5	1
11	0,5	0,6	0,8	0,5	0,2	0,5	0	1
12	0,4	0,6	0,8	1	0	0,7	0	1
13	0,5	0,8	0,9	1	0,2	0,7	0,8	0
14	0,8	1	0,9	1	0	0,8	0,8	1
15	0,8	0,6	0,8	0	0,2	0,7	0,8	0
16	0,7	0,6	0,9	1	0,2	0,6	0,5	0
17	0,7	1	0,9	0,6	0,2	0,7	0,8	1
18	0,8	0,6	0,8	0	0,2	0,7	0,8	0
19	0,5	0,8	0,9	0,7	0,2	0,7	0,8	1
20	0,7	1	0,9	1	0,2	0,7	0,8	0
21	0,5	0,5	0,9	0,6	0	0,4	0	0
22	0,4	0,7	0,8	0,6	0	0,5	0	0,5
23	0,9	1	0,9	0	0,2	0,5	0,8	0
24	0,5	0,9	0,9	1	0,2	0,7	0,8	1
25	0,7	0,6	0,8	0,6	0,2	0,7	0,8	0
26	0,6	0,8	0,9	0,6	0	0,8	0	0
27	0,7	0,7	0,8	0,6	0,4	0,7	0	1
28	0,6	0,7	0,8	0,6	0	0,8	0,8	0
29	0,4	0,7	0,8	0,6	0,2	0,7	0,8	0
30	0,8	0,9	0,9	0,6	0,2	0,7	0,8	1
31	0,8	0,7	0,9	0,6	0	0,7	0	0
32	0,7	0,8	0,9	0,6	0,2	0,7	0,8	0

O nome das escolas foi substituído por um número com a finalidade de preservar a instituição.

A Função Utilidade para as áreas infra-estrutura e serviços oferecidos é definida por uma função matemática linear relacionando cada atributo a uma variável aleatória x_i. Assim, por meio das Técnicas de Preferência Declarada, busca-se estimar os coeficientes dessa função.

Função Utilidade da Escola *i*.

$$FU_i = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 \qquad (5.1)$$

De acordo com as Técnicas de Preferência Declarada, a coleta de dados para a estimação dos parâmetros β_i é feito com base em uma metodologia de entrevistas com a utilização de um conjunto de cartões, conforme já mencionado no item 4.1.4 do capítulo IV.

O delineamento experimental utilizado, constitui-se em um ensaio fatorial fracionário 2^{4-1}, conforme consta do quadro 5.5, onde em cada coluna (A, B, C, D) são atribuídas os respectivos níveis dos atributos. Optou-se por trabalhar com um ensaio fatorial fracionário 2^{4-1}, porque este reduz o número de alternativas para 8, ao invés do fatorial completo 2^4 que apresenta 16 possíveis combinações dos níveis dos atributos, o que pode trazer dificuldade à análise dos pais frente aos cartões que representam o experimento

Cada alternativa fica definida a partir das configurações dos níveis dos atributos. A experimentação é feita pela comparação entre as alternativas sendo ordenada em razão das preferências individuais.

Quadro 5.5 - ENSAIOS FATORIAIS COM ATRIBUTOS DE 2 NÍVEIS

Alternativas	A	B	C	D
	β_1	β_2	β_3	β_4
01	0	0	0	0
02	0	0	1	1
03	0	1	0	1
04	0	1	1	0
05	1	0	0	1
06	1	0	1	0
07	1	1	0	0
08	1	1	1	1

Neste quadro, a situação boa recebe o código 1(um) e a situação ruim recebe o código 0(zero); a combinação dos níveis dos atributos em cada alternativa é feita baseada no Arranjo Ortogonal (L8) de Taguchi.

O modelo Logit tem por objetivo estimar por método de máxima verossimilhança os valores dos parâmetros β_i que melhor se ajustam ao conjunto de dados amostrados. Os procedimentos adotados estão descritos em SOUZA, 1999.

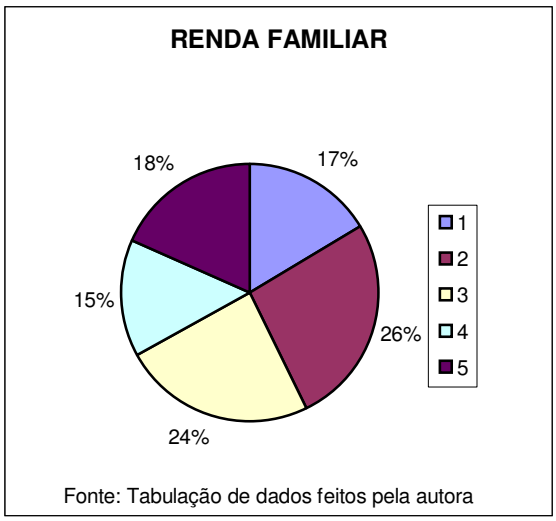
Considerando que o conjunto de alternativas ficou limitado com 6 alternativas, isso porque a alternativa 1 que representa uma situação totalmente ruim e que não seria escolhida pelos entrevistados, é retirada; da mesma forma a alternativa 8 também é descartada, pois representa a situação ideal e que provavelmente seria escolhida por todos. As alternativas restantes são apresentadas ao entrevistado em forma de cartões, e então ele deve ordená-los de acordo com sua preferência.

Nesta etapa foram entrevistados 103 pais de alunos da rede municipal de ensino, que além de ordenarem os cartões, responderam perguntas sobre renda familiar, escolaridade e bairro onde moram, mostradas nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7. A

amostra de 103 pais foi considerada suficiente pelo *software* LMPC, conforme item 5.3.1.

RENDA FAMILIAR

Classificação	Nº de entrevistados
1 (até 2 salários mínimos)	17
2 (de 2 a 4 salários)	27
3 (de 4 a 6 salários)	25
4 (de 6 a 10 salários)	15
5 (acima de 10 salários)	19

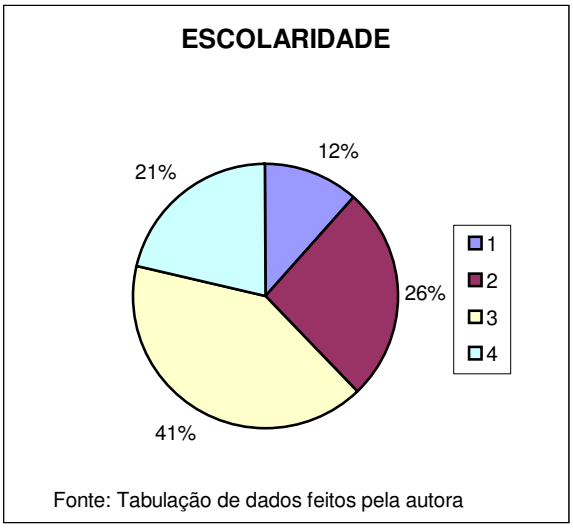


Fonte: Tabulação de dados feitos pela autora

Figura 5.5 – Resultado do levantamento feito a respeito da Renda Familiar (maio 2002).

ESCOLARIDADE

Classificação	Nº de entrevistados
1 (Ens. Fund. 1ª à 4ª série)	12
2 (Ens. Fund. 5ª à 8ª série)	27
3 Ensino Médio	42
4 Ensino Superior	22

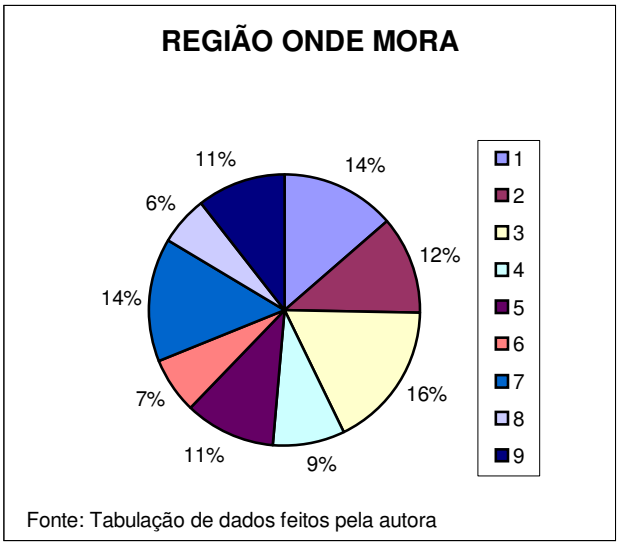


Fonte: Tabulação de dados feitos pela autora

Figura 5.6 - Resultado do levantamento feito a respeito da Escolaridade dos pais (maio 2002).

REGIÃO ONDE MORA

Regiões (compostas pelos bairros)	Nº de entrevistados
1 (Centro, Batel)	14
2 (Primavera, Industrial)	12
3 (Santa Cruz, Boqueirão, Trianon)	18
4 (Vila Carli, Bairro dos Estados, Cascavel)	9
5 (Vila Santana, Alto da XV)	11
6 (Bonsucesso, Conradinho, São Cristóvão)	7
7 (Vila Bela)	15
8 (Jardim das Américas, Alto Cascavel)	6
9 (Morro Alto)	11



Fonte: Tabulação de dados feitos pela autora

Figura 5.7 - Resultado do levantamento feito a respeito da Região onde mora (maio 2002).

Como resultado das entrevistas obteve-se as ordenações dos cartões que estão codificados de acordo com o quadro 5.5, já apresentado e são mostradas no quadro Infra-Estrutura da escola e quadro Serviços Oferecidos, no Anexo 4.

5.3 Resultados obtidos com o experimento de Preferência Declarada

Após feita a coleta dos dados para o experimento de Preferência Declarada, a estimativa dos parâmetros do modelo Logit Multinomial foi feita com o uso do *software* LMPC, que utiliza-se do algoritmo de máxima verossimilhança e Método de Newton-Raphson, para ajustar os parâmetros do Modelo Logit Multinomial, conforme anexo2.

5.3.1 Análise da consistência da amostra

De posse dos dados foi feita a análise para determinar se o dimensionamento da amostra estava adequado.

A tabela 5.1 e a figura 5.8 apresentam os resultados obtidos para o dimensionamento do experimento 1 – Dados de Infra-Estrutura, tendo como dimensionamento adequado a quantidade de 63 amostras. Considerando que foram colhidas 103 amostras, fica evidente que a quantidade amostrada é um número adequado ao experimento, ou seja os resultados mostram-se consistentes e confiáveis.

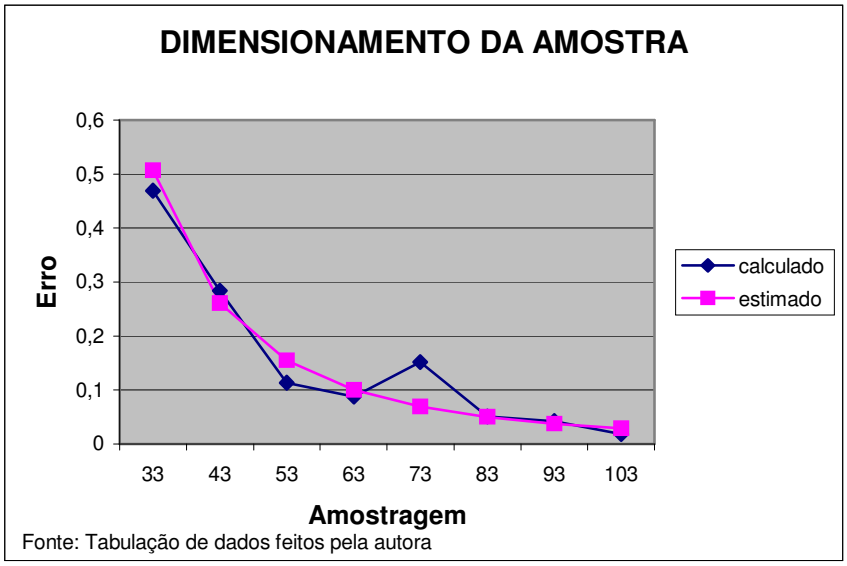
Tabela 5.1 - DADOS OBSERVADOS – INFRA-ESTRUTURA

Amostragem :	33,0	43,0	53,0	63,0	73,0	83,0	93,0	103,0
Erro - Calc.:	0,4688	0,2840	0,1138	0,0871	0,1519	0,0506	0,0424	0,0180
Erro - Esti.:	0,5072	0,2609	0,1544	0,1000	0,0691	0,0500	0,0376	0,0291

AJUSTE PELA FUNÇÃO POLINOMIAL *** φ = 0,1
Dim. (n) = 63,0 IC [59,7 ; 66,4]
Coef. Corr. = 0,99 Coef. Explicação = 0,98

À medida que vai aumentando o tamanho da amostra, o resultado tende para o valor real.

A questão é definir o número de amostra mínima que permita um erro dentro de parâmetros aceitáveis. Os parâmetros aceitáveis estão definidos no *software* LMPC e está sendo utilizado um φ = 0,1 (erro predefinido). O gráfico 5.8, a seguir, apresenta duas curvas com as indicações do erro calculado e do erro estimado, apresentando o dimensionamento de 63 entrevistas com grau de confiabilidade de 98% de que o erro existente entre o valor real e o estimado seja inferior ao parâmetro definido como φ = 0,1 (dados do *software*).



Fonte: Tabulação de dados feitos pela autora

Figura 5.8 - Dimensionamento da amostra – Infra-estrutura

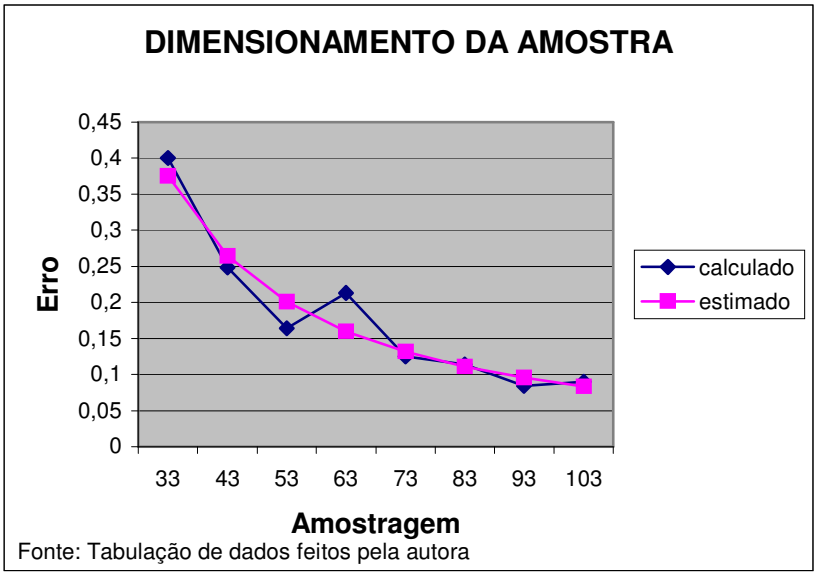
A confiabilidade é corroborada pelo alto valor do coeficiente de explicação (0,98).

A mesma situação é verificada para o experimento 2 – Serviços Oferecidos. A tabela 5.2 e a figura 5.9 apresentam dimensionamento de 90 amostras com um coeficiente de explicação de 99%. Considerando as 103 amostras, os resultados são consistentes e confiáveis.

Tabela 5.2 - DADOS OBSERVADOS – SERVIÇOS OFERECIDOS

Amostragem :	33,0	43,0	53,0	63,0	73,0	83,0	93,0	103,0
Erro - Calc.:	0,4005	0,2481	0,1640	0,2132	0,1253	0,1136	0,0841	0,0898
Erro - Esti. :	0,3750	0,2646	0,2008	0,1599	0,1317	0,1112	0,0957	0,0837

AJUSTE PELA FUNÇÃO POLINOMIAL *** $\varphi = 0,1$
Dim. (n) = 90,0 IC [88,6 ; 91,3]
Coef. Corr. = 1,00 Coef. Explicação = 0,99



Fonte: Tabulação de dados feitos pela autora

Figura 5.9 - Dimensionamento da Amostra – Serviços oferecidos

5.3.2 Estimativa dos parâmetros

Após a análise de consistência da amostragem passa-se à estimativas dos parâmetros para os experimentos 1 e 2. Os resultados obtidos constam das tabelas 5.3 e 5.4, respectivamente.

INFRA-ESTRUTURA

*** LOGIT MULTINOMIAL COM PROBABILIDADE CONDICIONAL ***
*** Método de Newton-Raphson - Ponto Máximo com (6) Iterações ***
Eficiência = 1,0000 *** QMR = 3,2062

Tabela 5.3 – Coeficientes para infra-estrutura

Atributo	Coef.	Erro	Teste t	IC.(t=2,5%)
Professores	4,3769	0,4600	9,5156	[3,457 ; 5,297]
Estrutura	3,2094	0,4528	7,0882	[2,304 ; 4,115]
Merenda	2,9790	0,4529	6,5775	[2,073 ; 3,885]
Biblioteca	3,0114	0,4526	6,6529	[2,106 ; 3,917]

Obs.: A eficiência já está incluída na Variância.

Número de Entrevistas = 103 Número de Casos = 721
F(Betas_0) = -1092,2741 F(Betas_1) = -609,6693
LR (-2[F(0)-F(B)])= 965,2095
Rho = 0,4418 Rho (Ajt) = 0,4382

SERVIÇOS OFERECIDOS

*** LOGIT MULTINOMIAL COM PROBABILIDADE CONDICIONAL ***
*** Método de Newton-Raphson - Ponto Máximo com (6) Iterações ***
Eficiência = 1,0000 *** QMR = 3,2237

Tabela 5.4 – Coeficientes para serviços oferecidos

Atributo	Coef.	Erro	Teste t	IC.(t=2,5%)
Sv Saúde	3,8072	0,4566	8,3388	[2,894 ; 4,720]
Transporte	3,2749	0,4545	7,2054	[2,366 ; 4,184]
Uniforme	2,5853	0,4539	5,6959	[1,678 ; 3,493]
Informática	3,8498	0,4570	8,4247	[2,936 ; 4,764]

Obs.: A eficiência já está incluída na Variância.

Número de Entrevistas = 103 Número de Casos = 721
F(Betas_0) = -1092,2741 F(Betas_1) = -616,5384
LR (-2[F(0)-F(B)])= 951,4714
Rho = 0,4355 Rho (Ajt) = 0,4319

Percebe-se aqui, que apesar de todos os atributos serem importantes ao estudo, pois o teste t indica valores superiores a 2 (usualmente indicado como adequado para este tipo de experimento), é possível que se faça qualquer alteração de atributos graças ao axioma apresentado no item 4.1.6.1. Outras observações são possíveis de deduzir quanto ao ótimo desempenho apresentado pelo teste *Rho* (pseudo-coeficiente de correlação) que indica um valor acima de 0,40, índice apontado como excelente, de acordo com ORTUZAR e WILLUMSEN, 1990.

Analisando os valores dos coeficientes apresentados nas tabelas 5.3 e 5.4, pode-se dizer que a população da cidade de Guarapuava dá grande importância à

qualificação dos professores (atributo que obteve o maior coeficiente da tabela 5.3, sendo 4,3769) e aos recursos de informática que a escola deve oferecer (atributo que obteve o maior coeficiente da tabela 5.4, sendo 3,8498).

De posse dos coeficientes é possível estabelecer a Função Utilidade em (5.2), que define a importância das escolas na visão dos pais.

$$FU = 4{,}37x_1 + 3{,}21x_2 + 2{,}98x_3 + 3{,}01x_4 + 3{,}81x_5 + 3{,}27x_6 + 2{,}58x_7 + 3{,}85x_8 \quad (5.2)$$

5.3.3 Importância relativa de cada escola

De posse dos dados da Função Utilidade calculou-se a Utilidade de cada escola, com base na valorização dos x_i conforme definido no quadro 5.4, obtendo os resultados descritos no quadro 5.6.

Quadro 5.6 - Função Utilidade

Escola	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FU	0,8395	0,7072	0,6236	0,9496	0,8069	0,8411	0,5787	0,8445	0,5279	0,7424	0,6222
Probabilidade de Utilidade (%)	3,6178	3,1694	2,9150	4,0389	3,5017	3,6235	2,7872	3,6360	2,6491	3,2830	2,9110

Escola	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
FU	0,6585	0,6614	0,9073	0,5587	0,6157	0,8649	0,5587	0,8175	0,7205	0,3875	0,4958
Probabilidade de Utilidade (%)	3,0186	3,0275	3,8714	2,7319	2,8921	3,7107	2,7319	3,5391	3,2117	2,3022	2,5655

Escola	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
FU	0,6047	0,8652	0,6120	0,5072	0,7509	0,5859	0,5734	0,8694	0,5125	0,6486
Probabilidade de Utilidade (%)	2,8607	3,7119	2,8815	2,5948	3,3108	2,8072	2,7723	3,7276	2,6086	2,99

O processo de escolha no conjunto generalizado é definido pelo conjunto dos conjuntos de escolha e corresponde à probabilidade condicional da escolha

de uma alternativa. O modelo do conjunto de escolha probabilístico de um pai escolher a escola *i* foi definida pela equação 5.3 a seguir.

$$P(i) = \frac{e^{FU(i)}}{\sum_{j=1}^{32} e^{FU(j)}} \qquad (5.3)$$

5.4 Obtenção dos dados para a previsão do número de alunos em 2003

Conforme já mencionado diversas vezes, o trabalho aqui apresentado busca otimizar a alocação dos alunos da rede municipal de ensino, nas escolas, de acordo com o valor de sua utilidade perante a comunidade e de acordo com o seu espaço físico, isto é, o número de salas de aula e a capacidade de cada uma.

Para isso foi necessário um levantamento junto à Secretaria Municipal de Educação e Cultura de dados quantitativos dos últimos 3 anos, ou seja, os anos de 2000, 2001 e 2002, bem como a capacidade total e atual da escola, buscando com isso estimar o número de alunos que deverão ser realocados nos 32 estabelecimentos envolvidos na pesquisa para o ano de 2003. Estes dados são apresentados nos quadros 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10.

Quadro 5.7 – Número de alunos por série/escola em 2000

ESCOLA	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	4ª SÉRIE	TOTAL
1	104	95	103	119	421
2	112	138	111	112	473
3	61	73	74	78	286
4	193	178	214	232	817
5	96	91	88	89	364
6	58	58	55	62	233
7	94	83	79	70	326
8	109	115	96	125	445
9	190	14	153	170	667
10	136	126	126	140	528
11	165	108	89	68	430
12	120	105	110	100	435
13	89	95	72	69	325
14	161	162	139	172	634
15	61	63	67	74	265
16	121	92	104	90	407
17	105	116	129	148	498
18	76	64	65	69	274
19	174	145	137	113	569
20	87	90	82	82	341
21					
22	57	54	32	47	190
23	39	87	73	91	290
24	140	107	128	132	507
25	157	174	156	116	603
26	185	175	145	165	670
27	88	74	63	60	285
28	95	84	91	96	366
29	211	185	176	183	755
30	43	32	29	30	134
31	150	127	123	101	501
32	71	61	62	67	261
TOTAL	3548	3311	3171	3270	13300

A escola 21 foi inaugurada somente em 2001.

Quadro 5.8 – Número de alunos por série/escola em 2001

ESCOLA	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	4ª SÉRIE	TOTAL
1	103	102	117	103	425
2	145	134	104	131	514
3	61	61	69	74	265
4	163	214	251	173	801
5	112	101	102	98	413
6	66	60	68	50	244
7	104	91	73	66	334
8	88	87	107	107	389
9	203	163	184	144	694
10	125	115	125	126	491
11	138	122	106	62	428
12	94	123	96	93	406
13	115	88	81	71	355
14	168	152	179	151	650
15	58	63	70	72	263
16	117	119	124	105	465
17	46	65	64	66	241
18	65	54	68	68	255
19	205	156	136	101	598
20	110	110	121	74	415
21	112	84	55	36	287
22	49	36	52	35	172
23	59	75	91	86	311
24	136	118	134	86	474
25	182	161	136	93	572
26	159	167	172	125	623
27	94	78	69	56	297
28	85	84	85	72	326
29	185	188	186	145	704
30	29	27	30	21	107
31	156	133	118	89	496
32	80	66	54	62	262
TOTAL	3612	3397	3427	2841	13277

Quadro 5.9 – Número de alunos por série/escola em 2002

ESCOLA	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	4ª SÉRIE	TOTAL
1	85	117	87	114	403
2	106	119	109	107	441
3	62	74	75	77	288
4	176	225	172	235	808
5	93	127	91	100	411
6	47	57	40	54	198
7	97	106	76	74	353
8	90	122	103	106	421
9	117	162	117	130	526
10	121	144	111	120	496
11	117	159	71	91	438
12	81	89	72	104	346
13	92	99	74	70	335
14	145	159	149	145	598
15	55	71	51	73	250
16	112	109	74	99	394
17	105	107	104	129	445
18	83	91	54	63	291
19	121	157	104	111	493
20	92	94	75	85	346
21	103	130	69	65	367
22	60	53	47	31	191
23	82	70	66	79	297
24	130	147	93	117	487
25	122	174	149	137	582
26	11	167	122	116	521
27	57	82	59	64	262
28	75	96	60	70	301
29	187	268	161	206	822
30	31	32	23	29	115
31	114	128	109	114	465
32	60	52	52	50	214
TOTAL	3134	3787	2819	3165	12905

Quadro 5.10 – Capacidade atual das escolas

Escola	Número de turmas	Capacidade 1ª série	Capacidade 2ª série	Capacidade 3ª série	Capacidade 4ª série	Capacidade Total
1	16	120	120	120	120	480
2	19	180	150	120	120	570
3	8	60	60	60	60	240
4	26	210	210	180	180	780
5	14	120	120	90	90	420
6	10	90	90	60	60	300
7	10	90	90	60	60	300
8	14	120	120	90	90	420
9	21	180	150	150	150	630
10	17	150	120	120	120	510
11	15	150	120	90	90	450
12	14	120	120	90	90	420
13	10	90	90	60	60	300
14	19	180	150	120	120	570
15	9	90	60	60	60	270
16	19	180	150	120	120	570
17	21	180	150	150	150	630
18	11	120	90	60	60	210
19	17	150	120	120	120	510
20	14	120	120	90	90	420
21	11	120	90	60	60	330
22	10	90	90	60	60	300
23	11	120	90	60	60	330
24	18	150	150	120	120	540
25	17	150	120	120	120	510
26	23	210	180	150	150	690
27	11	120	90	60	60	330
28	15	150	120	90	90	450
29	24	180	180	180	180	720
30	5	60	30	30	30	150
31	18	150	150	120	120	540
32	10	90	90	60	60	300

Adotou-se, então, um processo estatístico com a finalidade de estimar o número de alunos a serem matriculados no ano (*a + 1*), tomando por base as situações efetivadas no ano atual (*a*) e nos anos anteriores(*a – 1, a – 2*).

A formulação do modelo segue a metodologia descrita por KMENTA (1978 – p. 552), HOFFMANN e VIEIRA(1988 – p. 109) e CUTHBERTSON, HAL e

TAYLOR (1992 – p. 83) levando em consideração a defasagem de até 3 anos, conforme apresentado a seguir.

Formulação Geral do Modelo Preditivo (Uso de Regressão Múltipla):

$$Y_{a+1} = \alpha_1 Y_a + \alpha_2 Y_{a-1} + \alpha_3 Y_{a-2} + \alpha_4 T_a$$

onde: α_i = coeficiente a ser estimado

Y_a = número de alunos matriculados na série anterior do ano a, respectivamente

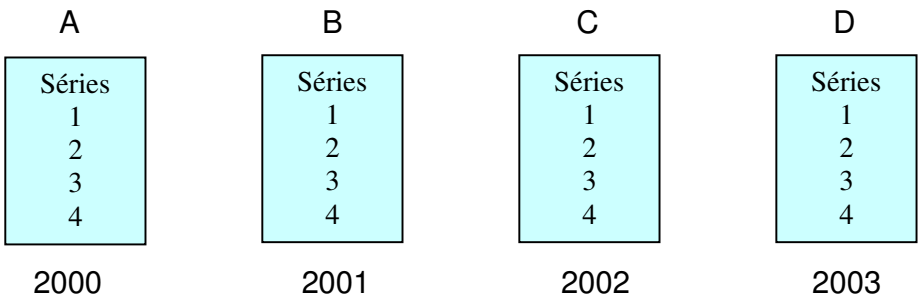
Y_{a-i} = número de alunos matriculados na série no ano *i* anterior

T_a = total de alunos da escola no ano a

O modelo foi construído utilizando-se do *software* Excel na função "tendência" para estimação dos parâmetros. Conforme as especificações, foram excluídos os termos cujos parâmetros mostraram-se não significativos.

As estimativas são dadas considerando os vários fatores que influenciam no número de alunos previstos para determinada série na escola *i*.

A figura 5.10, abaixo, esclarece isso de forma ilustrativa.



Para a 1ª série pode-se dizer que:

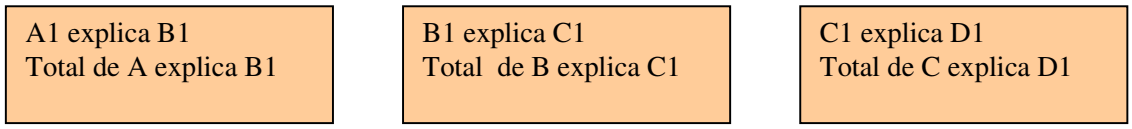


Figura 5.10 – Fatores explicativos do número de alunos da 1ª série

Para as demais séries tem-se a figura 5.11.

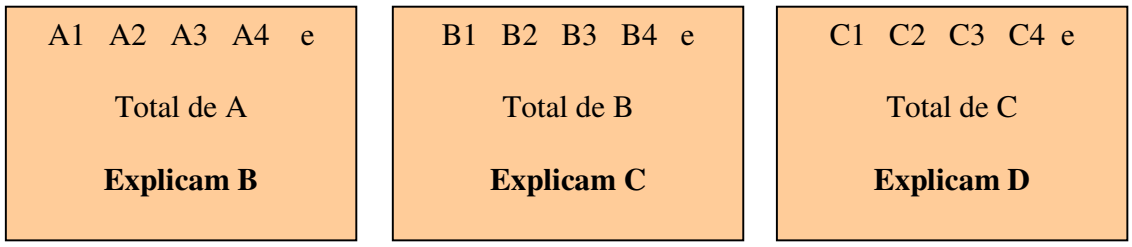


Figura 5.11 – Fatores explicativos do número de alunos das demais séries

Os resultados obtidos com o processo de estimação, realizado com a utilização do *software* Excel, encontra-se no quadro 5.11 (ajuste dos dados para o ano *a+1*).

Quadro 5.11 – Número de alunos por série/escola previstos para 2003

ESCOLA	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	4ª SÉRIE	TOTAL
1	87	109	100	101	397
2	115	112	101	113	441
3	64	71	76	77	288
4	174	230	201	195	800
5	101	122	106	101	430
6	49	52	46	44	191
7	103	105	81	72	361
8	88	109	113	104	414
9	123	135	132	112	502
10	121	134	120	114	489
11	114	144	94	77	429
12	76	87	68	89	320
13	101	93	79	70	343
14	150	149	160	139	598
15	56	68	57	66	247
16	113	112	87	89	401
17	94	103	93	109	399
18	84	90	68	60	302
19	130	134	111	96	471
20	99	97	86	73	355
21	105	140	78	73	396
22	61	49	55	32	197
23	92	80	70	74	316
24	133	142	112	93	480
25	133	153	145	125	556
26	113	144	132	101	490
27	60	70	63	59	252
28	74	88	67	58	287
29	190	259	195	185	829
30	28	29	25	24	106
31	118	116	109	103	446
32	62	50	47	49	208
TOTAL	3211	3576	3077	2877	12741

5.5 Designação dos alunos para as escolas

Esta etapa do trabalho reúne os dados anteriores, designando a população de 12.741 alunos previstos para o ano letivo de 2003, para as 32 escolas envolvidas no estudo. Para isso foi formulado o modelo de designação descrito a seguir.

Maximizar $Z = \sum_{i=1}^{32}\sum_{j=1}^{4} u_i x_{ij}$ (5.4)

sujeito a $\sum_i x_{ij} = \sum_i d_{ij}$ *j = 1,...,4* (5.5)

$x_{ij} \leq c_{ij}$ (5.6)

$x_{ij} \geq 0{,}70 c_{ij}$ (5.7)

$x_{ij} \geq 0$ *e inteiras* (5.8)

Seja u_i o valor da utilidade de cada escola *i* e x_{ij} (valor que se quer calcular) representa o número de alunos a serem designados para a escola *i*, com *i* variando de 1,2,...,32; na série *j*, com *j* variando de 1,2,...,4. Deseja-se então alocar os alunos na escola *i*, na série *j,* dando importância para o valor de u_i, conforme equação (5.4).

A primeira restrição (5.5), garante que o total de alunos designados atenda a toda a demanda existente. A restrição (5.6), garante que o número de alunos designados para a escola *i*, na série j, não ultrapasse a capacidade da escola *i* para a série *j.* Pela restrição (5.7) percebe-se que as turmas poderão ter uma sobra de vagas de no máximo 30% da capacidade, ou seja o número de alunos designados deve atender a pelo menos 70% da capacidade da escola para determinada série. A restrição (5.8) impõe que a variável x_{ij} seja inteira e não negativa.

O modelo foi implementado com o uso do *software LINGO (Language for Interactive General Optimizer)*, cujo funcionamento é explicado no Anexo 5.

5.5.1 Resultados obtidos com o modelo de designação

O *software LINGO* chegou ao resultado após 103 interações, trabalhando com as 128 variáveis envolvidas, chegando ao valor de 39697 para a função objetivo. O modelo escrito de acordo com a linguagem do *software* é mostrado no Anexo 6 e os valores para x_{ij} são mostrados no quadro 5.12. Os valores da coluna "Utilidade" são os apresentados no quadro 5.6; os valores da coluna "Demanda" estão no quadro 5.11 e os da "Capacidade" estão no quadro 5.10.

Quadro 5.12 – Resultados obtidos com a aplicação do *software* LINGO

Esc.	Utilidade	Turmas possíveis	Demanda (série)				Capacidade (série)				Xij (série)				Turmas feitas	Salas vagas	Região
			1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª			
1	3.6178	16	87	109	100	101	120	120	120	120	84	120	120	120	15	1	2
2	3.1694	19	115	112	101	113	180	150	120	120	126	150	120	120	18	1	5
3	2.9150	8	64	71	76	77	60	60	60	60	42	60	60	60	8	-	1
4	4.0389	26	174	230	201	195	210	210	180	180	210	210	180	180	26	-	7
5	3.5017	14	101	122	106	101	120	120	90	90	84	120	90	90	13	1	4
6	3.6235	10	49	52	46	44	90	90	60	60	63	90	60	60	10	-	3
7	2.7872	10	103	105	81	72	90	90	60	60	63	90	60	60	10	-	4
8	3.6360	14	88	109	113	104	120	120	90	90	84	120	90	90	13	1	4
9	2.6491	21	123	135	132	112	180	150	150	150	126	105	150	105	18	3	7
10	3.2830	17	121	134	120	114	150	120	120	120	105	120	120	120	16	1	9
11	2.9110	15	114	144	94	77	150	120	90	90	105	120	90	90	14	1	3
12	3.0186	14	76	87	68	89	120	120	90	90	84	120	90	90	13	1	9
13	3.0275	10	101	93	79	70	90	90	60	60	63	90	60	60	10	-	5
14	3.8714	19	150	149	160	139	180	150	120	120	180	150	120	120	19	-	3
15	2.7319	9	56	68	57	66	90	60	60	60	63	54	60	42	9	-	6
16	2.8921	19	113	112	87	89	180	150	120	120	126	150	120	120	18	1	2
17	3.7107	21	94	103	93	109	180	150	150	150	154	150	150	150	21	-	1
18	2.7319	11	84	90	68	60	120	90	60	60	84	90	60	42	10	1	6
19	3.5391	17	130	134	111	96	150	120	120	120	105	120	120	120	16	1	8
20	3.2117	14	99	97	86	73	120	120	90	90	84	120	90	90	13	1	2
21	2.3022	11	105	140	78	73	120	90	60	60	84	63	42	42	10	1	3
22	2.5655	10	61	49	55	32	90	90	60	60	63	63	42	42	10	-	6
23	2.8607	11	92	80	70	74	120	90	60	60	84	90	60	60	10	1	5
24	3.7119	18	133	142	112	93	150	150	120	120	150	150	120	120	18	-	8
25	2.8815	17	133	153	145	125	150	120	120	120	105	120	120	120	16	1	6
26	2.5948	23	113	144	132	101	210	180	150	150	147	126	143	105	19	4	3
27	3.3108	11	60	70	63	59	120	90	60	60	84	90	60	60	10	1	7
28	2.8072	15	74	88	67	58	150	120	90	90	105	120	90	90	14	1	3
29	2.7723	24	190	259	195	185	180	180	180	180	126	180	180	135	22	2	2
30	3.7276	5	28	29	25	24	60	30	30	30	60	30	30	30	5	-	4
31	2.6086	18	118	116	109	103	150	150	120	120	105	105	120	84	15	3	6
32	2.99	10	62	50	47	49	90	90	60	60	63	90	60	60	10	-	1

O Problema de Transporte, aqui desenvolvido, com o uso do software LINGO, poderia ser resolvido através de uma heurística, onde as escolas são ordenadas em ordem decrescente de sua utilidade e em seguida aloca-se os alunos da pior escola para a melhor pelo mínimo exigido (70%); se ainda houver sobra de alunos, aloca-se o restante da melhor escola para a pior pelo máximo da capacidade.

5.5.2 Análise dos resultados

De acordo com o quadro (5.12), percebe-se que a escola 4 obteve o melhor valor para a utilidade, razão pela qual o programa alocou o maior número possível de alunos nesse estabelecimento, o qual deverá trabalhar com sua capacidade máxima. O mesmo ocorre com as escolas 14, 24 e 30.

As escolas 9, 21, 22, 26 e 31 devem receber atenção especial do poder público no sentido de melhorias dos atributos aqui considerados, uma vez que apresentaram valores baixos para a utilidade.

No quadro 5.5.1 percebe-se que a demanda total existente foi completamente atendida, e as escolas que apresentaram demanda superior a sua capacidade tiveram seus alunos excedentes remanejados para escolas que mostravam ociosidade, tornando-as mais homogêneas no número de estudantes.

Com relação a espaço ocioso, alguns estabelecimentos, mesmo após a redistribuição dos alunos, ainda apresentaram salas de aula disponíveis, as quais podem ser usadas pelo poder público para implementação de novos projetos alternativos e ainda para o funcionamento daqueles já existentes, mas que funcionam em locais alugados ou cedidos por terceiros. Este é o caso das seguintes regiões: as regiões 2 e 6 apresentam 5 salas disponíveis cada uma; a região 3 conta com 7 salas; a região 7 dispõe de 4 salas; as regiões 4, 5 e 9

dispõem de 2 salas cada uma; e a região 8 apresenta 1 sala ociosa. Portanto, com exceção da região 1, todas as demais têm condições físicas de oferecerem à comunidade escolar, atividades extra-curriculares que contribuiriam para uma formação pessoal e social mais eficiente.

As conclusões do trabalho são apresentadas no capítulo VI a seguir.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

6.1 Conclusões

Pesquisas na área de planejamento escolar destinam-se a avaliar e interpretar cientificamente, todas as atividades desenvolvidas e que possam vir a ser concretizadas no âmbito de sistemas educacionais. Dessa forma a área educacional deve ser objeto de uma avaliação contínua, considerando aspectos pedagógicos, sociológicos, administrativos, culturais e financeiros (BASTOS, 1994).

Em Educação, pela própria natureza da área, existem grandes dificuldades para a determinação, definição e mensuração de padrões de níveis de serviços e de propostas de soluções para problemas enfrentados. Inovações no sistema devem existir desde que garantam o direito à educação a todos, com acessibilidade à escola e igualdade de oportunidades. Para isso a escola deve ser dinâmica, inserida efetivamente no contexto social e participante ativa dele. Essa inserção se dá pela troca de experiências entre escola e comunidade proporcionando a todos a oportunidade de formar um sistema escolar centrado nas necessidades atuais dos cidadãos.

O planejamento da rede escolar não deve se preocupar, exclusivamente, com o local ideal para se construir uma escola, com os estabelecimentos que devem ser ampliados, com a capacidade de atender a demanda existente, mas associar a todos esse fatores, que são importantes, sem dúvida, a qualidade dos serviços que a escola oferece. Associar a preocupação com a qualidade na área educacional, aqui representada pelo valor calculado da utilidade de cada

estabelecimento envolvido neste estudo, é um passo para a melhoria no planejamento da rede escolar.

O modelo de transporte utilizado apresentou de acordo com o quadro 5.12, bons resultados quanto à alocação dos alunos nos variados estabelecimentos de ensino, atendendo a toda a demanda sem causar superlotação das escolas, principalmente as que foram melhores conceituadas em sua utilidade; mostrando ainda uma “sobra” de espaço que poderá atender às necessidades da população no que diz respeito a atividades extra-curriculares para a construção do espírito de cidadania das crianças.

Dessa forma, o trabalho mostrou-se significativo e capaz de atender aos objetivos propostos no início sendo capaz de apresentar soluções para o problema observado.

A rede municipal de ensino da cidade de Guarapuava tem condições de atender a toda a sua clientela com qualidade, bastando uma distribuição dos alunos de forma mais adequada à capacidade dos estabelecimentos; as escolas tiveram seus atributos relevantes avaliados nesta pesquisa de acordo a técnica de preferência declarada baseada em respostas individuais a respeito da preferência de atributos dentro de um conjunto de opções, de forma a estimar as respectivas funções utilidade. Portanto, as mesmas poderão sofrer alguns ajustes que as tornarão mais homogêneas quanto a qualidade de sua estrutura, seja física, pedagógica e assistencial.

Uma vez que as escolas tenham igual qualidade em seus serviços, elas atrairão toda a clientela residente nas suas imediações, o que dispensaria longos caminhos a serem percorridos pelos alunos para estudar em uma escola “melhor” e distante.

6.2 Sugestões para futuros trabalhos

Com o objetivo de ajudar àqueles que desejam ingressar no campo dos trabalhos científicos e de pesquisa relacionados ao assunto da dissertação, são postas aqui as seguintes sugestões para futuros trabalhos.

- Incluir outros atributos no experimento de preferência declarada para estudar a influência dos mesmos, na opinião dos pais.

- Trabalhar as técnicas aqui apresentadas, também com um grupo de professores e de técnicos administrativos para tecer comparativos entre o que cada classe busca no setor escolar.

- Integração com a rede estadual de ensino, gerando um sistema educacional melhor para atendimento das comunidades.

- Na busca por melhorias nas mais diversas áreas sociais que afetam a vida do ser humano, as técnicas utilizadas podem ainda, ser adaptadas para a área de saúde e de segurança, buscando o número e a qualidade de postos de saúde, hospitais e postos policiais necessários e que teriam a anuência da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACKOFF, R.L.; SASIENI, M.W. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1971.

2. ANTUNES, A; PEETERS, D. **A dynamic optimization model for school network planning**. Universidade de Coimbra: Departamento de Engenharia Civil, Portugal, 2000.

3. ARANTES, C.O. **Planejamento da rede escolar**. Brasília: Ministério da Educação, Centro de Desenvolvimento e Apoio Técnico à Educação, 1986. Relatório Técnico.

4. BASTOS, L.C. **Planejamento da rede escolar:** uma abordagem utilizando preferência declarada. Florianópolis, 1994. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

5. BEN-AKIVA, M; LERMAN, S.R. **Discrete Choice Analysis:** theory and application to travel demand. New Jersey, Mit Press, 1985.

6. CABRAL, E.C. **A influência da interação professor-aluno no processo ensino-aprendizagem.** São Paulo, 1987. 195 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Departamento de Educação, Universidade Estadual de Campinas.

7. **Cadernos da TV Escola**. Secretaria da Educação e do Desporto, Secretaria de Educação à Distância. Escola Hoje, Brasília, DF, 1996.

8. CHAGAS, M.F. **Repetência Escolar X Sucesso na Escola.** Guarapuava, 1998. 87 f. Monografia (Especialização em Psicopedagogia) – Departamento de Educação, Universidade Estadual do Centro-Oeste.

9. CORRÊA, E.S. **Algoritmos genéticos e busca tabu aplicado ao problema das p-medianas.** Curitiba, 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Departamento de Matemática e Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

10. CUTHBERTSON, K; HAL, S.G.; TAYLOR, M.P. **Applied econometric techniques.** New York, Harvester Whcatsheaf, 1992.

11. ESTATUTO DO MAGISTÉRIO. Prefeitura Municipal de Guarapuava, 1998.

12. FERGUNSON, C.E. **Microeconomia.** Rio de Janeiro, Forense Universitária, 1976.

13. FREITAS, A.A.F. **Modelagem comportamental dos decisores através de técnicas de preferência declarada:** uma aplicação no setor imobiliário de Florianópolis. Florianópolis, 1995. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

14. GONÇALVES, J.C.L. **Aplicação do algoritmo Promethee em um problema de decisão multiobjetiva.** Curitiba, 2001. 78 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná.

15. HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de Regressão.** 3. ed. São Paulo, Hucitec, 1988.

16. KMENTA, J. **Elementos de Econometria.** São Paulo, Atlas, 1978.

17. KOENIGSBERG, E. Mathematical analysis applied to school attendance areas. **Journal of Socio-Economic Planning**, New Orleans, v. 1, n. 43, 1968. p. 465-475.

18. KRUGER, N. **Guarapuava:** seu território, sua gente, seus caminhos, sua história. [Curitiba]: Fd. Santos Lima, 1999.

19. LEE, S.M.; MOORE, L.J. **Multi-criteria school busing models.** Management Science, St. Louis, v. 23, n. 7, 1977. p. 703-715.

20. LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO. Câmara Municipal de Guarapuava, 1990.

21. LIGGET, R.S. **The application of an implicit enumeration algorithm to the school desegregation problem.** Management Science, St. Louis, v. 20, n. 2, 1973. p. 159-168.

22. LOBO, D.S. **Localização de unidades de Educação Infantil:** uma aplicação par creches municipais de Florianópolis. Florianópolis, 1998. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

23. LOPES, M.C.; SCHOEFFEL, P. **Um método de alocação para o problema de reservas de sala de aula**. II Congresso Brasileiro de Computação. Blumenau, SC, 2002.

24. Manual do LINGO. **LINDO Systems, Inc.** N. Dayton, Chicago, Illinois. Outubro, 1999.

25. MARCONDES, G.G. **Guarapuava:** história de luta e trabalho. Guarapuava: Gráfica da Unicentro, 1998.

26. MOLINERO, C.M. **Schools in Southampton:** a quantitative approach to school location, closure and staffing. Journal of the Operational Research. London, v. 39, n. 4, 1988. p. 339-350.

27. NOVAES, A.G. Técnicas de Preferência Declarada. **Notas de aula.** Florianópolis, PPGEP/UFSC, 1995.

28. ORTUZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modeling transport.** John Wiley & Sons. England, 1990.

29. PIZZOLATO, N.D.; SILVA, H.B.F. Proposta metodológica de localização de escolas – estudo do caso de Nova Iguaçu. **Pesquisa Operacional**, v. 14. n. 2, Rio de Janeiro, 1992.

30. PIZZOLATO, N.D.; PUCCINI, A.L.; COELHO, J.D. **Avaliação da localização de escolas públicas com uso do SIG.** Rio de Janeiro: UFF – Programa de Mestrado em Engenharia Civil, 1999.

31. SAMPAIO, M.E.C.S. **Aplicação de metaheurísticas ao problema de localização de escolas de ensino fundamental.** Curitiba, 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná.

32. Secretaria Estadual de Turismo. **Catálogo turístico.** Curitiba, 1998.

33. SOUZA, O.A. **Delineamento experimental em ensaios fatoriais utilizados em técnicas de preferência declarada.** Florianópolis, 1999. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

34. VIEIRA, H.F. **Uma visão empresarial do processo de exportação de produtos conteinerizados catarinenses.** Florianópolis, 1996. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

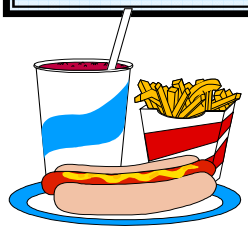
35. ZIONTS, S. **Linear and Integer Programming.** New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1974.

ANEXO 1

CARTÕES USADOS PARA EXPERIMENTO DE PREFERÊNCIA DECLARADA
Grupo 1 – Infra-Estrutura Escolar

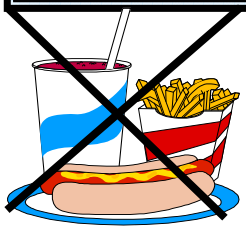
Infra Estrutura Escolar

M

Os Professores	Condições do prédio	Merenda Escolar	A Biblioteca
			
Poucos são especializados	Com boas instalações	De boa qualidade	Desatualizada Poucos livros

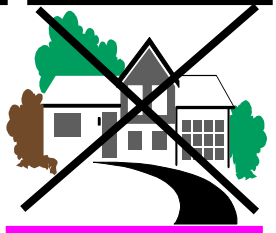
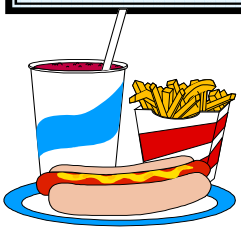
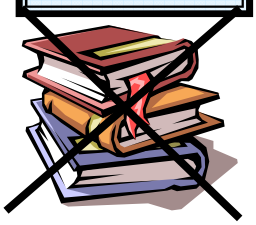
Infra Estrutura Escolar

O

Os Professores	Condições do prédio	Merenda Escolar	A Biblioteca
			
Todos são especializados	Sala abafada, mal iluminada	Cardápios inadequados	Atualizada e organizada

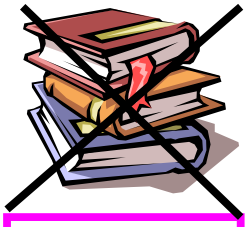
Infra Estrutura Escolar

B

Os Professores	Condições do prédio	Merenda Escolar	A Biblioteca
			
Todos são especializados	Sala abafada, mal iluminada	De boa qualidade	Desatualizada Poucos livros

Infra Estrutura Escolar

L

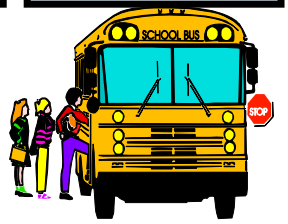
Os Professores	Condições do prédio	Merenda Escolar	A Biblioteca
			
Todos são especializados	Com boas instalações	Cardápios inadequados	Desatualizada Poucos livros

Grupo 2 – Serviços Oferecidos

Serviços Oferecidos — **A**

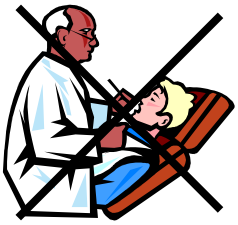
Assistência à saúde	Transporte escolar	Uniforme escolar	Recursos Informática
Sem atendimento médico e dentário	Não oferta transporte, ponto de ônibus distante	Adota uniforme completo	Tem computadores para uso dos alunos

Serviços Oferecidos — **C**

Assistência à saúde	Transporte escolar	Uniforme escolar	Recursos Informática
			
Sem atendimento médico e dentário	Oferta transporte, ruas asfaltadas p/ acesso à escola	Não adota uniforme	Tem computadores para uso dos alunos

Serviços Oferecidos

K

Assistência à saúde	Transporte escolar	Uniforme escolar	Recursos Informática
			
Sem atendimento médico e dentário	Oferta transpor-te, ruas asfaltadas p/ acesso à escola	Adota uniforme completo	Não tem computadores p/ fins didáticos

Serviços Oferecidos

R

Assistência à saúde	Transporte escolar	Uniforme escolar	Recursos Informática
Oferece atendimento médico/dentário	Não oferta transporte, ponto de ônibus distante	Não adota uniforme	Tem computadores p/ uso dos alunos

Serviços Oferecidos

V

Assistência à saúde	Transporte escolar	Uniforme escolar	Recursos Informática
Oferece atendimento médico/dentário	Não oferta transporte, ponto de ônibus distante	Adota uniforme completo	Não tem computadores p/ fins didáticos

Serviços Oferecidos

Z

Assistência à saúde	Transporte escolar	Uniforme escolar	Recursos Informática
Oferece atendimento médico/dentário	Oferta transporte, ruas asfaltadas p/ acesso à escola	Não adota uniforme	Não tem computadores p/ fins didáticos

ANEXO 2
LOGIT MULTINOMINAL COM PROBABILIDADE CONCICIONAL (LMPC)

1. Introdução

Este anexo apresenta as descrições do *Software* denominado LMPC, desenvolvido por SOUZA (1999), na sua tese de doutorado em Engenharia de Produção, na Universidade Federal de Santa Catarina.

O *software* foi desenvolvido em linguagem Pascal com o *Software Borland Delphi 4.0* licenciado à Universidade Estadual do Centro-Oeste.

2. Descrição do *Software* LMPC

2.1 Objetivos do s*oftware*

O desenvolvimento do referido *software* surgiu com o intuito de minimizar as dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores que se utilizam dos métodos de preferência declarada associadas ao Modelo Logit Multinomial para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas com *marketing*, transporte e logística, no que se refere a pouca disponibilidade de *softwares* especializados. Parte dessa dificuldade estaria relacionada com os altos custos de aquisição dos *softwares* disponíveis no mercado mundial.

2.2 Características do *software*

O *software* fornece apoio computacional no desenvolvimento de uma pesquisa de preferência declarada associada ao modelo Logit Multinomial, na fase da estimativa dos parâmetros e análise dos resultados. Sua fundamentação matemática é apresentada em SOUZA (1999).

O *software* realiza os seguintes cálculos:

a) calcula as estimativas dos parâmetros para o modelo Logit Multinomial usando o Método do Algoritmo de Newton-Raphson, com busca unidirecional por secção áurea;
b) calcula as estimativas dos parâmetros para o modelo Logit Multinomial com Probabilidade Condicional (LMPC); usando o Método do Algoritmo de Newton-Raphson, com busca unidirecional por secção áurea;
c) identifica os dados discrepantes;
d) determina o dimensionamento da amostra e a convergência assintótica dos parâmetros;
e) executa o teste de Bartley para heterocedasticidade intra-alternativa e teste de Box, Hunter e Hunter para identificar a transformação indicada;
f) executa os testes estatísticos:
    - teste do Ponto Crítico;
    - teste da Razão de Verossimilhança;
    - pseudo Coeficiente de Determinação;
    - teste "t" e Intervalos de Confiança;
    - teste "t" para comparação entre os valores de utilidade de duas alternativas;
    - teste de Hausman-McFadden e McFadden-Train-Tye para comparação entre duas estimativas;
    - elasticidade direta e cruzada.

2.3 Público alvo do *software*

Inicialmente este *software* foi desenvolvido para atender as peculiaridades da pesquisa de doutorado, mas devido às dificuldades citadas anteriormente e aliadas à sua simplicidade de utilização, eficiência e incorporação de testes e inovações científicas desenvolvidas na tese, vem tornando-se um instrumento de pesquisa científica no curso de pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSC. A sua utilização pode ser expandida, além dos órgãos públicos de pesquisa científica para empresas privadas de consultorias, cooperativas e institutos particulares de pesquisas.

ANEXO 3

EXEMPLO DE EXPERIMENTO DE PREFERÊNCIA DECLARADA E O USO DO LMPC (consta do *Help* do *software*)

1. Objetivo e estruturação da pesquisa

Seja o exemplo seguinte onde um pesquisador deseja estabelecer o valor que os usuários de uma rodovia estariam dispostos a pagar em função de melhorias efetuadas que resultassem em diminuição do tempo de viagem e/ou do tempo de atraso, devidos a congestionamentos ou condições da pista de rolagem, desejando-se, medir o valor do tempo de viagem e o valor do tempo de atraso.

Foram identificadas as alternativas possíveis resultantes da combinação do valor do pedágio com as respectivas reduções de tempo de viagem e de atraso:

Alternativas	Valor do Pedágio R$	Tempo de Viagem (minutos)	Tempo de Atraso (minutos)
A	0,50	45	10
B	0,50	30	20
C	1,00	30	10
D	1,00	20	20
E	1,00	45	5
F	2,00	30	5
G	2,00	20	10

A pesquisa consiste na apresentação de um conjunto de alternativas ao entrevistado onde é solicitado para que as ordene de acordo com sua opinião. As estimativas de parâmetros através do Modelo Logit Multinomial é resultante desse processo de ordenamento. Por questões técnicas, reduziu-se o número de 7 alternativas para 4, a serem apresentadas aos entrevistados. Foram formados 7 conjuntos de escolhas constituídos de 4 alternativas cada, que foram submetidos ao processo de entrevistas:

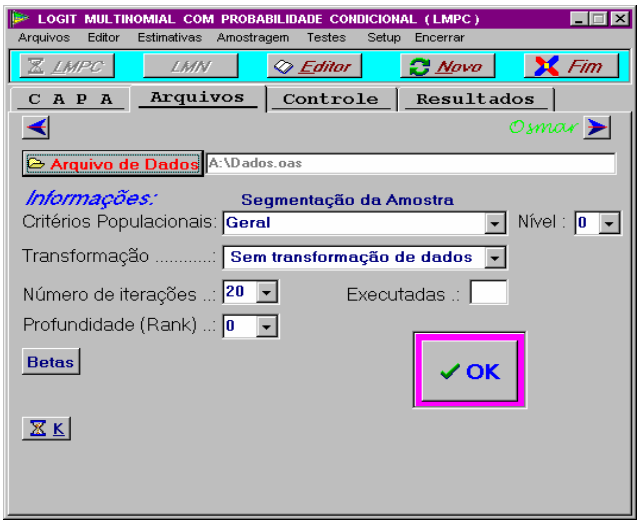
Conjunto	A	B	C	D	E	F	G	Alternativas
01				x	x	x	x	D – E – F – G
02		x	x			x	x	B – C – F – G
03		x	x	x	x			B – C – D – E
04	X		x		x		x	A – C – E – G
05	X		x	x		x		A – C – D – F
06	X	x			x	x		A – B – E – F
07	X	x		x			x	A – B – D – G

Para esse exemplo, realizou-se 203 simulações de entrevistas. De posse dos dados de estruturação e dos dados da entrevista, construiu-se o arquivo de dados: *Dados.oas* (gravado em disquete).

2. Utilização do *Software* LMPC

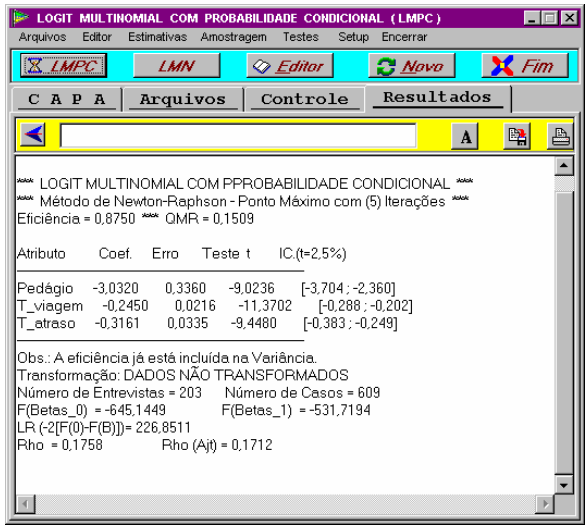
1) Abre-se o *software* LMPC e em seguida clica-se em *Arquivos*.

2) Clica-se em *Arquivo de dados* e abre-se o arquivo *Dados.oas*. Clica-se em OK.



3) Na página *Controle* clica-se em OK para criar os vetores de dados necessários ao programa. A partir daí as estimativas poderão ser executadas clicando-se em *LMPC*.

4) Automaticamente o programa abre a página dos *Resultados* e apresenta-se as estimativas dos parâmetros.



5) Com as estimativas dos parâmetros é possível calcular o valor do tempo de viagem (TV) ou do tempo de atraso (TA):

* $TV = \dfrac{-0{,}2450}{-3{,}0320} = 0{,}08$ reais/minuto, ou seja o usuário estaria disposto a pagar até 8 centavos pelo benefício de reduzir em 1 minuto o tempo normal de viagem, em razão de melhorias na rodovia considerada;

* $TA = \dfrac{-0{,}3161}{-3{,}0320} = 0{,}10$ reais/minuto, ou seja o usuário estaria disposto a pagar até 10 centavos pelo benefício de reduzir em 1 minuto o tempo relativo a eventuais atrasos por motivos de congestionamentos em sua viagem, na rodovia considerada.

ANEXO 4

Tabela Infra-Estrutura da Escola (Relatório das entrevistas)

Entrevistado(a)	Renda Familiar	Bairro onde mora	Escolaridade	Ordenação dos cartões
1	0	6	1	8 7 4 5 6 3 2 1
2	2	1	2	8 7 5 6 3 2 4 1
3	4	1	2	8 7 5 6 3 2 4 1
4	3	3	3	8 5 7 2 6 4 3 1
5	2	2	1	8 7 5 3 6 4 2 1
6	1	2	1	8 7 3 5 4 6 2 1
7	0	2	0	8 7 3 5 4 2 6 1
8	1	3	1	8 4 3 7 6 2 5 1
9	0	7	0	8 4 6 2 7 5 3 1
10	1	7	1	8 4 2 6 5 3 7 1
11	0	8	0	8 4 2 6 5 7 3 1
12	0	8	0	8 2 4 6 7 3 5 1
13	0	8	0	8 4 6 2 7 5 3 1
14	0	7	0	8 7 5 6 2 4 3 1
15	1	1	2	8 7 6 4 3 5 2 1
16	1	4	1	8 7 6 3 4 5 2 1
17	0	4	1	8 6 3 4 7 5 2 1
18	0	9	0	8 2 4 6 3 7 5 1
19	0	9	0	8 6 2 4 7 5 3 1
20	0	9	1	8 6 4 2 5 7 3 1
21	4	1	2	8 7 5 6 3 4 2 1
22	2	1	2	8 7 5 3 6 4 2 1
23	4	3	2	8 7 5 6 3 2 4 1
24	4	6	2	8 7 5 6 3 4 2 1
25	2	3	2	8 7 6 5 4 3 2 1
26	4	7	3	8 7 6 5 4 3 2 1
27	4	3	3	8 5 7 6 3 2 4 1
28	4	5	3	8 7 5 6 3 2 4 1
29	3	9	3	8 7 6 4 5 2 3 1
30	3	3	3	8 5 7 6 3 4 2 1
31	1	3	1	8 7 5 6 4 2 3 1
32	1	7	2	8 7 5 4 6 3 2 1
33	2	3	2	8 7 4 6 5 2 3 1
34	2	5	2	8 5 7 3 6 2 4 1
35	2	6	1	8 6 5 7 2 3 4 1
36	2	3	1	8 6 5 7 3 4 2 1
37	3	1	2	8 6 7 5 3 2 4 1
38	2	7	1	8 6 5 7 3 2 4 1
39	1	9	2	8 3 2 5 4 7 6 1
40	1	9	2	8 5 7 6 2 3 4 1
41	1	7	2	8 4 3 2 5 7 6 1
42	1	2	1	8 5 7 6 3 2 4 1
43	1	7	2	8 4 3 5 2 6 7 1
44	1	4	2	8 4 3 2 5 6 7 1
45	0	7	1	8 2 6 7 4 3 5 1
46	1	7	1	8 2 6 7 5 3 4 1
47	0	9	0	8 6 7 3 2 5 4 1
48	0	3	1	8 2 6 7 3 4 5 1
49	1	9	0	8 6 5 7 3 2 4 1

50	1	9	1	8 6 4 2 7 5 3 1
51	1	3	1	8 5 7 6 2 3 4 1
52	1	5	1	8 7 5 6 3 2 4 1
53	3	5	2	8 5 7 6 4 3 2 1
54	3	5	2	8 5 6 7 3 4 2 1
55	3	1	3	8 5 3 7 6 2 4 1
56	4	3	3	8 5 7 6 3 2 4 1
57	2	6	2	8 7 5 6 3 2 4 1
58	1	2	2	8 6 5 3 7 2 4 1
59	2	6	2	8 6 7 5 2 4 3 1
60	1	2	2	8 4 6 7 5 2 3 1
61	2	5	2	8 6 2 4 7 5 3 1
62	1	3	2	8 2 4 6 7 5 3 1
63	3	7	2	8 7 6 2 4 5 3 1
64	1	5	2	8 2 6 7 4 5 3 1
65	2	7	1	8 6 7 5 2 4 3 1
66	2	1	2	8 7 6 5 2 4 3 1
67	4	1	3	8 7 5 6 4 3 2 1
68	2	1	2	8 5 7 6 4 3 2 1
69	4	3	3	8 5 7 6 3 4 2 1
70	4	1	2	8 7 6 5 3 4 2 1
71	2	3	3	8 6 7 5 3 2 4 1
72	3	1	3	8 5 7 3 6 2 4 1
73	4	4	3	8 7 5 6 3 2 4 1
74	2	6	2	8 7 6 2 4 5 3 1
75	2	5	2	8 7 5 6 4 3 2 1
76	1	2	2	8 5 7 6 4 3 2 1
77	3	6	2	8 7 6 5 3 4 2 1
78	2	2	2	8 5 3 2 7 6 4 1
79	4	2	3	8 6 5 7 3 2 4 1
80	4	1	3	8 4 3 2 5 7 6 1
81	2	3	3	8 4 3 2 5 6 7 1
82	4	7	3	8 5 7 6 3 2 4 1
83	4	4	2	8 5 7 6 3 4 2 1
84	3	8	3	8 7 4 6 5 2 3 1
85	1	4	1	8 6 7 5 3 2 4 1
86	0	8	1	8 3 2 5 4 7 6 1
87	2	7	1	8 6 5 7 3 2 4 1
88	0	5	0	8 2 6 7 5 3 4 1
89	0	3	1	8 6 5 7 3 2 4 1
90	1	7	0	8 5 7 6 4 3 2 1
91	1	4	1	8 5 6 7 3 4 2 1
92	3	2	2	8 7 4 6 5 2 3 1
93	3	4	2	8 7 5 4 6 3 2 1
94	2	8	1	8 5 7 6 3 2 4 1
95	3	2	2	8 7 5 6 4 2 3 1
96	2	4	2	8 4 3 2 5 7 6 1
97	2	9	2	8 2 6 7 4 3 5 1
98	1	9	2	8 6 4 2 7 5 3 1
99	4	3	3	8 5 7 6 2 3 4 1
100	3	1	3	8 7 6 5 3 4 2 1
101	4	5	3	8 6 7 5 3 2 4 1
102	4	2	3	8 4 6 7 5 2 3 1
103	2	5	1	8 5 3 7 6 2 4 1

Tabela Serviços Oferecidos (Relatório das entrevistas)

Entrevistado(a)	Renda Familiar	Bairro onde mora	Escolaridade	Ordenação dos cartões
1	0	6	1	8 5 3 6 4 2 7 1
2	2	1	2	8 3 2 4 5 6 7 1
3	4	1	2	8 5 7 6 2 3 4 1
4	3	3	3	8 5 2 3 7 6 4 1
5	2	2	1	8 7 5 3 6 2 4 1
6	1	2	1	8 5 7 6 3 4 2 1
7	0	2	0	8 5 7 3 2 4 6 1
8	1	3	1	8 7 3 4 5 6 2 1
9	0	7	0	8 7 5 3 4 6 2 1
10	1	7	1	8 3 5 7 2 4 6 1
11	0	8	0	8 7 5 3 6 4 2 1
12	0	8	0	8 5 7 3 6 2 4 1
13	0	8	0	8 7 3 5 6 4 2 1
14	0	7	0	8 6 4 7 3 5 2 1
15	1	1	2	8 7 3 5 6 4 2 1
16	1	4	1	8 3 5 7 4 6 2 1
17	0	4	1	8 2 6 7 4 3 5 1
18	0	9	0	8 5 3 7 2 6 4 1
19	0	9	0	8 3 5 7 6 2 4 1
20	0	9	1	8 7 5 3 6 2 4 1
21	4	1	2	8 2 3 4 5 6 7 1
22	2	1	2	8 5 6 7 2 3 4 1
23	4	3	2	8 5 2 3 6 7 4 1
24	4	6	2	8 5 3 7 6 4 2 1
25	2	3	2	8 2 5 6 3 4 7 1
26	4	7	3	8 6 2 4 5 7 3 1
27	4	3	3	8 5 3 2 7 6 4 1
28	4	5	3	8 2 4 6 5 3 7 1
29	3	9	3	8 5 7 3 6 2 4 1
30	3	3	3	8 5 6 2 7 3 4 1
31	1	3	1	8 6 5 2 3 4 7 1
32	1	7	2	8 5 2 6 4 3 7 1
33	2	3	2	8 5 3 7 6 4 2 1
34	2	5	2	8 5 6 2 3 7 4 1
35	2	6	1	8 3 2 5 7 6 4 1
36	2	3	1	8 2 3 5 6 7 4 1
37	3	1	2	8 5 3 2 7 6 4 1
38	2	7	1	8 3 5 2 7 6 4 1
39	1	9	2	8 3 7 2 6 5 4 1
40	1	9	2	8 4 3 7 2 6 5 1
41	1	7	2	8 3 7 2 6 4 5 1
42	1	2	1	8 7 2 6 4 3 5 1
43	1	7	2	8 7 2 4 6 5 3 1
44	1	4	2	8 7 2 6 4 5 3 1
45	0	7	1	8 6 5 3 7 2 4 1
46	1	7	1	8 5 6 3 2 4 7 1
47	0	9	0	8 5 3 6 7 2 4 1
48	0	3	1	8 6 5 3 7 2 4 1
49	1	9	0	8 5 3 6 2 7 4 1
50	1	9	1	8 5 7 6 2 4 3 1
51	1	3	1	8 5 3 2 6 7 4 1

52	1	5	1	8 6 5 3 2 7 4 1
53	3	5	2	8 5 3 2 7 6 4 1
54	3	5	2	8 3 5 2 7 4 6 1
55	3	1	3	8 5 3 7 2 6 4 1
56	4	3	3	8 7 5 3 6 4 2 1
57	2	6	2	8 7 3 5 6 2 4 1
58	1	2	2	8 7 3 6 5 2 4 1
59	2	6	2	8 5 3 7 6 4 2 1
60	1	2	2	8 3 5 7 4 6 2 1
61	2	5	2	8 7 5 3 6 4 2 1
62	1	3	2	8 3 5 7 6 4 2 1
63	3	7	2	8 7 5 3 6 4 2 1
64	1	5	2	8 5 7 3 6 2 4 1
65	2	7	1	8 5 3 7 6 2 4 1
66	2	1	2	8 3 5 7 6 4 2 1
67	4	1	3	8 5 3 7 6 4 2 1
68	2	1	2	8 5 3 7 6 4 2 1
69	4	3	3	8 5 3 7 2 6 4 1
70	4	1	2	8 3 7 5 6 2 4 1
71	2	3	3	8 7 3 5 6 2 4 1
72	3	1	3	8 6 2 4 5 7 3 1
73	4	4	3	8 5 3 2 7 6 4 1
74	2	6	2	8 4 2 6 5 3 7 1
75	2	5	2	8 5 6 2 7 3 4 1
76	1	2	2	8 5 6 2 3 7 4 1
77	3	6	2	8 5 3 2 7 6 4 1
78	2	2	2	8 5 3 2 7 6 4 1
79	4	2	3	8 4 3 7 2 6 5 1
80	4	1	3	8 3 7 2 6 4 5 1
81	2	3	3	8 7 2 6 4 3 5 1
82	4	7	3	8 7 3 6 5 2 4 1
83	4	4	2	8 3 5 7 4 6 2 1
84	3	8	3	8 5 3 7 6 2 4 1
85	1	4	1	8 5 3 7 2 6 4 1
86	0	8	1	8 7 3 5 6 2 4 1
87	2	7	1	8 3 5 7 4 6 2 1
88	0	5	0	8 7 5 3 6 4 2 1
89	0	3	1	8 6 5 3 7 2 4 1
90	1	7	0	8 6 5 3 2 7 4 1
91	1	4	1	8 3 5 2 7 4 6 1
92	3	2	2	8 5 6 3 2 4 7 1
93	3	4	2	8 5 3 2 7 6 4 1
94	2	8	1	8 3 7 2 6 5 4 1
95	3	2	2	8 4 3 7 2 6 5 1
96	2	4	2	8 5 7 3 6 2 4 1
97	2	9	2	8 5 3 7 6 4 2 1
98	1	9	2	8 4 3 7 2 6 5 1
99	4	3	3	8 3 7 2 6 4 5 1
100	3	1	3	8 7 2 6 4 3 5 1
101	4	5	3	8 5 3 2 7 6 4 1
102	4	2	3	8 5 2 3 7 6 4 1
103	2	5	1	8 3 5 2 7 6 4 1

ANEXO 5

O SOFTWARE LINGO
(Language for Interactive General Optimizer)

I. Introdução

O *LINGO* é um software desenvolvido por *LINDO Sistem's Inc*. utilizado para resolver problemas de otimização envolvendo Programação Linear, Programação Linear Inteira, Programação Linear Inteira Binária, Programação Não-Linear, entre outros, reduzindo drasticamente o tempo de desenvolvimento e solução dos modelos matemáticos (LINGO, 1999).

O *LINGO* reconhece variáveis subscritas, conjuntos, operações sobre conjuntos e expressões matemáticas genéricas. Conseqüentemente, os modelos podem ser expressos de maneira concisa e de fácil leitura.

II. Formas de utilização

Dado um determinado problema, formulado matematicamente, pode-se resolvê-lo usando o *LINGO* de três maneiras distintas:

- digitação direta na janela de trabalho do *LINGO*;
- através de chamada do executável do *LINGO* por um programa em uma linguagem qualquer;
- através de chamada de uma *DDL (Dinamic Linked Library).* Com este tipo de acesso continua sendo necessária a criação do arquivo com o problema, porém, a chamada de rotina é mais rápida e a interface do *LINGO* não aparece na tela, o que pode facilitar as implementações comerciais.

III. Principais comandos

- @ SUM – equivale a $\sum$;
- @ FOR – para executar laços de índices;
- @ BIN – para definir uma variável como binária;
- @ INT – para definir uma variável como inteira;
- @ FREE – para definir uma variável irrestrita de sinal;
- o ponto-e-vírgula no final de cada linha é obrigatório. Sem sua utilização o *LINGO* não procederá a resolução do problema;
- "MIN=" é a definição para que a função objetivo seja minimizada. Para a maximização deve-se utilizar "MAX=";
- utilização do asterisco para efetuar a multiplicação;
- as variáveis podem ser escritas com letras maiúsculas ou minúsculas.

IV. Escrita do problema

4.1 Definição dos conjuntos de trabalho

A utilização de variáveis indexadas (vetores e matrizes) é importante em grandes problemas. Estas variáveis devem ser definidas, assim como os valores dos índices que elas poderão assumir, da seguinte forma:

```
SETS
  VAR/1..100/:X;   (indica que X varia de 1 a 100)
ENDSETS
```

4.2 Definição dos dados

Depois de definidos os conjuntos de trabalho, é necessário entrar com os dados, da seguinte forma:

DATA

C = 1,2,4,12,...; (dados separados por vírgula)

ENDDATA

4.3 Modelo completo

MODEL:

(definição dos conjuntos)

(definição dos dados)

(formulação do problema)

END

O comando MODEL indica ao *LINGO* que se está pronto para entrar com o modelo e o comando END que o modelo introduzido já acabou.

Após terminado o programa, clica-se em EDIT seguido de SOLVE e o *software* apresentará a solução.

ANEXO 6

O MODELO DE DESIGNAÇÃO COM IMPLEMENTAÇÃO NO *LINGO*

Entrada dos dados:

```
model:
sets:
series/1..4/;
escola/1..32/;
matriz(escola,series):x,c,d;
utilidade(escola):u;
endsets

                                        data:
d=87,109,100,101,115,112,101,113,64,71,76,77,174,230,201,195,101,122,106,
101,49,52,46,44,103,105,81,72,88,109,113,104,123,135,132,112,121,134,120,
114,114,144,94,77,76,87,68,89,101,93,79,70,150,149,160,139,56,68,57,66,
113,112,87,89,94,103,93,109,84,90,68,60,130,134,111,96,99,97,86,73,105,
140,78,73,61,49,55,32,92,80,70,74,133,142,112,93,133,153,145,125,113,144,
132,101,60,70,63,59,74,88,67,58,190,259,195,185,28,29,25,24,118,116,109,
103,62,50,47,49;

c =
120,120,120,120,180,150,120,120,60,60,60,60,210,210,180,180,120,120,90,90
,
90,90,60,60,90,90,60,60,120,120,90,90,180,150,150,150,150,120,120,120,150
,
120,90,90,120,120,90,90,90,90,60,60,180,150,120,120,90,60,60,60,180,150,
120,120,180,150,150,150,120,90,60,60,150,120,120,120,120,120,90,90,120,90
,
60,60,90,90,60,60,120,90,60,60,150,150,120,120,150,120,120,120,210,180,15
0,150,120,90,60,60,150,120,90,90,180,180,180,180,60,30,30,30,150,150,120,
120,90,90,60,60;

u =
3.6178,3.1694,2.9150,4.0389,3.5017,3.6235,2.7872,3.6360,2.6491,3.2830,
2.9110,3.0186,3.0275,3.8714,2.7319,2.8921,3.7107,2.7319,3.5391,3.2117,
2.3022,2.5655,2.8607,3.7119,2.8815,2.5948,3.3108,2.8072,2.7723,3.7276,
2.6086,2.99;

enddata

max = @sum(escola(i):@sum(series(j):u(i)*x(i,j)));

@for(escola(i):@for(series(j):x(i,j)<=c(i,j)));
@for(series(j):@sum(escola(i):x(i,j)-d(i,j))=0);
@for(escola(i):@for(series(j):x(i,j)>=0.70*c(i,j)));
@for(escola(i):@for(series(j):@gin(x(i,j))));
@for(escola(i):@for(series(j):x(i,j)>=0));

end
```

Resultados:

Global optimal solution found at step: 103
Objective value: 39696.97
Branch count: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 1)	84.00000	3.617800
X(1, 2)	120.0000	3.617800
X(1, 3)	120.0000	3.617800
X(1, 4)	102.0000	3.617800
X(2, 1)	126.0000	3.169400
X(2, 2)	150.0000	3.169400
X(2, 3)	120.0000	3.169400
X(2, 4)	120.0000	3.169400
X(3, 1)	42.00000	2.915000
X(3, 2)	60.00000	2.915000
X(3, 3)	60.00000	2.915000
X(3, 4)	60.00000	2.915000
X(4, 1)	147.0000	4.038900
X(4, 2)	147.0000	4.038900
X(4, 3)	137.0000	4.038900
X(4, 4)	126.0000	4.038900
X(5, 1)	84.00000	3.501700
X(5, 2)	120.0000	3.501700
X(5, 3)	90.00000	3.501700
X(5, 4)	90.00000	3.501700
X(6, 1)	63.00000	3.623500
X(6, 2)	90.00000	3.623500
X(6, 3)	60.00000	3.623500
X(6, 4)	42.00000	3.623500
X(7, 1)	63.00000	2.787200
X(7, 2)	90.00000	2.787200
X(7, 3)	60.00000	2.787200
X(7, 4)	60.00000	2.787200
X(8, 1)	84.00000	3.636000
X(8, 2)	120.0000	3.636000
X(8, 3)	90.00000	3.636000
X(8, 4)	63.00000	3.636000
X(9, 1)	163.0000	2.649100
X(9, 2)	150.0000	2.649100
X(9, 3)	150.0000	2.649100
X(9, 4)	150.0000	2.649100
X(10, 1)	105.0000	3.283000
X(10, 2)	120.0000	3.283000
X(10, 3)	120.0000	3.283000
X(10, 4)	120.0000	3.283000
X(11, 1)	105.0000	2.911000
X(11, 2)	120.0000	2.911000
X(11, 3)	90.00000	2.911000
X(11, 4)	90.00000	2.911000
X(12, 1)	84.00000	3.018600
X(12, 2)	120.0000	3.018600
X(12, 3)	90.00000	3.018600
X(12, 4)	90.00000	3.018600
X(13, 1)	63.00000	3.027500

X(13, 2)	90.00000	3.027500
X(13, 3)	60.00000	3.027500
X(13, 4)	60.00000	3.027500
X(14, 1)	126.0000	3.871400
X(14, 2)	105.0000	3.871400
X(14, 3)	120.0000	3.871400
X(14, 4)	84.00000	3.871400
X(15, 1)	63.00000	2.731900
X(15, 2)	60.00000	2.731900
X(15, 3)	60.00000	2.731900
X(15, 4)	60.00000	2.731900
X(16, 1)	126.0000	2.892100
X(16, 2)	150.0000	2.892100
X(16, 3)	120.0000	2.892100
X(16, 4)	120.0000	2.892100
X(17, 1)	126.0000	3.710700
X(17, 2)	108.0000	3.710700
X(17, 3)	150.0000	3.710700
X(17, 4)	105.0000	3.710700
X(18, 1)	84.00000	2.731900
X(18, 2)	90.00000	2.731900
X(18, 3)	60.00000	2.731900
X(18, 4)	60.00000	2.731900
X(19, 1)	105.0000	3.539100
X(19, 2)	120.0000	3.539100
X(19, 3)	120.0000	3.539100
X(19, 4)	120.0000	3.539100
X(20, 1)	84.00000	3.211700
X(20, 2)	120.0000	3.211700
X(20, 3)	90.00000	3.211700
X(20, 4)	90.00000	3.211700
X(21, 1)	120.0000	2.302200
X(21, 2)	90.00000	2.302200
X(21, 3)	60.00000	2.302200
X(21, 4)	60.00000	2.302200
X(22, 1)	90.00000	2.565500
X(22, 2)	90.00000	2.565500
X(22, 3)	60.00000	2.565500
X(22, 4)	60.00000	2.565500
X(23, 1)	84.00000	2.860700
X(23, 2)	90.00000	2.860700
X(23, 3)	60.00000	2.860700
X(23, 4)	60.00000	2.860700
X(24, 1)	105.0000	3.711900
X(24, 2)	105.0000	3.711900
X(24, 3)	120.0000	3.711900
X(24, 4)	84.00000	3.711900
X(25, 1)	105.0000	2.881500
X(25, 2)	120.0000	2.881500
X(25, 3)	120.0000	2.881500
X(25, 4)	120.0000	2.881500
X(26, 1)	210.0000	2.594800
X(26, 2)	180.0000	2.594800
X(26, 3)	150.0000	2.594800
X(26, 4)	150.0000	2.594800
X(27, 1)	84.00000	3.310800
X(27, 2)	90.00000	3.310800

X(27, 3)	60.00000	3.310800
X(27, 4)	60.00000	3.310800
X(28, 1)	105.0000	2.807200
X(28, 2)	120.0000	2.807200
X(28, 3)	90.00000	2.807200
X(28, 4)	90.00000	2.807200
X(29, 1)	126.0000	2.772300
X(29, 2)	180.0000	2.772300
X(29, 3)	180.0000	2.772300
X(29, 4)	180.0000	2.772300
X(30, 1)	42.00000	3.727600
X(30, 2)	21.00000	3.727600
X(30, 3)	30.00000	3.727600
X(30, 4)	21.00000	3.727600
X(31, 1)	150.0000	2.608600
X(31, 2)	150.0000	2.608600
X(31, 3)	120.0000	2.608600
X(31, 4)	120.0000	2.608600
X(32, 1)	63.00000	2.990000
X(32, 2)	90.00000	2.990000
X(32, 3)	60.00000	2.990000
X(32, 4)	60.00000	2.990000