

VOLUME 18
NÚMERO 4
DEZEMBRO 96

Ciências Exatas e da Terra

Revista
UNIMAR
Ciências Humanas e Sociais
Órgão Oficial da Universidade Estadual de Maringá
ISSN 0100-9354
Revista UNIMAR, Maringá 18(4)/96

SUMÁRIO

INFORMÁTICA

Antonio Mendes da Silva Filho. An architectural analysis of the statestate design model for reactive systems
Uma análise arquitetural do modelo de projeto *statestate* para sistemas reativos 653-679

Sarajane Marques Peres e Tania Fatima Calvi Tait. Uma avaliação do processo de planejamento estratégico de sistemas de informação em empresas do mercado paranaense
Evaluation of the strategic planning process of information systems in business organizations of the state of Paraná..... 681-698

ESTATÍSTICA

Terezinha Aparecida Guedes e Plinio Stange. Modelagem da média e da variabilidade de dados de experimentos industriais
Modelling mean and variability of industrial experiments data 699-723

Terezinha Aparecida Guedes e Plinio Stange. Procedimento de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos: problema-multicritério
Optimization procedure in planning and control of product and process quality - multicriterion problem..... 725-738

Terezinha Aparecida Guedes e Plinio Stange. Procedimento de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos: problema-bicritério
Optimization procedure in planning and control of product and process quality - bicriterion problem 739-756

QUÍMICA

- Elaine Trannin de Mello e Edmar Clemente. Thermostability of crude extract of peroxidase from pineapple*
Estabilidade térmica do extrato cru de peroxidase de abacaxi 757-763

ENGENHARIA QUÍMICA

- Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani e Fernando Palú. Síntese de redes de trocadores de calor com otimização da distribuição de área*
Heat exchanger network synthesis with optimizaton of area distribution..... 765-776

FÍSICA

- Jonas Teixeira Nery, Williams Cezar da Silva e Maria de Lourdes Orsini Fernandes Martins. Aspectos geográficos e estatísticos da precipitação do Estado do Paraná*
Geographical and statistical aspects of rainfall in the state of Paraná .. 777-789
Maria Martins

ENGENHARIA CIVIL

- Generoso De Angelis Neto e Bruno Luiz Domingos De Angelis. A reestruturação do centro de Maringá/PR*
The remodelling of Maringa City center/PR 791-808

Revista UNIMAR
Ciências Humanas e Sociais
Órgão Oficial da Universidade Estadual de Maringá
Volume 18 (4)/1996

FUNDADOR:

Reitor: *José Carlos Cal Garcia*

GESTÃO:

Reitor: *Prof. Luiz Antônio de Souza*

Vice-Reitora: *Prof^a Neusa Altoé*

SUPERVISÃO:

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

.Prof. Erivelto Goulart

SUPERVISÃO EDITORIAL:

.Prof^a Maria Suely Pagliarini

CONSELHO EDITORIAL:

.Prof^a Alice Áurea Penteado Martha

.Prof. Ângelo Antônio Agostinho

.Prof. Antônio Carlos Bento

.Prof. Erivelto Goulart

.Prof. Errol Alva Carvers Forde

.Prof^a Itana Maria de Souza Gimenes

.Prof. Lauro Daniel Vargas Mendez

.Prof^a Maria Suely Pagliarini

.Prof^a Tereza Cristina Rocha Moreira de Oliveira

DIVISÃO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA-PPG:

.Maria José de Melo Vandresen

DIAGRAMAÇÃO E COMPOSIÇÃO:

.Editora da Universidade Estadual de Maringá (EDUEM)

DIVISÃO DE EDITORAÇÃO:

.Marcos Kazuyoshi Sassaka

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

.Juliano Rodrigues Lopes

.Marcos Cipriano da Silva

REVISÃO EM LÍNGUA PORTUGUESA E INGLESA:

.Prof. Apolo dos Santos Silva

.Prof^a Deonízia Zimovski Germani

.Prof. José Hiran Sallée

.Prof^a Márcia Lorca Ventura

.Prof^a Marilurdes Zanini

.Prof. Silvestre Rudolfo Böing

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

.Ana Maria Marquezini Alvarenga

IMPRESSÃO E ENCADERNAÇÃO:

.Imprensa Universitária - UEM

CORRESPONDÊNCIA:

.UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Divisão de Divulgação Científica

Av. Colombo, 5790 - Câmpus Universitário - 87020-900

Fone: (044)261-4253

E-mail: PPG@BRFUEM.BITINET

Maringá-Paraná-Brasil.

Revista UNIMAR, V. 1 - 1974 -

Maringá, Universidade Estadual de Maringá.

Trimestral

Mudança de periodicidade e numeração:

1(1), 1974; 1(2), 1976; 1(3), 1977; 2(1), 1978; 2(2), 1979;
2(3), 1980; 3(1), 1981; 4(1), 1982; 5(1), 1983; 6(1), 1984;
7(1), 1985; 8(1), 1986; 9(1), 1987; 10(1), 1988; 11(1), 1989;
12(1), 1990; 12(2), 1990; 13(1), 1991; 13(2), 1991; 14(1),
1992; 14(2), 1992; 14(Suplemento), 1992; 15(1), 1993; 15(2),
1993; 15(3), 1993; 15(Suplemento), 1993; 16(1), 1994;
16(2), 1994; 16(3), 1994; 16(Suplemento 1), 1994;
16(Suplemento 2), 1994; 16(Suplemento 3), 1994; 17(1),
1995; 17(2), 1995; 17(3), 1995; 18(1), 1996; 18(2),
1996; 18(3), 1996.

1. Pesquisa. 2. Ciência. 3. Cultura.

CDD - 001.43

Solicita-se permuta - Exchange requested

A Revista UNIMAR possui indexação seletiva no Index Medicus Latino-Americano, C.A.B. International, MLA International Bibliography, Institut des Hautes Etudes de L'Amerique Latine, Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades (CLASES), Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts, Periodica, International Medieval Bibliography, Biosis (U.K.), Zoological Record, Ulrich's International Periodicals Directory, Sociological Abstracts, Linguistics & Language Behavior Abstracts e Tropag (Royal Tropical Institute).

LLBA

incorporating
READING
ABSTRACTS

*Note:
This issue
contains the
new
International
Review of
Publications in
Linguistics
(IRPL) book
review
bibliography.*

Linguistics and Language Behavior Abstracts

Anthropology
Applied Linguistics
Audiology
Clinical Psychology
Communication Sciences
Education
Gerontology
Laryngology
Linguistics
Neurology
Otology
Pediatrics
Pharmacology
Philosophy
Phonetics
Physiology
Psychiatry
Psycholinguistics
Psychology
Rhetoric
Semiotics
Sociolinguistics
Sociology
Speech
Speech Pathology

AN ARCHITECTURAL ANALYSIS OF THE STATEMATE DESIGN MODEL FOR REACTIVE SYSTEMS

Antonio Mendes da Silva Filho*

ABSTRACT. This paper presents an architectural analysis of the *Statemate Design Model*. The Statemate architecture is analyzed for the class of so-called *Reactive Systems*. Scenarios encompassing these sorts of systems are presented and used to support the analysis. The analysis performed in this paper is based on *SAAM* (Software Architecture Analysis Method) - a method for analyzing the properties of software architectures. The results achieved with this analysis are presented. The scenario-driven analysis demonstrated to be helpful allowing the evaluator to assess more effectively the non-functional qualities. A matrix of success factors composed of design attributes and non-functional qualities was built, providing the evaluation performed.

Key words: architectural analysis, statemate, reactive systems, success factors.

UMA ANÁLISE ARQUITETURAL DO MODELO DE PROJETO STATEMATE PARA SISTEMAS REATIVOS

RESUMO. Este artigo apresenta uma análise arquitetural do Modelo de Projeto *Statemate*. A arquitetura *Statemate* é analisada para a classe de Sistemas Reativos. Cenários envolvendo esses tipos de sistemas são apresentados e usados para dar suporte à análise. A análise executada neste artigo é baseada em *SAAM* (Método de Análise de Arquitetura de Software) - um método para analisar as propriedades de arquiteturas de software. Os resultados obtidos com esta análise são apresentados. A análise baseada em cenários demonstrou sua utilidade, permitindo ao projetista avaliar mais efetivamente as qualidades não-funcionais. Uma matriz de fatores de sucesso composta de atributos de projeto e qualidades não-funcionais foi construída, mostrando a avaliação realizada.

Palavras-chave: análise arquitetural, *statemate*, sistemas reativos, fatores de sucesso.

* Departamento de Informática, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.
E-mail: amendes@din.uem.br.

Correspondence to Antonio Mendes da Silva Filho.

Received 18 November 1996.

Accepted 29 December 1996.

1. INTRODUCTION

As the software systems become larger and more complex, it is mandatory to have higher-level abstractions. Abstraction is a means used to cope with complexity. In fact, this author considers the discipline of *Software Architecture* (SA) as a means to take a system of significant complexity and scale, and to abstract it to a basic level to make it manageable, modifiable, and able to be communicated. Shaw (1989) gave a nice definition of Software Architecture by saying that SA “is the study of the large-scale structure and performance of software systems”.

Some software architectures have informally emerged over time. This has been a result of the importance that the field of software engineering has played nowadays. Day by day, software systems are becoming an essential element in our lives. They are built to automate applications, and therefore, their characteristics are based on the requirements of the application areas. Examples to be highlighted here are: Information Systems, Real-Time Systems, Distributed Systems, and Embedded Systems. Another broader system class is that of Reactive Systems, which involves on-line interactive systems and computer embedded systems. All these categories of systems have invaluable importance at the present time.

This paper presents an evaluation of the Statemate design model as a candidate architecture for reactive systems. A case study was carried out by choosing the telephone switching system as an example. Similarly, this author attempts to apply SAAM (Kazman *et al*, 1994) as a guiding reference. However, subtle changes to the method of analysis were introduced to perform the evaluation. In the next section, background issues, encompassing software architecture, reactive systems, and the Statemate design model are discussed. In section 3, a case study involving a telephone exchange is provided as a system example for the analysis. Section 4 gives the evaluation criteria used in this work along with a discussion of the main differences between SAAM and the scenario-driven evaluation using a matrix of success factors. As well, it presents the Statemate models for the telephone exchange. Using these models, a set of scenarios are presented, and the scenario-based evaluations are performed. Finally, section 5 presents the concluding remarks.

2. BACKGROUND ISSUES

This section aims to present the main issues underlying this paper. The following subjects are discussed: Software Architecture, Reactive Systems, and the StateMate Model.

2.1. Software Architecture - A Brief Overview

Although software architectures are used informally, there has not been much effort to treat them in a systematic manner. Some examples of organization which have been used are: Layered Systems, Blackboard Systems, Rule-based Systems, and Data Abstraction (e.g., as used in Object-Oriented Programming). One of the benefits of having a systematic approach to these organizations is being able to reuse such architectures. Furthermore, a systematic way of choosing one specific architecture rather than another for a given application would be an invaluable approach for large and complex systems. It would be of paramount importance to a project team if they could have a set of rules which allowed them to use guidelines to derive an architecture which would be closer to the one they expect in order to meet the system requirements. Generally, for large systems, certain non-functional qualities are advocated. Examples of these are: modifiability, portability, performance, reliability, reusability, etc. Kazman and Bass presented a very interesting approach which addresses this issue. They argue that “the achievement of non-functional qualities is the primary motivator for the architecture of large, complex systems” (Kazman and Bass, 1994).

An effort to codify the knowledge for software engineering has been carried out by Lane (1990a, 1990b). Therein, the author makes a study of software architecture through *design spaces* and *rules*. Lane’s work constitutes another effort to derive SA from the design spaces and rules. The major benefit of that approach is to “help in understanding and predicting the properties of a design by offering a context for the creation and application of knowledge”. The next section addresses issues related to reactive systems.

The approach used in this paper follows the main guidelines found in SAAM. However, only one candidate architecture is under analysis. There are no competing architectures. The major aim is to classify the chosen architecture by using a set of scenarios of reactive systems. The reason for this is discussed below.

2.2. Reactive Systems

This work has the major aim of performing an architectural analysis of the class so-called *reactive systems*. In this paper, the reactive system being addressed is a telephone switching system. The behavior of the reactive systems is a set of allowed input and output events, conditions and actions with additional timing constraints. A reactive system usually exhibits the following characteristics:

- it continuously interacts with its environment, using inputs and outputs that are either continuous in time or discrete. The inputs and outputs are often asynchronous, meaning that they may occur or change unpredictably at any point in time;
- it must be able to respond to interrupts, i.e., high-priority events that come from the environment when it is busy with some other activity, e.g., a command to abort some operation;
- its operation and reaction to inputs often reflect stringent time requirements;
- it has many different possible scenarios of operation, depending on the history of previous behavior and/or the current mode of operation;
- it is very often based on interacting processes that operate in parallel.

Examples of reactive systems include on-line interactive systems, such as automatic teller machines (ATMs), flight reservation systems, and computer embedded systems, such as avionic and telecommunication systems. A number of companies have made use of the Software Engineering Environment (SEE) Statemate™ while developing software systems and have achieved positive results. Examples of these are AT&T, Northern Telecom, Motorola, Ford, and BMW along with many others. This is one of the reasons which led this author to choose the Statemate model as a candidate architecture for this analysis. The other one is that the Statemate model has well-defined notations and the views it supports are well structured. The following presents the Statemate Design Model.

2.3. Statemate Design Model

This subsection summarizes the main features of Statemate Design Model, consisting of the Conceptual and Physical Models. Their views, namely functional, behavioral and structural, are also discussed.

TM Statemate is a registered trademark of i-Logix Inc.

2.3.1. The Software Engineering Environment Statestate

Statestate is a set of concepts, languages, and computerized tools that support the development of complex reactive systems (Harel, 1990). The premise of the Statestate approach is that the development of a complex system should begin with a thorough understanding of what is intended, including the system's dynamic behavior. If such an understanding can be gained in the early stages of a project, it is possible to eliminate much of the uncertainty inherent in the process and develop systems that are more successful, yet less expensive.

It is common practice to identify several stages in the development life cycle of a system. The main stages are requirements analysis and specification, design, implementation, testing and maintenance. Statestate is most beneficial in the stages of requirements analysis and specification, and in high-level design. In these stages the developers specify the System Under Development (SUD) in terms of its functional capabilities and its behavior over time, and determine the main subsystems that implement these capabilities. The specification process uses particular languages and techniques to describe the system. The resulting specification is called the *model* of the system.

2.3.2. Characteristics of the Statestate Models

A system model constitutes a tangible representation of the system's conceptual and physical properties, and serves as a vehicle to capture the thoughts of the specifier and designer. In some ways it is like the set of plans drawn by an architect to describe a house. It is used mainly for communication, but it should also facilitate inspection and analysis. The modeling process involves conceiving of the concepts relevant to the system and the relationships between them, and representing them using specific well-defined languages. The next section presents the modeling aspects (views) of reactive systems.

2.3.3. Modeling Views of Reactive Systems

Building a model can be considered as a transition from concepts and ideas to concrete descriptions. The concepts underlying a system are captured in three aspects (or views): functional, behavioral and structural.

The *functional* view captures the *what*. It describes the system's functions and processes, also called activities, thus pinning down its capabilities. This view also includes the inputs and outputs of the

activities, i.e., the flow of information to and from the external environment of the system and among the internal activities.

The *behavioral* view captures the *when*. It describes the system's behavior over time, including the dynamics of activities, their control and timing behavior, the states and modes of the system, and the conditions and events that cause modes to change. It also provides answers to questions about causality, concurrency and synchronization (Harel, 1987).

The *structural* view captures the *how*. It describes the subsystems and modules constituting the real system, and the communication between them.

While the two former views provide the conceptual model of the system, this view is considered to be its physical model, since it concerns itself with the various aspects of the system's implementation. Consequently, the conceptual model usually involves terms and notions borrowed from the problem domain, whereas the physical model draws more upon the solution of the problem. The above views are of paramount importance when it is necessary to define an architecture for a reactive system. Such a summarized feature as aforementioned is invaluable when it comes to the improvement in quality.

3. TELEPHONE SWITCHING SYSTEM - A CASE STUDY

Switching systems are among the most complex embedded, real-time software systems and offer many challenging software engineering problems. The major characteristics of such systems are as follows:

- they have complex behavioral specifications;
- there is a need to interface a large input-output system and process a number of calls in parallel, with response times of generally under 1 second;
- they usually provide uninterrupted services;
- there is a need to support on-line modification and enhancement over a lifetime of about 20 years.

A telephone switching system is responsible for establishing and maintaining connections among telephone lines. The system example used in this work is a small telephone exchange (PBX - Private Branch eXchange) which provides the basic functionalities to its subscribers. Figure 1 shows a scenario where the telephone exchange is in.





Figure 1. Scenario of a Telephone Exchange.

The software for controlling a telephone exchange has stringent real-time constraints. It also requires features such as reliability¹ and fault-tolerance² (Silva Filho, 1995a, 1996). A telephone exchange usually uses redundant hardware to achieve fault tolerance. Operational diagnostics attempt to detect failures that, being reported early enough to an operator, can minimize their effects. In such a case, the replacement of faulty devices is carried out before a major distressing situation takes place (Silva Filho, 1995b).

3.1. Software Design Description

The Software Design Description (SDD) shows how the software system will be structured to satisfy the requirements identified in the Software Requirements Specification (SRS). The purpose of the SDD is to present a description of the main design decision making in order to implement a Telephone Exchange. Generally, the intended audience of such a document are software designers and programmers.

Figure 2 shows the basic functionality which composes the Telephone Exchange, in which only two modules, namely CallHandler and ResourceManager, are presented. CallHandler (CH) performs the main telephone exchange operations, provided that it supports the placing of a telephone call by detecting the lines going on and off hook, and the numbers being dialed, providing the appropriate (dial) tones, and connecting to the appropriate lines. ResourceManager (RM) checks for the availability of resources to process a requested call. RM exchanges signals with CH while a call is being processed. Since this

¹ Software Reliability - (1) "The probability that software will not cause the failure of a system for a specified time under specified conditions. The probability is a function of the inputs to and use of the system as well as a function of the existence of faults in the software. The inputs to the system determine whether existing faults, if any are encountered." (2) "The ability of a program to perform a required function under stated conditions for a stated period of time." (IEEE, 1987)

² Fault tolerance - "The built-in capability of a system to provide continued correct execution in the presence of a limited number of hardware or software faults". [5]

paper does not aim at presenting full details of a Telephone Exchange, no further information, concerning lower levels of description of it, is given.

The system boundary of the telephone exchange is the environment. For this approach, the TelephoneExchange (TE for short) has three sets of signals as follows:

- *TE Incoming Signals (I)* - set of signals originating from the environment and terminating with TE.
- *TE Outgoing Signals (O)* - set of signals originating from the TE and terminating at the environment.
- *TE Internal Signals (IO)* - set of all signals belonging exclusively to TE.

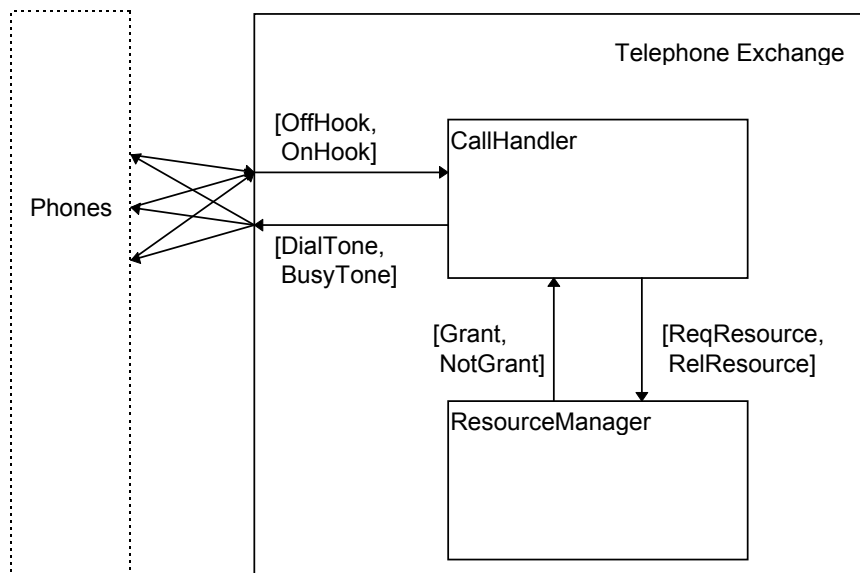


Figure 2. Telephone Exchange.

The next section presents the analysis criteria for the evaluation of Statemate model. As well, Statemate models for the telephone exchange are given, and the evaluation is carried out.

4. AN ARCHITECTURAL ANALYSIS OF THE STATEMATE MODEL

This section presents the criteria used to perform the architectural analysis of the StateMate Model as to its suitability for reactive systems. Furthermore, the StateMate models for the telephone exchange are given, and the entire analysis discussed.

4.1. Analysis Criteria

Before making the architectural analysis of StateMate model for the design of large reactive systems, it is mandatory to present the criteria necessary to be met. Since this paper presents a telephone exchange as a case study, and because of this author's hypothesis that there is a relationship between architectural models and non-functional qualities, the analysis is considered to be *scenario-driven*. For such a purpose, the main guidelines offered by SAAM (Kazman *et al*, 1994) are followed. SAAM is a scenario-driven method used to analyze competing software architectures for a target application domain. SAAM provides a way to achieve early insight into the quality attributes offered or inhibited by a software architecture (Clements *et al*, 1996). However, the method used to perform this analysis differs from SAAM in some aspects. The main difference comes from the fact that SAAM is to be used with competing architectures. Herein, only StateMate architecture is considered (Silva Filho, 1996b).

4.1.1. Architectural Analysis Using a Matrix of Success Factors

Since this paper has different guidelines in the way the analysis should be carried out as mentioned above, the method employed to perform this analysis is hereafter explained.

A system may have several architectures which can be used to support it. The major task of (software) engineers is to be creative and find the most appropriate solution for the situation at hand. Furthermore, the problem solving must be cost-effective because even though it may be easy to find good solutions, the cost is a prime factor which must be entertained in any design, mainly in large designs. With these issues in mind, a set of *success factors* were worked out while doing this analysis. These factors consist of *non-functional qualities* and *design attributes*. Below are the non-functional qualities used for this evaluation:

- (I) *Understandability* - the architecture proposed should be helpful and understandable to designers, maintainers, managers, and customers;

- (II) *Modifiability* - the architecture used should accommodate effectively modifications that are made to a software system during and after the initial release;
- (III) *Ease of Creation* - the architecture aimed at should minimize the effort and time required for development;
- (IV) *Scalability* - the used architecture should support any significant increase of the system size.

Together with the non-functional qualities above, a set of design attributes was chosen for this analysis. The result of the combination of the non-functional qualities along with the design attributes is a *matrix of success factors*. This issue is further discussed after presenting the design attributes under consideration. The design attributes under study are as follows:

- (A) *Abstraction* - provided that the overall system architecture is the higher-level state, abstraction is the *state breakup*;
- (B) *Modularity* - the system architecture may be divided into simpler pieces called modules. The main benefit of modularity is that it allows the principle of *separation of concerns* to be applied to the system under development;
- (C) *Resource Sharing* - the system architecture is supposed to encapsulate either data or services and share them among competing agents.

With the success factors above, it is time to build the corresponding matrix. But, before doing that, it is mandatory to explain explicitly what is being done.

A matrix of success factors based on the four non-functional qualities and three design attributes (presented earlier) is necessary to obtain a *well-architected* software. Below, the steps used to perform this analysis and fill in the matrix of success factors are presented.

4.1.2. SAAM-based Architectural Analysis using Success Factors:

- I. *Develop task scenarios that illustrate activities supported by the system. These tasks are used to guide the evaluation of success factors.*
- II. *Describe the target architecture using common architectural notation and also with a common granularity level.*
- III. *Perform the evaluations of task scenarios, checking for direct or indirect support by the target architecture under analysis. A + is assigned to the architecture if it supports the task with respect to*

a pair $SF^3_{d,q}$, and no (major) modifications are required. A - is assigned to the architecture if it can support the task with respect to a pair $SF_{d,q}$, and thus, it does require major modifications.

- IV. Determine the scenario interaction, provided there is more than one, identifying which components and/or connections are affected by that scenario. The fewer changes to the components and/or connections, the better the target architecture.
- V. Weigh each scenario and use that weight to determine the overall ranking of the target architecture.

Given the preceding, it is time to present the Statestate models for the category of reactive systems. This paper focuses on the example of a telephone exchange.

4.2. Statestate Models for a Telephone Exchange

The three views of the system model are described in Statestate using its three graphical languages: *activity-charts*, *statecharts*, and *module-charts*. The reader is referred to the Statestate manuals (i-Logix, 1992) for more details on these languages and their notations, other than the ones given in section 2.3.

Figure 3 shows the level 1 (or higher-level) module-chart for the telephone exchange (PBX for short, since it provides the basic functionality needed by an exchange). The dotted-line rectangle is an external module. Note that the PBX consists of two major modules, namely *Control Unit* (CU) and *Voice/Signaling Unit* (VSU). The Control Unit contains a microprocessor with a memory management unit that supports virtual memory. Enough physical memory is provided so that the operating system, PBX software and their data can all be memory resident. VSU consists of a switching network, two lines interface shelves, a service shelf, and a tone generator. The CU and VSU communicate through a memory-mapped interface⁴.

³ The pair $SF^3_{d,q}$ is an element of the matrix of success factors SF , where d, q are the horizontal and vertical indices for the considered element. d comes from design attribute, and q comes from non-functional quality.

⁴ This interface is not shown explicitly in the module-chart since this level of detail is out of the scope of this paper. Further information, this interface memory contains two kinds of segments through which the CU micro can sense the status of VSU hardware

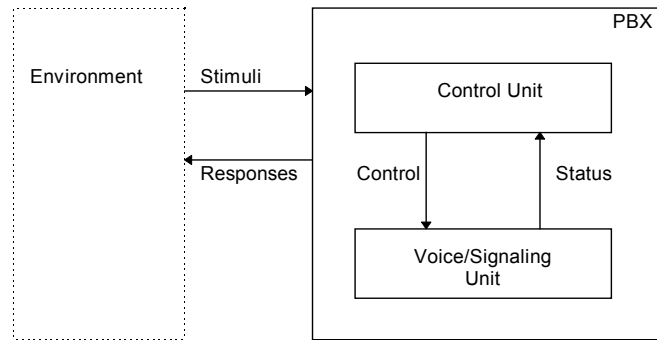


Figure 3. Level 1 Module-Chart for the PBX.

Figure 4 gives level 2 module-chart for the *VSU*. This figure shows the organization of the VSU. After presenting the level 1 and 2 module-charts for the PBX, which captures the structural view of the Statemate model, it is time to look at the functional and behavioral views.

Figure 5 shows the activity-chart for the PBX. Note that figure 5 is of level 1. The level 1 statechart for controlling the PBX, named *@PBX_Control*, is shown in Figure 6. The two sub-states, termed *CallHandler* and *ResourceManager*, are given in Figures 7 and 8, respectively. These two latter statecharts are of level 2.

Since the analysis to be carried out is scenario-driven, next section presents the scenarios being considered for this evaluation.

4.3. Scenarios under Analysis

This section presents a subset of task scenarios used to evaluate the Statemate model for the category of reactive systems. The focus has been on developers' and maintainers' views. Considering the PBX as a system example, the task scenarios below are under analysis.

(switchhook status of phones, digits seen by touchtone receivers), and segments through which the micro (CU) can control VSU hardware.

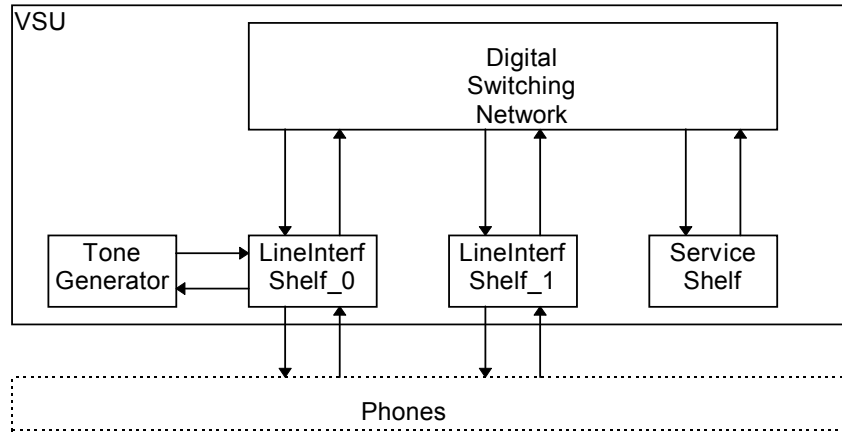


Figure 4. Module-Chart for the Voice/Signaling Unit.

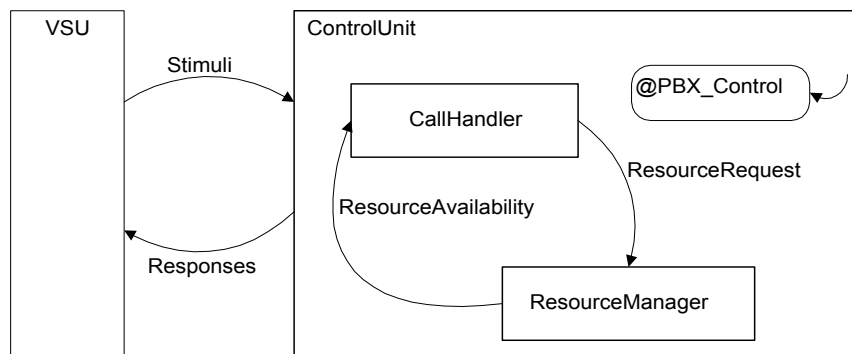


Figure 5. Activity-Chart for the PBX.

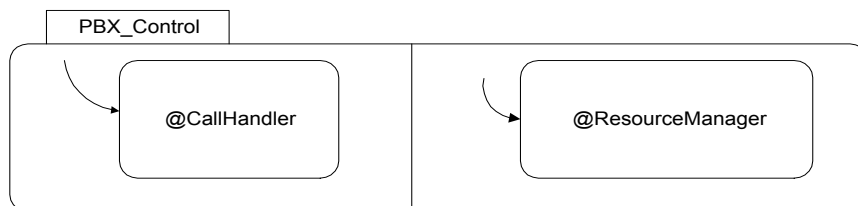


Figure 6. Statechart of PBX_Control.

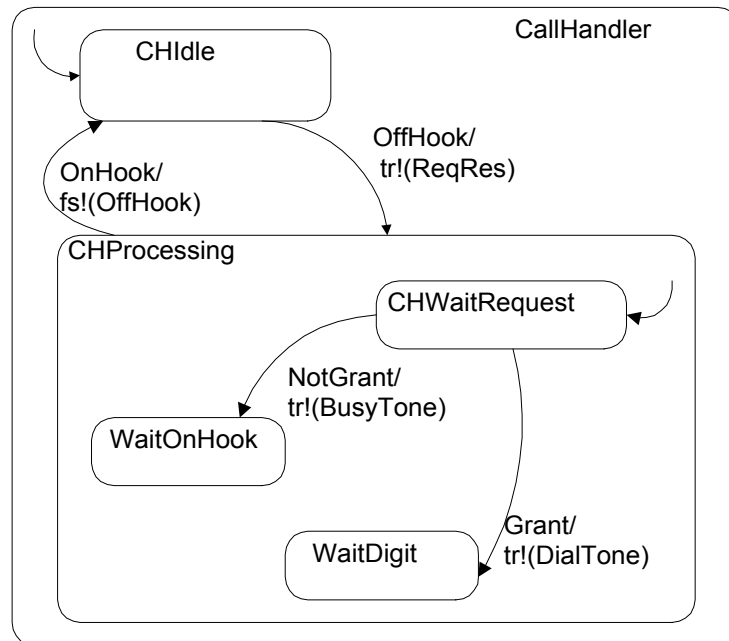


Figure 7. Statechart for CallHandler.

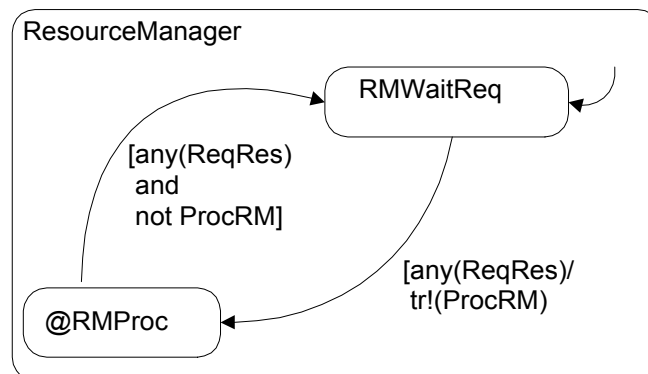


Figure 8. Statechart for ResourceManager.

4.3.1. Task Scenarios for the Developer

D.1 - Design of large system - The developer knows the Statemate design model and the views provided by the conceptual and physical

models. Now, the developer needs to start a large project (e.g., a telephone exchange in this paper) along with a design team. The design team is expected to work in different subsystems and to perform the integration of the subsystems.

D.2 - Existence of a large number of similar activities - The developer faces the challenge that the exchange is composed of two major subsystems, namely a CallHandler and a ResourceManager. The subsystem CallHandler has a large number of modules, called PhoneHandler, which is associated with each phone. Hence, a multiplicity of PhoneHandlers exists.

D.3 - Future need for expanding exchange capacity - The developer is supposed to provide the customer with a system architecture which accommodates future expansion needs. This is a result of the increase in demand for more telephones.

D.4 - Time necessary to meet schedule - The developer or design team is expected to meet the schedule for delivery. Hence, the system architecture should be sufficiently comprehensible to minimize development effort and time, as well as to avoid confusion.

4.3.2. Task Scenarios for the Maintainer

M.1 - On-line modifications - The maintainer should execute his maintenance tasks without causing any interruption in the provided service. Consequently, the system should be as modular as possible so that this activity can be carried out at a specific module with no (or minor) effects on other modules.

M.2 - Consistent notation and documentation - The maintainer expects to find well-defined notation of the system architecture. As well, a documentation of the system consistently tuned to its architecture is another issue that deserves special attention. The requirements serve to minimize the effort and time needed for maintenance. Note that maintainers are not always the same people who develop the system. Thus, special attention must be taken therein.

4.4. An Architectural Analysis of the Statestate Model for a PBX

Having presented the system example (PBX) and the Statestate model for it, the procedures to perform the evaluation, and the scenarios being considered, it is time to apply all of this information to produce the matrix of success factors (MSF). The MSF aims at giving an evaluation of how appropriate the Statestate model is for use as a means to develop

an architecture for large reactive systems. The system example under consideration in this paper encompasses a telephone exchange as presented earlier.

Table 1 shows the MSF for this scenario. Non-functional qualities are placed vertically while design attributes are placed horizontally. As mentioned earlier, this paper makes use of SAAM as a supporting method to perform this analysis. However, neither notation suggested in Kazman *et al.* (1994) for components and connections are used here, and subtle differences exist as discussed in section 4.1. The graphical languages of Statemate are used instead. As prescribed in SAAM, whenever the system architecture under consideration *supports a task directly*, a + ranking is assigned to the architecture, with respect to the scenario. Furthermore, if the system architecture can only support the task indirectly, a - ranking is assigned to it. The steps followed to produce this table were the ones presented in subsection 4.1.2. This table is a result of the compilation of the tables evaluated for each driving scenario.

Given the elements composing the MSF aforementioned along with their corresponding evaluation, an additional explanation of this evaluation scheme is provided in order to justify the results achieved. Such a discussion is presented according to task scenarios considered in section 4.3.

Table 1. Matrix of Success Factors.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I	II	III	IV
	Understandability	Modifiability	Ease of Creation	Scalability
A - Abstraction	+	+	+	+
B - Modularity	+	+	+	+
C - Resource Sharing	+/-	+/-	+/-	+/-

D.1 Design of large system - When designing a large system, a design team usually works together, although each team member has independent tasks. This kind of system requires an understandable system model that enables the design team to perform modeling and analysis. Herein, (I) understandability is called upon, and three design attributes regarded: Abstraction (A), modularity (B) and resource sharing (C). Understandability is, in fact, a quality factor which helps in achieving many of the other necessary qualities such as evolvability and verifiability. The foundation of any system architecture is to provide the

designer with a comprehensive way to enable modeling and analysis. Why this? Because the architecture must be well structured, intuitive, and comprehensive if it to be useful to the variety of people involved, and must be rigorous and formal if it is to serve as the basis for useful analysis and retrieval. The Statestate model allows the designer to gradually grasp the system description resulting in the powerful effect of leading his/her thoughts toward concrete understandability. Another non-functional quality regarded here is ease of creation. Thus, the evaluation of this scenario gives rise to the following success factors.

$$D.1 = SF_{I,A} + SF_{I,B} + SF_{I,C} + SF_{III,A} + SF_{III,B} + SF_{III,C}$$

$SF_{I,A}$ - This success factor (SF in the sequel) receives a + in the matrix (table 1). Why? Consider the system example (PBX) under analysis and its subscribers as shown in Figure 3. This figure constitutes the level 1 module-chart of the system. Note that the existing boxes only show the main modules of the PBX and the environmental module. Next, Figure 4 illustrated the level 2 module-chart for the VSU. Lower levels (other than 1 and 2 of module-charts) were not shown. However, it is worth noting that achieving deeper levels of abstraction is just a matter of adding more details.

$SF_{I,B}$ - As for modularity, note that the Statestate model provides functional, behavioral and structural views. It also allows for the use of principle of separation of concerns from different standpoints. Moreover, for each particular view, the chart can be divided into simpler pieces, resulting in better understandability. Hence, this SF receives a + in the matrix.

$SF_{I,C}$ - Considering a large PBX serving a large number of subscribers, an observation is made. In Figure 5, which shows the two major activities of the PBX, i.e., CallHandler and ResourceManager, note that activity CallHandler will be composed of child activities associated with each phone. Similarly, every group of 100 phones could be placed into one activity, CallHandlerGroup. Thus, e.g., CallHandlerGroup1 is the parent activity of children PhoneHandlers from 1 to 100, CallHandlerGroup2 is the parent activity of children PhoneHandlers from 101 to 200, and so forth. Even though this solution can be worked out, it does not sound like a good one. A similar observation is made by Smith

and Gerhart (1988). They noticed that the Statemate model would not be suitable in a scenario involving an Electronic Funds Transfer (EFT). The EFT consisted of three major components: terminals, banks, and the switch. Since there was a large number of similar activities, they considered Statemate not to be suited for such an application. However, the current version of Statemate, version 5.0, supports generic charts with multiple instances. But, there is a small limitation as mentioned in the Statemate manuals, saying that instances must be basic states and they should not allow static reactions. Hence, this *SF* is assigned with a +/- . Note that the non-functional quality understandability was closely related to the first scenario analyzed, i.e., D.1. Another non-functional quality, ease of creation (also related to this scenario), is analyzed with the aim of reinforcing and clarifying the evaluation attained above.

*SF*_{III,A} - Considering the way abstraction is achieved in the Statemate model, that is, allowing the designer to have as many levels of abstractions as needed to perform the state breakup of the entire system architecture, this *SF* receives a +, reinforcing the evaluation carried out for *SF*_{I,A}. The reader is referred to Figures 3 through 8, which show two levels of abstractions for the PBX. No other lower levels were presented. However, for example, the reader may consider Figure 5 which gives the level 1 activity-chart for the PBX, and execute another abstraction of the activity CallHandler. As pointed out earlier, this activity could contain a set of CallHandlerGroups combining 100 PhoneHandlers. PhoneHandler is supposed to correspond to each subscriber of the exchange.

*SF*_{III,B} - Modularity is also achieved in this system example and the task scenario D.1 is supported, since the Statemate model allows separation of concerns. This issue was mentioned above as well. Consequently, this *SF* is assigned with a +.

*SF*_{III,C} - This *SF* is not supported at all. As discussed earlier, if a large system with multiple instances of the same component comes into play, generic charts can be used to satisfy this requirement. However, because of the limitations (also described above) of the current version of Statemate, this receives a +/-, reinforcing the evaluation made for understandability.

Below is a partial table, presenting the results of the evaluation for scenario D.1.

Table 2. Matrix of Success Factors for Scenario D.1.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I	II	III	IV
	Understandability	Modifiability	Ease of Creation	Scalability
A - Abstraction	+		+	
B - Modularity	+		+	
C - Resource Sharing	+/-		+/-	

D.2 - Existence of a large number of similar activities - Whenever multiple instances of the same component exist in a system example, this requires modularization and resource sharing to be taken into consideration. Together with these design attributes, modifiability (regarding the system evolvability) and scalability are considered to be non-functional qualities. Consequently, this scenario includes the evaluations below.

$$D.2 = SF_{II,B} + SF_{II,C} + SF_{IV,A} + SF_{IV,B} + SF_{IV,C}$$

$SF_{II,B}$ - Since multiple instances of the same component, namely CallHandler, are needed, this requirement should be seen as a need for flexibility in terms of system modularity. The Statemate model allows the designer to *break up* the system in as many boxes as needed as well as to have separation of concerns (the reader is referred to figures 3 - 8). As a result, this SF receives a + in the matrix.

$SF_{II,C}$ - When analyzing scenario D.1 for $SF_{I,C}$, it was mentioned that the Statemate model can support resource sharing. However, some limitations exist as pointed out thereof. Despite small limitations, there is no hindrance in support for this SF , but because of the limitations mentioned earlier, this SF receives a +/- in the matrix.

$SF_{IV,A}$ and $SF_{IV,B}$ - As the system becomes larger, it is compulsory that the system architecture maintains the ability to break up pieces of the original architecture into smaller ones. Scalability in these terms could be viewed as the ability to maintain the *state breakup* in deeper levels. Provided that the higher-level architecture of the system corresponds to the higher-level state of the system, the state breakup operation can be applied to any level of abstraction, including later modifications which result from the increase of the system. Statemate models allow both

abstraction and modularity since their graphical languages have as many hierarchical levels as needed. These design attributes are not only important from the scalability standpoint, but also from the conceptual viewpoint. If the reader considers the figures presented in section 4.2, both modularity and abstraction are two attributes that are clearly supported by the Statemate model. Although only two levels of abstraction have been shown for illustration purposes, others can be added easily. As a result, both *SF*s receive a + in the matrix.

*SF*_{IV,C} - For the application at hand, this is supported. However, because of the limitations mentioned earlier, a +/- is assigned to this *SF* in the matrix. The - part comes mostly from the limitations aforesaid. Below is a partial table, presenting the results of the evaluation for scenario D.2.

Table 3. Matrix of Success Factors for Scenario D.2.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I Understandability	II Modifiability	III Ease of Creation	IV Scalability
A - Abstraction				+
B - Modularity		+		+
C - Resource Sharing		+/-		+/-

D.3 - Future need for expanding telephone exchange capacity - As a long-lifetime, large software system is subject to regular change, it is important that the software is developed and documented in such a way that changes can be made without undue costs. Modifiability can be viewed as two separate quality attributes: repairability and evolvability. Software is repairable if it allows the fixing of defects, and it is evolvable if it allows for changes that enable it to satisfy new requirements. Consequently, modifiability is considered to be sole non-functional quality and it is evaluated against the three design attributes. Thus, for D.3, the following s are considered.

$$D.3 = SF_{II,A} + SF_{II,B} + SF_{II,C}$$

*SF*_{II,A} - The system example worked on in this paper has demonstrated to be easily abstracted. The Statemate model allows the

design to be started either from the conceptual or physical model, resulting in flexibility. Hence, a + is assigned to this SF in the matrix.

SF_{II,B} - As for modularity, the example of the PBX showed that behavioral, functional and structural views of the system components can be worked out with different, but well defined and connected views. The entire model is comprehensible and well-structured which leads to good separation of concerns. Moreover, each view can be broken down into smaller pieces (see figures in section 4.2, which show levels 1 and 2 for the PBX). As a result, this SF receives a + in the matrix.

SF_{II,C} - For similar reasons discussed regarding scenario D.2, this SF receives a +/- in the matrix. Note that despite the small limitations mentioned earlier, this design attribute is supported by the Statemate model. Nevertheless, other examples of reactive systems might be worked out to refine the score of this SF. Below is a partial table, presenting the results of the evaluation for scenario D.3.

Table 4. Matrix of Success Factors for Scenario D.3.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I	II	III	IV
	Understandability	Modifiability	Ease of Creation	Scalability
A - Abstraction		+		
B - Modularity		+		
C - Resource Sharing		+/-		

D.4 - Time necessary to meet schedule - This scenario concerns itself with the time and effort required to develop a system. The Statemate model allows the designer to start either from the conceptual or physical model which consists of three views discussed earlier. Therefore, the three design attributes for the non-functional quality *ease of creation* are evaluated. D.4 encompasses the following SFs.

$$D.4 = SF_{III,A} + SF_{III,B} + SF_{III,C}$$

SF_{III,A} - The Statemate model gives flexibility to designer start-up either from the conceptual or physical model. Several levels of abstractions can be developed. However, the designer can use the

following rule of thumb: *develop as complete a conceptual model of the system as possible, using activity-chart and its controlling statechart, before embarking on the physical decomposition and the connection between the two*. Hence, this **SF** receives a + in the matrix.

SF_{III,B} - Considering Figure 5, note that there is a rounded rectangle responsible for the controlling part of the PBX. It is indeed a statechart, capturing the behavioral view. Besides, different views can be captured by the Statemate model since it is well defined. Furthermore, starting at Figure 5 through Figure 8, three levels of abstraction for the behavioral view are provided. Consequently, this **SF** receives a + in the matrix.

SF_{III,C} - For similar reasons presented when analyzing scenario D.1, this **SF** receives a +/- . It is worth emphasizing that the - comes from the limitations of the Statemate model. In fact, these limitations are mainly considered because the Statemate model has an SEE which allows the designer to execute the models developed. However, this does not constitute an obstacle since multiple instances can be thought of either as orthogonal components of an *AND state*, or as a generic chart with multiple instances (better solution). In the second case, the designer can have a basic state which will consist of a set of sub-states and their connections. The generic chart also allows the designer to have formal parameters which act as *placeholder* for the Statemate element being mapped to it. Formal parameters are used either to connect a generic instance to its scope or define the special characteristics of the particular instance. Below is a partial table, presenting the results of the evaluation for scenario D.4.

Table 5. Matrix of Success Factors for Scenario D.4.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I	II	III	IV
	Understandability	Modifiability	Ease of Creation	Scalability
A - Abstraction			+	
B - Modularity			+	
C - Resource Sharing			+/-	

*M.1 - On-line modifications*⁵ - As discussed in scenario D.3, modifiability can be seen from the evolvability and/or repairability viewpoint. In this scenario, the system evolvability is considered against modularity and resource sharing. The same takes place for scalability. As a result, M.1 is evaluated for the following *SFs*.

$$M.1 = SF_{II,B} + SF_{II,C} + SF_{IV,B} + SF_{IV,C}$$

*SF*_{II,B} and *SF*_{II,C} - If the system example contains, e.g. 1000 subscribers, and it is necessary to increase the number of subscribers to 2000, this can be done locally in the generic chart used for CallHandler. Moreover, new PhoneHandlers associated with each subscriber are added. Now, if another approach using an *AND* state consisting of groups of PhoneHandlers (as orthogonal components) is used to address this scenario, then there will only be the need to add more orthogonal components to meet the need for new subscribers. Consequently, both *Sfs* receive a + in the matrix.

*SF*_{IV,B} - As for modifiability discussed above, the Statemate model gives support to this scenario, and this *SF* receives a + in the matrix.

*SF*_{IV,C} - The evaluation of this *SF* follows the same reasoning presented in scenario D.2. As a result, a +/- is assigned to this *SF* in the matrix. Below is a partial table, presenting the results of the evaluation for scenario M.1.

Table 6. Matrix of Success Factors for Scenario M.1.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I	II	III	IV
	Understandability	Modifiability	Ease of Creation	Scalability
A - Abstraction				
B - Modularity		+		+
C - Resource Sharing		+		+/-

⁵ For the purpose of improving system reliability, the telephone exchange could have two control units, controlling the system behavior, which can co-exist. One is indeed the control software of the system, and the other is a stand-by unit, and partially new functionalities and capacities are added.

M.2 - Consistent notation and documentation - The Statemate model has a set of views which composes the conceptual and physical models. These views have precise meaning; that is, they are well defined. As a result, the models developed can be easily comprehended, avoiding ambiguous interpretations. The following considers understandability and ease of creation against the design attribute abstraction in performing the evaluation of this scenario. Consequently, M.2 is evaluated for the following *SFs*.

$$M.2 = SF_{I,A} + SF_{III,A}$$

SF_{I,A} - Perhaps abstraction is not the best design attribute to evaluate along with understandability. However, abstraction is facilitated when a precise notation is available. As well, a well-defined notation along with underlying semantics of how boxes are related to one another allows computerized analysis. Although few illustrations have been provided in section 4.2, the richness of the Statemate model itself is considered, and a + is assigned to this *SF* in the matrix.

SF_{III,A} - The aspects of the Statemate model highlighted above, together with the comments given for scenarios D.1 and D.4, are used to assign a + to this *SF* in the matrix. Below is a partial table presenting the results of the evaluation for scenario M.2.

Table 7. Matrix of Success Factors for Scenario M.1.

Non-Functional Qualities versus Design Attributes	I	II	III	IV
	Understandability	Modifiability	Ease of Creation	Scalability
A - Abstraction	+		+	
B - Modularity				
C - Resource Sharing				

5. CONCLUDING REMARKS

This work addresses an architectural analysis of the Statemate design model for reactive systems. This is done due to the fact that this system class is considered to be of paramount importance today. There were no competing architectures. Only one was carried out. The same is the case for the system example.

The work concentrates on the telephone system. This was a project decision. Another reactive system could be analyzed and compared against the one worked out. However, this could deviate the major goal of the paper. As well, partial results of several systems would not be beneficial. Hence, the evaluation of one architecture has been pursued. As a result, this may be seen as a suitability analysis, along with a scenario-driven evaluation of the target architecture. Nevertheless, to do an evaluation, a method is needed. Since SAAM is a promising method to do such an evaluation, an attempt to use it was made. Preliminary results indicated that it was not well suited. Thereupon, some subtle changes were introduced to SAAM to fit this project's needs. This resulted in a SAAM-based evaluation approach using success factors. These success factors were motivated by the challenging work being done by Kazman and Bass (1994). Additional considerations were made as discussed throughout section 4. With these success factors, a matrix was built, consisting of design attributes and non-functional qualities, which had a scenario-driven evaluation. At the end of the evaluation, the resulting matrix of success factors indicates the Statestate Design Model to be a potential candidate for the class of reactive systems.

The work reported in this paper has been carried out by the author and is based on his experience with the SEE Statestate and telephone system. As well, consultation was made with technical staff of i-Logix, Inc., which developed Statestate, to confirm information gathered from studies and experiments. Another important fact worth mentioning is that a study carried out by Wood and Wood (1989) on a comparative analysis of four specification methods for real-time systems classified Statechart as a good one. Their study resulted in a collection of recommendations to software developers and method developers. Although their study did not address the reactive systems specifically, their results can be taken into consideration too.

Future directions for this work are expected to concentrate on the refinement of the results achieved from this evaluation by disseminating this approach and having other evaluators running the same procedures presented in this paper.

6. ACKNOWLEDGMENTS

This author would like to thank Rick Kazman for his comments and discussions as well as the technical support group of i-Logix, Inc. for its helpful comments on an earlier version of this paper.

7. REFERENCES

- CLEMENTS, P., KAZMAN, R., ABOWD, G. & BASS, L. *Predicting Software Quality by Architecture-Level Evaluation*. In: BROWN, A. (Ed) IEEE CS Press, Los Alamitos: *Component-Based Engineering*. 1996.
- HAREL, D. Statecharts: a visual approach to complex systems. *Sci. Comput. Program.*, 8:231-274, 1987.
- HAREL, D., LACHOVER, H., NAAMAD, A., PNUELI, A., POLITI, M., SHERMAN, R., SHTULL-TRAURING, A. & TRAKHENBROT, M. STATEMATE: A Working Environment for the Development of the Complex Reactive Systems. *IEEE Trans. Soft. Engin.*, 16:403-413, 1990.
- i-LOGIX. Statemate User and Reference, *i-Logix*, Inc., Burlington, MA, 1992.
- IEEE. ANSI/IEEE Std 729-1983 - Glossary of Software Engineering Terminology, *IEEE*, Inc. 1987.
- LANE, T.G. *Studying software architecture through design spaces and rules*, Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute. Carnegie Mellon University, 1990a. (Technical Report CMU/SEI-90-TR-18).
- LANE, T.G. *A design space and design rules for user interface software architecture*, Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute. Carnegie Mellon University, 1990b. (Technical Report CMU/SEI-90-TR-22).
- KAZMAN, R., ABOWD, G., BASS, L. & CLEMENTS, P. Scenario-based analysis of software architecture. *IEEE Software*, 13(6):47-55, november 1996.
- KAZMAN, R., BASS, L., ABOWD, G. & WEBB, M. SAAM: A method for analyzing the properties of software architectures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING (1994: Sorrento) *Proceeding...* Sorrento, Italy: IEEE CS Press, 1994. p.81-90.
- KAZMAN, R. & BASS, L. *Toward deriving software architectures from quality attributes*, Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute. Carnegie Mellon University, Aug. 1994. (Technical Report CMU/SEI-94-TR-10).
- SHAW, M. Larger scale systems require higher-level abstractions. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE SPECIFICATION AND DESIGN (1989: Pittsburgh). *Proceeding...* Pittsburgh: IEEE Computer Society, 1989.
- SILVA FILHO, A.M. Statecharts supervision models for reactive systems. In: CASCON'95 - THE CENTRE FOR ADVANCED STUDIES CONFERENCE (1995: Toronto). *Proceedings...* Toronto: IBM, 1995b.

- SILVA FILHO, A.M. *Evaluation of suitability of statecharts to real-time supervision for the improvement of telecom system reliability*. Waterloo, 1995a. Dissertação (Mestrado). Dept. of Electrical and Computer Engineering. University of Waterloo.
- SILVA FILHO, A.M. On deriving statecharts supervision models from SDL specifications using SSM. BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SOFTWARE ENGINEERING. (1996: São Carlos). *Proceedings...* São Carlos: USP, 1996a p.73-83.
- SILVA FILHO, A.M., An SAAM-based architectural analysis of the statemate design model using a matrix of success factors. 1996b. (*submitted*).
- SMITH, S.L. & GERHART, S.L. Statemate and the cruise control: A case² study. INTERNATIONAL IEEE COMPUTER SOFTWARE AND APPLICATION CONFERENCE (1988: Chicago). *Proceedings...* Chicago: IEEE CS Press, 1988. p.49-56.
- WOOD, D.P. & WOOD, W.G. *Comparative evaluations of four specification methods for real-time systems*. Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1989. (Technical Report CMU/SEI/-89-TR-36).

UMA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EM EMPRESAS DO MERCADO PARANAENSE

Sarajane Marques Peres* e Tania Fatima Calvi Tait*

RESUMO. A estrutura dos setores de processamento de dados, o perfil do profissional da área, o uso de metodologias de planejamento e desenvolvimento de sistemas, entre outros aspectos, estão sendo modificados em decorrência da mudança no mundo dos negócios, ocasionada pelo uso de tecnologia de informação. Este artigo apresenta um quadro da situação da área de informática, no Estado do Paraná, levantando problemas e tendências desta área, buscando conhecer a realidade das empresas, no que diz respeito aos aspectos citados acima e ao uso de sistemas de informação, envolvendo aspectos do planejamento estratégico de sistemas de informação.

Palavras-chave: planejamento estratégico, sistemas de informação, tecnologia de informação.

EVALUATION OF THE STRATEGIC PLANNING PROCESS OF INFORMATION SYSTEMS IN BUSINESS ORGANIZATIONS OF THE STATE OF PARANÁ

ABSTRACT. The progressive use of information technology in the world of business has been causing structural transformations in data processing sectors, in the profile of informatics professionals, and in system planning and development methodology. This article presents a synoptic chart of informatics situation in the state of Paraná, by drawing up an inventory of the problems and trends and seeking to know the real situation of the business organizations with regard to these aspects and to the use of information systems, and their strategic planning.

Key words: information system, information technology, strategic planning.

* Departamento de Informática, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

Correspondência para Sarajane Marques Peres.

Data de recebimento: 09/10/96.

Data de aceite: 09/12/96.

INTRODUÇÃO

Como todas as coisas vivas, a empresa deve se adaptar ao ambiente e quando deixa de fazê-lo, a empresa morre. A empresa que morreu foi parecida com o dinossauro ..., ao se defrontar com mudanças bruscas no clima da terra e no comportamento competitivo de outras vidas animais e vegetais, o dinossauro se viu incapaz de fazer uma adaptação estratégica ao ambiente... Durante séculos, as empresas viveram e morreram como o dinossauro, incapazes de se adaptarem estrategicamente ao seu ambiente, com a velocidade necessária para manter a sobrevivência. [Rhomas C. Dilon in Machado e Vasconcelos, 1984:4]

...uma empresa alerta e flexível comporta-se como um camaleão e não como um dinossauro. [Marwin Bower, in Machado e Vasconcelos, 1984:4]

...ela precisa adotar um comportamento semelhante ao do homem, ou seja, ser reigente, adaptativo e inovativo. [Machado e Vasconcelos, in Machado e Vasconcelos, 1984:4]

Diante das modificações crescentes na sociedade atual, como: globalização, automatização das atividades, redes públicas, mudanças de regimes governamentais entre outros, as empresas necessitam da busca constante de alternativas viáveis, para se manterem integradas a este processo, consolidando suas atividades e permanecendo competitivas em seu ramo de atuação.

Neste cenário, a informática surge como uma forma de viabilizar a garantia da execução adequada dos serviços e da organização, integrando sistemas de informação, tecnologia de informação e negócios.

Durante os anos 70, tornou-se claro que a informação computadorizada é um recurso de alto valor para as organizações. Tornou-se claro, também, que este recurso necessita de um planejamento de primeira linha, fazendo uso de metodologias adequadas para garantir sua eficiência.

Hoje, o planejamento pode ser considerado como uma necessidade vital para as organizações, principalmente, com a utilização de tecnologia na garantia da competitividade, produtividade e qualidade.

Fatores como: as rápidas mudanças na tecnologia, a escassez de pessoal especializado, a importância dos sistemas de informação e a forte

tendência a integrá-los, exigem a aplicação de um planejamento de sistemas de informação.

Com base nas afirmações acima, considera-se que o planejamento estratégico de sistemas de informação se torna um dos meios de organizar os sistemas de informação, que contribuirão para que a empresa se posicione positivamente no mercado.

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa sobre o uso de Pesi (Planejamento Estratégico de Sistemas de Informação) em empresas do mercado paranaense, realizada com a intenção de formar um quadro da situação da área no Estado, dando suporte a possíveis estudos e melhorias na área. As empresas respondentes fazem parte de uma amostra das duzentas maiores empresas do Estado em número de empregados. Aliado à apresentação e análise dos dados, o artigo demonstra a necessidade de integração entre sistemas de informação, negócios e tecnologia, aprofunda os conceitos de SI (Sistemas de Informação), TI (Tecnologia de Informação) e apresenta metodologias de Pesi comumente encontradas na literatura.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Segundo Ferreira (1986), a informação é o conhecimento amplo e bem fundamentado, resultante da análise e combinação de vários informes.

Olhando por um prisma empresarial, pode-se dizer que a informação é uma coleção de fatos e dados nos quais os administradores se apóiam para as tomadas de decisões que regerão a empresa e gerarão mais informações. Então, devido ao tamanho da influência exercida pela informação na vida da empresa, é necessário que se apresente de forma clara, com alto padrão de precisão, no tempo certo, isto é, no momento em que se faz necessária e, principalmente, a quem tem necessidade e capacidade de manipulá-la.

Cautella e Polloni (1983) colocam alguns fatores que levam as empresas a informatizar os processos de obtenção, uso e geração de informação. Entre estes fatores, destacam-se alguns, tais como: o crescimento da empresa e o lançamento de novos produtos. O lançamento de novos produtos, conseqüentemente, leva as empresas ao aumento do volume de fichas, arquivos e número de funcionários, ocasionando problemas de falta de espaço e dificuldade no controle de pessoal e no manuseio de dados.

Os mesmos autores, ainda, caracterizam a informatização como um meio de solucionar estes problemas, já que a mesma proporciona um aumento na capacidade de armazenamento, ocupando pouco espaço e, principalmente, gerenciando a informação de modo que ela não seja perdida ou duplicada, mas de fácil atualização e de fácil acesso. A segurança e confiabilidade dos dados são elementos necessários neste processo.

Enfim, pode-se dizer que a obtenção e produção de informação de qualidade é alcançada com o uso de sistemas de informação, e que o desenvolvimento destes deve ser cauteloso e criterioso para que se alcance a eficiência desejada pela empresa.

Segundo os autores Ahituv e Neumann (1986), os sistemas de informação são sistemas abertos, que interagem com um ambiente dinâmico, envolvendo vários componentes, como pessoas, máquinas e programas. Pode-se ainda dizer que os sistemas de informação devem tratar a informação como um elemento essencial na tomada de decisão sendo muito importante manter sua precisão e segurança. Assim, os sistemas de informação tornam-se parte integral dos negócios da empresa, assumindo um papel altamente pró-ativo, deixando de ser apenas um instrumento de redistribuição de dados para ser também um instrumento de apoio gerencial.

Inicialmente, os sistemas de informação tinham como função apenas a aquisição, a interpretação, o armazenamento, a recuperação e a exibição de informação. Hoje, considerando o novo enfoque que está sendo dado aos sistemas de informação, pode-se elencar inúmeras funções que estes podem desempenhar. Entre elas, destacam-se, segundo Gurbaxani e Whang (Vilay Gurbaxani *in* Tait, 1994) :

- incrementar a eficiência das operações da empresa;
- processar transações básicas de negócios;
- coletar e fornecer informações relevantes para decisão gerencial;
- monitorar e registrar o desempenho de empregados e unidades funcionais;
- manter registros do estado e da mudança das funções fundamentais dos negócios dentro da organização e manter canais de comunicação.

Observa-se que os sistemas de informação, por serem de extrema importância, devem ser desenvolvidos cautelosamente e criteriosamente, de forma que se garanta a qualidade das informações geradas e a qualidade das transações realizadas por ele.

Um planejamento é de vital importância para assegurar que o papel desempenhado pelos sistemas de informação estejam em total harmonia com os objetivos da organização. É desejável que a organização estabeleça uma filosofia para desenvolvimento de sistemas de informação, construindo uma estrutura dentro da qual as aplicações serão desenvolvidas. Para isso, uma análise estrutural dos diversos setores e negócios da empresa deve ser feita, identificando como os competidores determinam a lucratividade de um setor e/ou negócio, como a empresa pode melhorar a lucratividade de seu setor e/ou negócio e quais os princípios que devem ser seguidos para se conseguir uma vantagem competitiva, fornecendo uma base para que os sistemas de informação se direcionem às metas e objetivos então estabelecidos.

A função dos sistemas de informação deve estar constantemente preparada para as mudanças de requisitos ocasionadas pelos recursos de informação. Quando os sistemas de informação falham, a principal causa é a incompletude e incorreção dos requisitos. Se os requisitos de informação para sistemas de informação são estabelecidos corretamente e completamente e, então, documentados claramente e sem ambigüidade, existe uma alta probabilidade que a aplicação seja projetada e implementada com sucesso.

O desenvolvimento estratégico de uma aplicação tem pretensão de tornar uma empresa mais flexível, mais sensível às necessidades dos clientes ou mais capaz de adaptar-se rapidamente às condições de mudanças do ambiente competitivo, fundamentalmente diferente de investimentos aplicados na automação de um escritório para reduzir os seus custos ou aumentar a capacidade de trabalho (Antonio Carlos dos Santos *in* Tait, 1994).

É importante ressaltar que, após a conclusão do desenvolvimento dos sistemas de informação, é necessário um constante investimento para manter estes sistemas atualizados e integrados.

Todos esses fatores fazem com que se modifique a estrutura dos sistemas de informação, ampliando seu poder de atuação dentro e fora das organizações.

É de grande relevância ressaltar as questões sociais que envolvem este avanço dos sistemas de informação. Questões como a redução de emprego ocasionada pela substituição dos trabalhos manuais por sistemas automatizados poderão acarretar resistência por grande parte das pessoas. Ou, ainda, o aumento da eficiência organizacional e aumento da força de tomada de decisões da gerência poderão acarretar resistência ou

satisfação, dependendo da forma como se desenvolvem os sistemas, por parte do corpo administrativo.

A própria estrutura organizacional da empresa sofre mudanças. Com redes capazes de entregar informações para quem precisa, há menos necessidade de estruturas organizacionais com muitas camadas. O poder das aplicações de suporte à decisão capacita um indivíduo a ter grande poder para controlar eventos. Os executivos, então, controlarão grande volume de operações porque podem manusear mais informações.

A tendência para o futuro, segundo pesquisas na área, é que, assim como hoje existe o telefone, existirá um computador em cada mesa ligado em rede. Os “softwares” e o “hardware” evitarão a necessidade de se usar código de comando. Tomará lugar alguma forma de sintaxe com formas de diálogo, fáceis de serem assimilados. Os bancos de dados, dos quais as informações serão extraídas, serão projetados para serem flexíveis e de fácil extração da informação.

Quando se fala sobre sistemas de informação, não se pode deixar de mencionar a necessidade de se integrar negócios, sistemas de informação e tecnologia de informação. Essa integração pode ser conseguida na junção de três níveis de planejamento: o planejamento de negócios, o planejamento de sistemas de informação e o planejamento de tecnologia de informação. Contribui para o aprimoramento das atividades da organização e, conseqüentemente, para o posicionamento no mercado em que atua.

TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO

Entende-se por tecnologia de informação o uso de equipamentos, entre eles o computador, como ferramentas auxiliares na busca dos objetivos de uma organização ou, ainda, como um facilitador na busca de informações necessárias ao melhor desenvolvimento de uma atividade.

Com o crescimento das empresas e conseqüente aumento de informações, acarretando um maior número de lançamentos de novos produtos, controles, funcionários para controlar todo o processo, a falta de espaço para armazenar os dados gerados, demora na apuração dos resultados e confiabilidade nas informações, torna-se necessário o uso de Tecnologias de Informação para reduzir custos de processamento e aumentar a capacidade dos sistemas (Pedras, 1995:17).

Nos dias de hoje, grande parte da população se encontra em um estado de extrema intimidade com a tecnologia, visto que os bancos em

geral possuem sistemas de caixas eletrônicos, algumas cidades possuem sistemas instalados em terminais, que se encontram espalhados pelas ruas, para que as pessoas se localizem, vários shoppings possuem sistemas, também, instalados em terminais localizados no seu interior, que ajudam os clientes a se localizarem ou obterem informações sobre lojas ou atrações que existem dentro do shopping.

Outro fator que vem revolucionando a área de tecnologia de informação é o uso de redes de informação, que permitem colocar informação ao alcance de muitas pessoas ou organizações, ampliando o alcance dos sistemas de informação.

A evolução da tecnologia causa mudanças na sociedade e, conseqüentemente, no mundo dos negócios, que precisa estar preparado para enfrentar essas mudanças, descobrindo oportunidades e tirando vantagem das mesmas.

Quando se trata de descobrir oportunidades e inovar tecnologicamente, é necessário enfrentar o problema de analisar o futuro e lançar-se à pesquisa e ao desenvolvimento de novos projetos e novos produtos que sejam socialmente aceitos.

Isto se torna realidade, quando se aplica um planejamento de sistemas que envolva também a adoção, ou criação, e a manutenção da tecnologia de informação dentro da empresa.

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

O planejamento estratégico é usado pelas organizações com a finalidade de obter uma maior integração com o ambiente.

Na década de 50, foi desenvolvida nos EUA uma metodologia de planejamento a longo prazo, com profundas influências da tecnologia de planejamento dos países com economia planejada a longo prazo. Os planos a longo prazo tornaram-se projeções de lucro (para 10 anos ou mais) sem muita utilidade, representados por uma enorme quantidade de papel e uma limitada quantidade de pensamento estratégico.

A partir da identificação das deficiências desta metodologia de planejamento, mudanças relevantes foram feitas e, em meados da década de 60, foi introduzida a metodologia de Planejamento Estratégico mediante proposições do professor H. Igor Ansoff, dos pesquisadores do Stanford Research Institute e dos consultores da McKinsey Consulting CO.

O planejamento estratégico também pode ser definido como “um planejamento da organização que permite definir propósitos e prioridades

organizacionais (seu “negócio”, nicho de mercado, clientes) de forma eficaz e efetiva, relacionando a organização com um ambiente externo”.

Na tentativa de antecipar o futuro através de um processo contínuo e sistemático, o planejamento estratégico se volta para o alcance de resultados, tirando vantagem das oportunidades que surgem, examinando os pontos fortes e fracos da organização, estabelecendo e corrigindo cursos de ação. Na realidade, não se pretende, com isso, predizer o futuro, mas sim ajudar os administradores a construí-lo.

Segundo Machado e Vasconcelos (1984), a adoção do planejamento estratégico requer, normalmente, uma mudança bastante significativa na filosofia e na prática gerencial da maioria das empresas públicas ou privadas. O PE (Planejamento Estratégico) não é implantável por meio de simples modificações técnicas nos processos e instrumentos decisórios da organização. É uma conquista organizacional que se inicia em nível de mudanças conceituais da gerência, resultando em novas formas de comportamento administrativo, além de novas técnicas e práticas de planejamento, controle e avaliação.

Ainda segundo estes autores, o planejamento estratégico tem como objetivo principal reduzir o ambiente de riscos e incertezas no processo de formulação de decisões estratégicas. Faz parte de um processo contínuo de buscar conhecimento e informações externas. Não cria automaticamente uma necessidade de novas informações, mas propicia que a organização descubra que lhe falta grande quantidade de informações obrigatórias para planejar o seu progresso futuro.

A partir da necessidade de integração de informações, surge a idéia de planejamento estratégico de sistemas de informação definido por Ahituv e Neumann (1986), como sendo o processo de decidir sobre os objetivos para a função de sistemas de informação, sobre os recursos necessários para alcançar estes objetivos e sobre as políticas que governam a aquisição, uso e disposição dos recursos.

O planejamento estratégico de sistemas de informação pode se apresentar de três formas:

- a longo prazo, que trabalha com a informação futura necessária a toda organização e com a organização de sistemas de informação do futuro, podendo ter um horizonte de 5 a 10 anos e ser largamente conceitual;
- a médio prazo, também conhecido como plano mestre, considerando que a informação presente é necessária a toda organização, sendo projetado para 2 a 5 anos;

- a curto prazo, que é equivalente ao plano anual de sistemas de informação e envolve aplicações de computador, preparação de orçamento, planos de desenvolvimento, planos de pessoal e estabelecimento de metas.

Segundo Martin e Leben (1989), os estágios iniciais do planejamento estratégico de informação devem ser completados em 6 meses ou menos, e para isso uma metodologia deve ser usada. Se a metodologia é insuficiente e ineficiente ou inexistente, o planejamento leva muito tempo tornando-se desacreditado e desagradável.

É recomendável o uso de ferramentas Case (Computer Aided Support Environment) para suportar o Pesi. Assim, detalhes de modelagem de dados são freqüentemente feitos, enquanto o planejamento está sendo formulado, e ferramentas são usadas para ajudar no projeto de sistemas antes que o planejamento seja completado.

A seqüência de passos realizados na análise pode variar de acordo com a empresa. É apresentada aqui uma seqüência de passos sugerida por Martin e Leben (1989):

1. executar ligação do planejamento global e da análise de sistemas para formular uma visão estratégica dos negócios;
2. criar uma visão do modelo entidade-relacionamento da empresa;
3. executar análise do impacto da tecnologia;
4. executar análise dos fatores críticos de sucesso;
5. executar análise de metas e problemas;
6. refinar o diagrama entidade-relacionamento;
7. agrupar entidades em áreas de negócios;
8. estabelecer prioridades para análise de áreas de negócios.

Todos esses passos são suportados por metodologias do Pesi que serão descritas no item 4.

Finalmente, algumas pesquisas realizadas na área apontam alguns fatores que contribuem para o fracasso do Pesi: inadequada perspectiva de longo prazo, recursos insuficientes, falta de métodos apropriados e falta de comprometimento do gerenciamento de topo.

METODOLOGIAS DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Existe uma série de metodologias de planejamento estratégico de sistemas de informação que são encontradas na literatura, e que estão sendo utilizadas pelas organizações.

Porém, pesquisas demonstram que as diferentes abordagens ou metodologias utilizadas pelas organizações, mostram-se especialistas e racionais, o que dificulta o alcance da flexibilidade desejada nos sistemas de informação.

Martin e Leben (1989) dizem que as metodologias servem para estabelecer uma ligação entre o gerenciamento de topo e os executivos de sistemas de informação e os planejadores. Ver Quadros 1a, 1b e 1c.

UMA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EM EMPRESAS DO MERCADO PARANAENSE

A pesquisa sobre o uso do Pesi em empresas do mercado paranaense foi realizada com o uso de questionários enviados às empresas de médio e grande porte, atuantes em variadas áreas do mercado paranaense.

Foram encaminhados 200 questionários, obtendo-se 14 respostas, perfazendo 7% da amostra escolhida. Esta porcentagem está aquém de outras pesquisas no setor, demonstrando a ausência da cultura de participação das empresas em pesquisas deste tipo.

O questionário foi elaborado com base em técnicas estatísticas de elaboração de questionários e é dividido em seis partes:

- perfil do respondente;
- perfil da empresa;
- uso da tecnologia de informação;
- uso de sistemas de informação;
- uso do planejamento estratégico de sistemas de informação (atentando ao uso de metodologias);
- “hardwares” e “softwares” utilizados.

Quadro 1a. Quadro comparativo das metodologias de planejamento estratégico de sistemas. (Tait, 1995)

Metodologia características	Linkage analysis planning	Entidade relacionamento	Fatores críticos de sucesso (FCS)
Objetivo	Mostrar as ligações-chave que existem entre a própria empresa e a organização com a qual ela interage.	Modelar a empresa.	Identificar áreas onde os negócios devem ser melhorados

Tempo gasto	Um ou dois dias		Três semanas
Pessoas envolvidas	Executivos seniores; Executivos do depto de SI; Gerente da área competitiva.		Dois entrevistadores com experiência; Dois analistas: consultor externo e analista interno.
Passos	Analisar as ondas de crescimento; Analisar as curvas de experiência; Analisar relacionamentos de poder; Analisar operação como empresa estendida; Identificar sistemas de suporte de canal eletrônico.	Identificar unidades organizacionais, funções e entidades; Criar um diagrama E-R.	Estabelecer FCS para o chefe executivo; Verificar fontes externas; Analisar entrevistas.
Elementos-chave	Ondas de crescimento de SI; Curvas de experiência; Força industrial; Empresa estendida.	Objetos; Localizações; Funções; Processos.	Missão; Estratégia; Objetivos; Metas; Gerenciamento de topo.
Investimento		Baixo	Baixo
Ferramentas	Case	Case	Case
Recursos utilizados	Quadro das ondas de crescimento de SI.	Organograma; Matriz.	Matriz; Entrevista.
Produto final		Diagrama E-R	Relatório com alcance da FCS.

Quadro 1b. Quadro comparativo das metodologias de planejamento estratégico de sistemas. (Tait, 1995)

Metodologia: características	Análise de metas e problemas	Identificação da área de negócios	Análise entidade/atividade
Objetivos	Identificar metas da empresa	Estabelecer áreas de negócios e relacionamentos entre funções e entidades.	Mapear entidade x atividade e repensar procedimentos.
Pessoas envolvidas	Executivos e entrevistados; Analistas.	Analistas.	Grupo de PE e gerenciamento senior.

Passos	Entrevistas com executivos-chave	Verificar entidades e funções; Transferi-las para um diagrama-matriz; Estabelecer interseções.	Identificar atividades; Usar técnicas de análise de afinidade; Revisão e ajuste dos resultados.
Elementos-chave	Metas; Revisão periódica.	Entidades.	Processo; Função; Atividade; Área de negócios.
Ferramentas	Case		
Recursos utilizados	Matriz; Entrevistas.	Diagrama de funções e entidades.	Matrizes; Fórmulas.
Produto final	Categorização de problemas.	Diagrama mostrando problemas.	Banco de dados de entidades.

Em geral, os respondentes são gerentes de informática, graduados em variadas áreas, com atuação de mais de 9 anos na área de informática. Consideram que o processo de planejamento estratégico é necessário para o desenvolvimento de sistemas. Doze dos respondentes têm envolvimento direto com planejamento de SI e seis têm envolvimento direto com atividade de análise e programação.

Esses profissionais trabalham em empresas de áreas variadas (engenharia, serviço público, refrigeração etc). Apenas três empresas possuem menos de 700 funcionários. O número de sistemas computadorizados varia de 8 a 60. Onze empresas possuem uma equipe própria para desenvolvimento de sistemas que recebem programas de treinamento pessoal.

Quadro 1c. Quadro comparativo das metodologias de planejamento estratégico de sistemas. (Tait, 1995)

Metodologia: características	Análise do impacto da tecnologia	Business system plan (BSP)
Objetivo	Planejar uso da tecnologia a longo prazo.	Traduzir estratégias de negócios em sistemas de informações gerenciais.
Tempo gasto	Três semanas	
Pessoas envolvidas	2 a 3 analistas; gerentes	

Passos		Analisar as classes de dados, elementos, processos, funções; Relacionar estes elementos às informações necessárias à empresa.
Elementos-chave	Recursos tecnológicos	Elementos de dados; Classes de dados; Processo de negócios; Funções.
Investimento		Alto
Recursos utilizados	Matriz: mudanças tecnológicas x oportunidades; Sessões de “brainstorming”; Entrevistas gerenciais.	
Produto final	Diagrama de ação de informação tecnológica.	Uma arquitetura de informação.

A distribuição das empresas respondentes, por ramo de atividade, pode ser observada pela Tabela 1. Dessas empresas, 35,71% possuem outras atividades de negócios, abrangendo indústrias de óleo/rações, supermercados, laticínios, fecularia, destilaria, usina de álcool, algodão, café, milho, transportes, seguros, agropecuária, madeireira e vinicultura.

Essas empresas, além de usar a tecnologia de informação para crescimento, por necessidade e para vantagem competitiva, procuram ainda, através da tecnologia, aumentar a produtividade, facilitar a troca de informações e integrar sistemas.

Tabela 1. Empresas por ramo de atividade.

Ramo de atividade	Número de empresas
Cooperativas	06
Serviço Público	02
Produção de alimentos	02
Refrigeração	01
Indústrias de papel	01
Madeireira	01
Construção civil	01

Os sistemas de informação são desenvolvidos de forma centralizada por seis empresas e de forma descentralizada por oito empresas. Em geral, são integrados e visam às áreas administrativa, financeira e de atendimento ao cliente. É dada, na maioria das empresas, muita ênfase à participação dos usuários finais na especificação dos requisitos para o desenvolvimento dos sistemas.

Somente duas empresas não possuem uma arquitetura de sistemas de informação bem definida. As demais possuem uma ASI (Arquitetura de Sistemas de Informação) formulada com os seguintes objetivos:

- racionalizar, agilizar serviço no atendimento ao cliente;
- disponibilizar subsídios para a tomada de decisão das empresas, tendo em vista seu crescimento;
- obter maior aproveitamento da tecnologia disponível, com aderência aos objetivos empresariais.

A Tabela 2 mostra o elementos que uma ASI comporta:

Tabela 2. Componentes da ASI para as empresas.

Elementos da ASI	Número de empresas
redes de computadores	12
banco de dados	11
sistemas de suporte	08
sistemas estratégicos	08
sistemas de gerência	08
comunicação de dados	01

Com relação ao planejamento estratégico global, duas empresas responderam que não possuem, duas responderam que não possuem o planejamento estratégico global formalizado, duas afirmaram que possuem o planejamento estratégico global por unidade de negócios e oito que o possuem para todos os negócios.

O Pesi é realizado por oito empresas para todos os negócios, quatro não o realizam, uma o realiza por unidade de negócios e uma está implantando um novo planejamento.

Para as empresas que realizam o Pesi, os principais fatores estimulantes são: o forte posicionamento de mercado e necessidade de interagir negócios, sistemas e tecnologia, objetivos estes que o Pesi ajuda a alcançar.

Os fatores externos que mais afetam os Pesi para estas empresas são mostrados na Tabela 3:

Tabela 3. Fatores externos que mais afetam o Pesi.

Fatores externos	Número de empresas
legislação e diretrizes dos programas governamentais	08
inovações tecnológicas	05
comportamentos dos clientes	04
não específica	02

As atividades mais comuns, relacionadas ao Pesi, são: identificar as necessidades dos sistemas de informação e identificar as áreas potenciais para o uso de computadores.

Para as empresas que não possuem o Pesi, as principais causas são a falta de pessoal preparado para a formulação, aplicação e manutenção do mesmo e o fator das restrições orçamentárias.

A periodicidade de revisão do Pesi varia, conforme a empresa, de seis meses a um ano.

Quanto a metodologia usada para o desenvolvimento do Pesi, a situação é mostrada na Tabela 4:

Tabela 4. Metodologias de Pesi usadas pelas empresas.

Metodologia	Número de empresas
Análise das Áreas de Negócios	06
Metodologia Própria	06
Fatores Críticos de Sucesso	02
Não usa metodologia	02

É importante notar que algumas empresas utilizam mais de uma metodologia.

A tecnologia de informação é usada por onze empresas por necessidade, seis por vantagem competitiva e cinco por crescimento. As tecnologias de informação que mais aparecem estão apresentadas na Tabela 5:

Tabela 5. Tecnologias de Informação mais usadas pelas empresas.

Tecnologias de informação	Número de empresas
Automação de escritórios	11
Telecomunicações	11
Sistemas de apoio à decisão	08

Os principais motivos apontados pelas empresas para a adoção de TI são apresentados na Tabela 6:

Tabela 6. Motivações para o uso de TI pelas empresas.

Motivos incentivadores	Número de empresas
Aumento da produtividade	13
Facilidade na troca de informações	11
Integração de sistemas	11

Todas as empresas possuem redes de computadores. os motivos citados para justificar a utilização dessa tecnologia são:

- compartilhamento, segurança de informações e base para aquisição de sistemas prontos;
- utilizadas na rede de supermercados com servidores UNIX;
- padronização de dados;
- custo;
- integração dos sistemas com as ferramentas disponíveis nos micros e possibilidade, no futuro, de migrar para outras plataformas;
- descentralização dos uso dos sistemas;
- integração de “hardware”;
- adequação do ambiente às necessidades de negócios.

CONCLUSÃO

Através da pesquisa, foi possível conhecer aspectos sobre o uso de sistemas de informação, tecnologia de informação e planejamento estratégico de sistemas de informação dentro do contexto das empresas paranaenses, assim como conhecer o perfil dessas empresas e dos profissionais da área de informática.

Analisou-se ainda o uso de sistemas de informação integrados à tecnologia de informação e negócios, a realização e a utilização de planejamento (global e estratégico), bem como os motivos que levam as empresas ao uso do planejamento de Tecnologia de Informação que estão disponíveis dentro das empresas.

É importante ressaltar que houve, nesta pesquisa, grande dificuldade em receber as respostas, apesar da insistência feita através de cartas e fax.

Infelizmente, o número de empresas respondentes perfaz uma porcentagem pequena diante de algumas pesquisas semelhantes, porém, devido ao fato de que as empresas respondentes são de grande relevância no mercado, acredita-se que os dados obtidos possam explicitar a situação do mercado. Algumas questões importantes para a conclusão da pesquisa não foram respondidas pela maioria dos respondentes. Essas questões se referiam às características das metodologias adotadas, ao conjunto de regras e políticas adotadas para uso de TI e ao roteiro seguido para a realização do Pesi.

Contudo, a despeito das dificuldades expostas, espera-se que este estudo venha a ser de grande utilidade aos professores, estudantes e profissionais, abrindo as portas para que se aperfeiçoe ainda mais a área de informática.

Considera-se, também, este um passo importante para aperfeiçoar o relacionamento entre empresas e universidades, pela troca de informações proporcionada pela pesquisa, que mostrou aspectos relevantes como:

- grande diversidade na formação profissional dos responsáveis pelo setor de informática e diversidade nos nomes dos setores, mostrando a falta de padronização da área nas empresas;
- existe forte preocupação, por parte dos respondentes, com a necessidade de interagir TI, SI e negócios;
- é freqüente o uso de processo de reorganização de atividades como terceirização e reengenharia;
- há grande preocupação em capacitar e atualizar os profissionais da área com a realização de cursos de aprimoramento pessoal;
- existe centralização no desenvolvimento de SI, tanto nos negócios quanto nas empresas;
- apesar de as empresas estarem proporcionando cursos de aprimoramento e atualização, ainda percebe-se a falta de pessoal especializado para a realização do Pesi;
- as empresas apontam como um dos fatores inibidores para a realização do Pesi as restrições orçamentárias, deixando transparecer uma política que considera a informática como despesa e não como investimento;
- fatores que sofrem influência da política que rege o país, tais como legislação, diretrizes dos programas governamentais e globalização do mercado, são altamente considerados como fatores que afetam o Pesi.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHITUV, N. & NEUMANN, S. The Information system plan. Information system: From Theory to Practice, Principles of Information System for Management, WCB, Debuque (Iowa): WEB, 1986. p.150-173.
- CAUTELA, A.L. & POLLONI, E.G.F. *Sistemas de informação na administração de empresas*. São Paulo: Atlas, 1983. p.18-25.
- FERREIRA, A.B.H. *Novo dicionário da língua portuguesa*. 2.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- OHMAL, K. The Mind of the strategist. Copyright 1982 by McGraw Hill, Inc. Reprinted by permission, 1982.
- MACHADO, A.M.V.F & VASCONCELOS, P. *Planejamento estratégico, formulação, implantação e controle*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1984.
- MARTIN, J & LEBEN, J. *Strategic information planning methodologies*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1989.
- OLIVEIRA, D.P.R. de. *Planejamento estratégico*. São Paulo: Atlas, 1987, p.20-110.
- PEDRAS, M.E.V. *Uma avaliação do processo de planejamento estratégico de sistemas de informação em cooperativas do mercado paranaense*. Maringá, 1995. Monografia (Especialização em Sistemas de Informação) - Universidade Estadual de Maringá.
- TAIT, T.F.C. *Uma avaliação do processo de planejamento estratégico de sistemas de informação em empresas do mercado brasileiro e uma proposta simplificada de arquitetura de sistemas de informação*. São Carlos, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de São Carlos.
- TAIT, T.F.C. *Planejamento estratégico de sistemas de informação*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1995. (apontamentos; 40).

MODELAGEM DA MÉDIA E DA VARIABILIDADE DE DADOS DE EXPERIMENTOS INDUSTRIAIS

Terezinha Aparecida Guedes* e Plinio Stange*

RESUMO. O objetivo deste artigo é apresentar um procedimento para a modelagem de médias e variâncias de dados de experimentos industriais. O procedimento apresentado segue os princípios estatísticos de modelagem. São apresentados alguns passos importantes na modelagem conjunta.

Palavras-chave: modelagem conjunta, modelagem da média, modelagem da variância.

MODELLING MEAN AND VARIABILITY OF INDUSTRIAL EXPERIMENTS DATA

ABSTRACT. The objective of this article is to present a procedure to model mean and variance of industrial experiments data. The procedure presented follows the statistical principles of modelling and the principal steps for joint modelling are presented.

Key words: joint modelling, mean modelling, variance modelling.

INTRODUÇÃO

A intensa competição dentro do mercado internacional tem revelado que a qualidade dos produtos é a chave para o sucesso das indústrias. Assim sendo, a melhoria da qualidade tem sido a grande preocupação dos engenheiros.

Um engenheiro japonês, Professor Genichi Taguchi, desenvolveu uma coleção de técnicas para a melhoria da qualidade visando a uma

* Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

+ Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa postal 476, 88040-900, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil. "In Memoriam".

Correspondência para Terezinha Aparecida Guedes.

Data de recebimento: 14/10/96.

Data de aceite: 19/12/96.

grande variedade de problemas de engenharia no planejamento, na evolução e na fabricação de produtos. Taguchi utiliza os planejamentos fatoriais fracionários, ou similares a estes, para conduzir os seus experimentos, os quais ajudam a minimizar a variação da característica funcional do produto em torno de um valor nominal. A variação da característica funcional do produto é causada por fatores de ruído. Taguchi classifica os fatores que provocam o desvio da característica funcional do produto de seu valor nominal em três categorias [Taguchi (1987), Kachar (1985, 1989), Taguchi e Phadke (1984)]: fatores externos, tais como: temperatura, umidade ou variações humanas na operação do produto; imperfeições na produção; deterioração do produto por uso ou estocagem. Taguchi enfatiza o planejamento do produto antes do estágio de manufatura porque durante este estágio todas as três categorias de fatores de ruídos podem ser controladas. Para obter produtos não sensíveis a tais fontes de ruídos, os fatores experimentais são classificados em dois grupos: fatores que afetam a variabilidade e possivelmente a média do produto e os fatores que afetam somente a média do produto. Pode haver fatores cujos efeitos não afetam a média nem a variabilidade do produto. Taguchi apresenta uma coleção de planejamentos experimentais, os quais, segundo ele, permitem identificar uma combinação dos níveis dos fatores, dos dois grupos, que minimizam a variação enquanto a característica funcional do produto atinge o seu valor nominal. Este processo tem sido estudado por muitos autores incluindo León *et al.* (1987), Box (1986, 1988) e Nair e Pregibon (1986). Estes experimentos, propostos por Taguchi permitem que a variação e a média sejam medidas e modeladas como funções dos fatores experimentais. O método de análise, proposto por Taguchi, envolve definir uma medida do desempenho para a variabilidade do processo e definir a média do processo como uma quantidade de interesse, e então relacionar estas medidas aos fatores experimentais. Entretanto, as controvérsias sobre o uso dos métodos, originalmente desenvolvidos por Taguchi, têm sido assunto de discussões entre vários autores [Box e Meyer (1986), Box (1988), León *et al.* (1987) e Logothetis (1990)].

Estudos minuciosos das estatísticas envolvidas e das técnicas de otimização destas estatísticas têm revelado falhas. Muitos estatísticos e engenheiros vêm demonstrando que as estatísticas utilizadas, como o desempenho a ser medido e as técnicas de otimização recomendadas por Taguchi são freqüentemente difíceis de entender, ineficientes e, algumas vezes, grosseiramente incorretas. Por esta razão, eles têm criticado a

aplicação destas estatísticas de desempenho e desenvolvido procedimentos alternativos, estatisticamente, mais eficientes com o objetivo de melhorar a qualidade de produtos fabricados (Nair e Pregibon (1986), Leon *et al.* (1987), Box (1988) e Castillo e Montgomery (1993)). Um dos principais pontos fracos da metodologia de Taguchi é a definição de uma quantidade sumarizadora (usualmente a razão sinal/ruído) e sua modelagem em termos dos fatores experimentais. Este procedimento inverte o procedimento estabelecido pela análise estatística, em que os modelos são primeiramente desenvolvidos para as respostas relevantes, neste caso a média e a variância, o processo de selecionar o modelo seguida da construção de quantidades sumarizadoras com limites de erros, isto é processos de modelos de predição [McCullagh and Nelder, (1989) cap. 10]. Outro ponto fraco é o uso da razão sinal/ruído. Como mostrou Box (1986, 1988), o uso da razão sinal/ruído só tem sentido quando o logaritmo das respostas tem uma distribuição normal de erros. Além destes pontos fracos, existem outras objeções do ponto de vista estatístico, tais como o uso de estimadores ineficientes e viesados e na inapropriada forma de lidar com dados de contagem e proporções [Box (1988)]. Este artigo tem por objetivo desenvolver um procedimento de modelagem de médias e variâncias, o qual satisfaz estas objeções e permite que análises sejam realizadas com os algoritmos apropriados, que serão discutidos em artigos futuros.

MODELAGEM DA RESPOSTA

O procedimento de modelar a resposta foi discutido por Lucas (1985), Welch *et al.* (1990), Box e Fung (1986), Shoemaker *et al.* (1991), Montgomery (1991), Engel (1992), Myers *et al.* (1992) e outros. Seguindo a sugestão de Lucas (1985), de que é mais fácil analisar e explicar várias respostas, incluindo respostas de sinal e de ruído, dados são gerados através de experimentos e utilizados para construir modelos para as médias e para as variâncias, de r réplicas de cada combinação dos fatores, como funções dos fatores experimentais para cada uma das características de qualidade. Será denominado modelo de locação o modelo para a média e, modelo de dispersão, o modelo para a variância de cada uma das respostas.

O aspecto não usual deste procedimento é que se quer modelar as funções $V(Y)$ e $E(Y)$. Procedimentos para experimentos planejados com o objetivo de modelar a esperança da resposta estão bem estabelecidos.

Em geral, é mais difícil analisar o efeito dos fatores sobre $V(Y)$ (ver Gunter 1988 e Carrol e Rupert 1988). Primeiro, é usualmente mais difícil obter uma estimativa relevante da variância que da média. Para um dado conjunto de condições incluídas no experimento, o número de replicações necessárias, para se obter uma estimativa razoável da variância, pode ser muito grande e, então, não ser economicamente viável. Segundo, deve-se ter o cuidado de assegurar que a variação observada sob condições experimentais, realmente, reflita o que ocorre sob condições práticas de operação. Isto realmente ocorre, quando um experimento de laboratório está sendo usado para explorar o processo de produção ou o experimento está sendo realizado em um intervalo de tempo relativamente curto.

Suponha-se um experimento planejado para investigar os efeitos dos fatores sobre $E(Y)$ e $V(Y)$. As combinações dos níveis dos fatores deverão ser alocadas em um arranjo adequado. Usualmente, algum tipo de planejamento fatorial poderá ser adotado. Suponha-se que n_j observações replicadas sejam tomadas para cada uma das n_i combinações dos níveis dos fatores. Então para a i -ésima combinação dos fatores, $E(Y_i)$ e $V(Y_i)$ poderão ser estimadas, usando:

$$\hat{\mu}_i = E(Y_i) = \bar{y}_i \text{ e } \hat{\sigma}_i^2 = s_i^2 = V(Y_i) = \frac{\sum_j (Y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{(n_j - 1)},$$

onde j é o índice das replicações. Note-se que o procedimento de aleatorização afetará as fontes de variações (fatores aleatórios e indicativos) representadas em s_i^2 . Por exemplo, considere os seguintes procedimentos de aleatorização:

1. as n_i combinações dos fatores são aleatorizadas e para cada combinação, n_j observações consecutivas são tomadas deixando fixos os níveis dos fatores;
2. todas $n_i \times n_j$ corridas do experimento são aleatorizadas e os níveis dos fatores são reestabelecidos para cada nova corrida.

Claramente, espera-se que os valores de s_i^2 , calculados para o primeiro procedimento, sejam menores que os calculados para o segundo procedimento, desde que as observações sejam tomadas sobre um pequeno intervalo de tempo e com os níveis constantes para os fatores. Entretanto, nos valores de s_i^2 , para o segundo procedimento, estão incluídos os efeitos dos fatores aleatórios, que variam significativamente

sobre o longo período de tempo requerido para obter as observações, os quais são relativamente constantes sobre o período de tempo necessário para obter as n_j réplicas para o primeiro procedimento. Também, qualquer variação induzida pelo restabelecimento dos níveis dos fatores são incluídos usando o segundo procedimento e não o primeiro. O procedimento preferido dependerá da aplicação individual. Isto ilustra os tipos de dificuldades encontradas no planejamento de experimento para modelar a variância.

Considerações similares ocorrem com respeito à designação das unidades experimentais para a partida. O planejamento experimental deverá ser escolhido cuidadosamente, para assegurar que a variação experimental reflita a variação do processo. Assumindo que um experimento adequado tenha sido planejado e realizado com r réplicas de cada combinação dos fatores, então, $\hat{\mu}_i$ e s_i^2 (ou suas funções de transformações quando houver necessidade), deverão ser utilizados para construir modelos de respostas como funções dos fatores do experimento.

Os fatores, que permanecerão nos modelos ajustados de locação e de dispersão, poderão ser identificados utilizando metodologia padrão tais como o teste t , os gráficos de probabilidade normal e seminormal e gráficos de resíduos.

Quando os fatores de ruído são incluídos no experimento, Taguchi recomenda que seja adotado o arranjo produto, onde os fatores de controle variam de acordo com o arranjo interno e os fatores de ruído de acordo com o arranjo externo. Neste caso, μ_i e s_i^2 para cada combinação dos fatores de controle serão calculados sobre as observações para a correspondente corrida do arranjo interno. Um prejuízo para este procedimento é que todas as informações sobre os fatores de ruído individuais, bem como a variação residual (variação não explicada pelos fatores de ruído) são agrupadas em s_i^2 . Isto resulta em perda de um montante substancial de informações detalhadas. Box (1988), Shoemaker *et al.* (1991) e Wu em Nair *et al.* (1992) discutiram este procedimento e colocaram muitas objeções quanto a suas aplicações. Em particular, informações individuais sobre os fatores de ruído serão úteis para avaliar a contribuição relativa destes fatores na variação transmitida para a resposta e, assim, indicar as áreas onde mais atenção e cuidados deverão ser concentrados. Informações, como quais fatores de controle afetam fatores de ruídos específicos, podem também, sugerir novos caminhos

para minimizar o efeito daqueles fatores de ruído. Ainda, pode-se notar que agrupar todas as fontes de variação em s_i^2 significa que existe uma implicada importância para estas fontes. Shoemaker *et al.* (1991) recomendam o uso do arranjo combinado, para acomodar fatores de controle e ruído e, assim, investigar os efeitos individuais dos fatores bem como suas interações. Este procedimento resulta em uma maior flexibilidade na escolha do planejamento dos fatores.

O procedimento de modelar a resposta, como uma função dos fatores do experimento, é um método de análise estatística discutido e proposto por vários autores. Box e Fung (1986), Welch *et al.* (1990), Shoemaker *et al.* (1991), Montgomery (1991), Engel (1992) e Myers *et al.* (1992) discutiram este procedimento. A idéia básica é obter mais informações sobre a influência dos fatores de ruído sobre a resposta, incluindo estes fatores no modelo de locação. Os fatores de ruído, geralmente, são incluídos nos experimentos como efeitos fixos; então, superfícies de respostas para a média e variância podem ser construídas, facilmente, pelo uso dos arranjos cruzados ou dos arranjos combinados.

Para muitos conjuntos de dados, as suposições básicas dos modelos clássicos, normalidade dos erros, variância constante e linearidade dos efeitos sistemáticos, não são satisfeitas. Nestes casos, transformações nos dados, que permitam que tais condições sejam satisfeitas, são necessárias para que a análise de regressão seja válida. Box e Cox (1964) sugeriram a transformação potência da resposta para satisfazer estas condições básicas e os critérios de separação e parcimônia. Isto significa que uma transformação, além de proporcionar erros normais e variância constante:

- i. poderá eliminar a dependência funcional entre a média e a variância (critério de separação);
- ii. proporcionará, com a resposta transformada, um modelo aditivo simples para a média e para a variância (critério de parcimônia).

Para identificar a potência da transformação, Box sugere um gráfico chamado “Lambda”. Para a separação, Nair e Pregibom (1988) propõem o gráfico média-variância, Logothetis (1990) sugere o uso de regressão simples do log. do desvio padrão sobre a média e Engel (1992) desenvolveu um algoritmo, com base em regressão simples, através de mínimos quadrados, do log. da variância sobre o log. da média.

Nelder e Lee (1991) sugerem o uso de modelos lineares generalizados para obter os modelos conjuntos para a média e para a variância. Eles utilizam o gráfico média-variância e/ou o método de regressão simples de Logothetis como ferramentas exploratórias. A metodologia apresentada por

Nelder e Lee requer a utilização do programa estatístico GLIM (“Generalized Linear Interactive Modelling”).

FORMULAÇÃO GERAL DO PROBLEMA

Considere:

- $Y_k = [y_{ij}]_{n \times r}$, uma matriz de valores observados para o desempenho da k -ésima característica de qualidade, $k=1, 2, \dots, K$, onde n é o número de corridas e r é o número de repetições de cada combinação de fatores do experimento;
- $E(Y_k) = [\bar{y}_{ik}]_n$, um vetor de médias. Isto é, $\bar{y}_{ik}$ representa a média da i -ésima linha da matriz $Y_k = [y_{ijk}]_{n \times r}$. Resposta a ser modelada;
- $\text{Var}(Y_k) = [s_{ik}^2]_n$, é um vetor de variâncias, onde s_{ik}^2 representa a variância da i -ésima linha da matriz $Y_k = [y_{ijk}]_{n \times r}$. Resposta a ser modelada;
- $X_{\text{con}} = [X_{\text{con}1}, X_{\text{con}2}, \dots, X_{\text{con}k}]$ um vetor de fatores de controle do experimento, são variáveis aleatórias contínuas ou discretas com distribuições de probabilidades conhecidas ou desconhecidas. Seja $\text{Cov}(X_{\text{con}}) = V(X_{\text{con}})$ a matriz de variâncias e covariâncias de X_{con} ;
- $X_{\text{rui}} = [X_{\text{rui}1}, X_{\text{rui}2}, \dots, X_{\text{rui}p}]$ um vetor de fatores de ruído do experimento e seja $\text{Cov}(X_{\text{rui}}) = V(X_{\text{rui}})$ a matriz de variâncias e covariâncias de X_{rui} .

Considere-se, também, que o relacionamento funcional entre os fatores e as respostas, Y , $E(Y)$ e $\text{Var}(Y)$ pode ser descrito por uma função, que será denominada função de resposta. Para simplicidade de notação será utilizado:

$$Y = f(X_{\text{con}}, X_{\text{rui}}) + \varepsilon, \quad (1)$$

para representar os modelos para Y , $E(Y)$ e $\text{Var}(Y)$.

A função $f(X_{\text{con}}, X_{\text{rui}})$ será uma função linear ou não-linear dos fatores, dependendo do tipo de planejamento escolhido para acomodar os fatores incluídos no experimento, e ε é um vetor $n \times 1$ de erros aleatórios com média zero e matriz de variâncias-covariâncias $\text{Cov}(\varepsilon) = s_{\varepsilon}^2 I$.

HIPÓTESES SOBRE OS MODELOS

Os modelos que irão representar cada uma das funções de resposta

$$Y = f(X_{\text{con}}, X_{\text{rui}}) + \epsilon$$

deverão satisfazer as seguintes suposições:

- homogeneidade das variâncias;
- simplicidade da estrutura para o valor esperado da resposta;
- erros aditivos com distribuições, pelo menos, aproximadamente normais e independentes.

Se não for possível satisfazer estes três requisitos, na escala original de medida da resposta Y , é possível que exista uma transformação da resposta, que produzirá homogeneidade das variâncias e, pelo menos, aproximadamente, normalidade dos erros.

Em geral, a forma de ligação dos valores esperados da resposta aos níveis dos fatores do experimento pode ser representada pela expressão:

$$\mu = E(Y) = f(X, \beta) \quad (2),$$

onde $X = (X_{\text{con}}, X_{\text{rui}})$ é o conjunto dos fatores do experimento e

$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ representa um conjunto de parâmetros a serem estimados.

A variância de Y pode ser escrita da seguinte forma: $V(Y) = \phi V(\mu)$, onde ϕ é um parâmetro de dispersão e $V(\mu) = \partial\mu/\partial\beta$ é a função da variância.

A equação (2) é dita representar o modelo mecânico. Frequentemente, não se tem o necessário conhecimento físico do produto ou processo ou o conhecimento é incompleto e, conseqüentemente, não se tem o modelo mecânico. Nestas circunstâncias, pode-se aproximar, localmente, dentro dos limites dos fatores experimentais, $f(X, \beta)$ por uma função de interpolação tal como um polinômio.

APROXIMAÇÕES DAS FUNÇÕES DE RESPOSTA

As investigações de sistemas são realizadas, frequentemente, com respeito à explicação de algum relacionamento funcional, $\mu = E(Y) = f(X)$, conectando o valor esperado (isto é, o valor médio) de uma resposta Y . Neste trabalho, duas respostas são de interesse: a média e a variância de n replicações do experimento. Para cada uma destas respostas, existirá um relacionamento funcional separado.

A função, $f(X)$, frequentemente, não é conhecida. Assim sendo, é necessário utilizar-se de um método de aproximação, que resulte em uma função que melhor represente o sistema estudado.

Uma boa aproximação será aquela em que:

$$\text{dist}_\infty(f, g) = \inf \|f - g\|_\infty, \quad (3)$$

onde g é a função de aproximação e $\|f - g\|_\infty$ é a norma de Tchebycheff.

Por apresentarem uma estrutura simples e boas propriedades de aproximações, os polinômios algébricos são amplamente utilizados, na prática, para aproximações de funções. O grau desta aproximação depende essencialmente do grau do polinômio e do comprimento do intervalo considerado. As operações computacionais de um polinômio de alto grau apresentam algumas dificuldades e, por isso, é aconselhável trabalhar com polinômios de baixo grau. Para maiores detalhes, ver os livros textos de Box e Draper (1987), Khuri e Cornell (1987) e Myers (1976). Para os casos em que as funções que devem ser aproximadas não são monótonas e, portanto, a distância (3) não será mínima, para obter a precisão desejada é necessário restringir o comprimento a pequenos intervalos. Ou seja, é necessário dividir o intervalo original em pequenos subintervalos e ajustar um polinômio para cada um deles. Este método é conhecido como aproximações por funções “splines”. Os autores Shumaker (1968), Greville (1968), DeBoor (1973), Bojonov, Hakopian e Sahakian (1993) e Dierckx (1993) apresentam esta metodologia detalhada e justificam suas qualidades

PROCEDIMENTO PARA A MODELAGEM DA MÉDIA E DA VARIÂNCIA

Para a modelagem das respostas, muitos são os procedimentos recomendados na literatura. Myers *et al.* (1992) propuseram a utilização de um modelo para o processo, ajustado em X_{con} e X_{rui} e a variância de X_{rui} , para a estimação da variância do processo, como uma função de X_{con} . O relacionamento da variância não é estabelecido de um modelo ajustado para o processo de variação, mas através de computações feitas sobre o modelo ajustado, para o processo de um experimento em que X_{con} e X_{rui} são efeitos fixos. Ele considerou os casos, com e sem interações entre fatores de controle e ruído. Engel (1992) recomendou regressão linear utilizando a transformação log. para média e variância.

Vários autores, como Box e Meyer (1986), Nair e Pregibon (1988) e Vining e Myers (1990) sugerem o uso de modelos padrões de superfícies de resposta para a variância ou para uma transformada da variância. Geralmente, o uso do $\log(s^2)$ é sugerido, seguindo a indicação de Bartlett e Kendall (1964). Bartlett e Kendall não recomendam a utilização desta

transformação quando o número de repetições, r , é menor que 5 e para $5 \leq r \leq 9$, recomendam que seja utilizado com cuidado.

O problema é construir modelos de resposta para a média e para a variância de r repetições das combinações dos fatores experimentais. Os modelos devem ser construídos de forma que a dependência funcional entre a média e a variância, da resposta que está sendo modelada, seja eliminada pela escolha apropriada da função da variância, $V(\mu)$. Observe-se que para cada modelo (seja para locação ou dispersão) se tem uma função de variância $V(\mu)$ e que Y representará ora a média, ora a variância do processo.

Para o critério de Taguchi, será necessário fazer suposições sobre os dois primeiros momentos, $E(Y) = \mu$ e $V(Y) = \phi V(\mu)$ [Nelder e Lee (1991)]. Para a análise dos dados e construção dos modelos, os passos descritos abaixo são sugeridos neste trabalho: a) identificação de $V(\mu)$; b) modelagem conjunta da média e da variância; c) avaliação do modelo (análise de sensibilidade);

IDENTIFICAÇÃO DE $V(\mu)$ - 1º passo

Considerando o critério de separação, o objetivo é eliminar a dependência funcional entre a variância e a média da variável de resposta (neste caso, a resposta poderá ser a média ou a variância dos valores observados). Geralmente, a dependência é da forma $\text{Var}(Y) \propto \mu^\alpha$. O gráfico de média vs variância de Nair e Pregibon (1988), quando existem replicações, e o método de regressão simples devem ser utilizados.

A análise deverá ser iniciada pelos gráficos de resíduos do modelo de regressão simples. Os gráfico de resíduos vs valores ajustados e o gráfico de resíduos vs X_i são ferramentas valiosas para revelar a heterogeneidade das variâncias.

MODELAGEM CONJUNTA DA MÉDIA E DA VARIÂNCIA - 2º Passo

Para a modelagem conjunta da média e da variância, o critério de parcimônia deve ser considerado como o mais importante. Isto é, procurar um modelo simples para representar a resposta.

Deve-se analisar os gráficos de resíduos dos modelos de regressão simples e considerar a necessidade de usar modelos mais complicados.

Deve-se analisar a necessidade de adicionar termos polinomiais nos fatores ou seguir a sugestão dada pelo crescimento da variância com a resposta e fazer transformações que estabilizem a variância. E então, modelos aditivos simples para a média e variância, com transformações nas respostas e/ou nos fatores, se necessárias, devem ser considerados. O objetivo é escolher a transformação adequada que leve à satisfação das suposições de normalidade dos erros, variação constante e linearidade dos efeitos sistemáticos. O gráfico lambda de Box (1987, 1988) é uma das ferramentas que podem ser utilizadas para detectar a potência da transformação da resposta, se uma transformação potencial for a escolhida. Ver Box e Cox (1994).

Simplicidade da estrutura implica que um modelo de primeira ou de segunda ordem, com poucos termos quadráticos e interações, seja o modelo escolhido.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO MODELO

(ANÁLISE DE SENSIBILIDADE) - 3º Passo

São muitos os critérios, para a avaliação dos modelos, recomendados na literatura [Weisberg (1980), Rawlings (1988), McCullagh e Nelder (1989) e outros)]. Neste trabalho, recomenda-se que a avaliação do modelo seja realizada através dos seguintes itens:

- avaliação da seleção dos fatores; (nos termos do modelo);
- avaliação da função da variância;
- exposição visual e análise dos resíduos;
- detecção de pontos influentes e “outliers”.

O modelo deve ser avaliado para detectar a consistência interna. Se um destes quatro itens falhar, deve-se reanalisar a identificação da $V(\mu)$ (voltar ao passo (a) sugerido no item: procedimento para a modelagem da média e da variância).

SELEÇÃO DOS FATORES

A seleção de um bom conjunto de fatores, para formar a base de um modelo parcimonioso, não é uma tarefa trivial. Existem dois tipos de problemas: um estatístico e outro computacional, quando todas as possíveis combinações dos fatores são testadas para a inclusão no modelo.

O problema estatístico está em definir o equilíbrio entre dois efeitos pela inclusão de um novo termo no modelo. O efeito positivo pode ser

uma redução na discrepância entre os dados observados e os valores ajustados através do modelo; o efeito negativo está no modelo menos parcimonioso. Se a adição de um fator reduz o quadrado médio do resíduo (por exemplo, em um terço de seu valor original) não se deve hesitar na inclusão deste fator, particularmente, se o número de graus de liberdade do resíduo for grande. Se a adição não causa redução, a parcimônia prevalece e o fator não deve ser incluído no modelo. O caso intermediário é a causa da dificuldade. Na presença de muitos fatores, que de fato são todos irrelevantes, acidentes estatísticos podem produzir uns poucos falsos positivos, que parecem influenciar a resposta. Tais considerações dão suporte ao critério de aceitação de um termo com base em níveis de probabilidade, por exemplo, a correspondente estatística F. Outro procedimento é fundamentado na idéia de obter a melhor predição para o valor da resposta sobre um conjunto de fatores.

O problema computacional pode ser especificado como “encontrar os melhores subconjuntos s , de fatores, de tamanho r ”. Se k , o número de fatores, é razoavelmente pequeno, por exemplo, $k \leq 12$, os melhores subconjuntos de tamanho 1 até $(k-1)$ podem ser encontrados pela enumeração completa. Alguns dos métodos para geração de um único subconjunto ótimo, encontrados na literatura, são:

1. seleção progressiva (forward selection). Os fatores são selecionados um por um até que todos tenham sido testados;
2. seleção regressiva (backward selection). Inicia-se com o conjunto completo e elimina-se um por um até que os que permanecerem sejam os necessários;
3. regressão por passos (stepwise). Aqui, combinam-se os dois procedimentos anteriores;
4. seleção com base na minimização do quadrado médio do erro da predição. Os critérios que seguem a minimização do quadrado médio do erro são: C_p de Mallow; S_p de Hocking; e PC de Amemiya. Para detalhes e as razões do teste F para cada critério, ver Madalla (1992) e Elian (1988).

Para detalhes sobre estes métodos de selecionar conjuntos, ver Elian (1988), Draper e Smith (1966) e Rawlings (1988).

Os três primeiros critérios são freqüentemente encontrados nos programas computacionais estatísticos, porém, Madalla (1992) não os recomenda em suas análises econométricas.

Decidir se é ótimo um subconjunto particular é difícil, quando muitos outros também apresentam bons ajustes. A decisão deve ser tomada considerando não somente os critérios estatísticos mas também conhecimentos “a priori” sobre os fatores. Certos fatores poderão ser colocados no modelo se forem estatisticamente significantes ou não. Alguns autores, como Sudasna-na-ayudhya (1992), propõem o modelo completo e, neste caso, fatores estatisticamente não significantes são incluídos no modelo.

FUNÇÃO DA VARIÂNCIA

A dependência funcional entre a variância e a média, da variável de resposta, deve ser detectada. Isto pode ser feito através do gráfico dos resíduos vs valores ajustados. Este gráfico deve ser utilizado para checar se o espalhamento dos resíduos é aproximadamente constante e independente da média. Uma função da variância, que cresce muito rapidamente com a média, causará que o espalhamento dos resíduos cresça com a média, indicando heterogeneidade das variâncias e a necessidade de transformação na variável de resposta.

A suposição de variâncias constantes é muito importante na aplicação do método dos mínimos quadrados. Esta suposição implica que toda observação sobre a variável dependente contenha o mesmo montante de informações. A propriedade de variância mínima dos estimadores de mínimos quadrados está diretamente ligada a esta suposição. Ver Rawlings (1988) e Draper e Smith (1966).

A análise pode, também, ser conduzida pelo gráfico do módulo do resíduo em lugar do resíduo. Isto faz com que grandes e pequenos resíduos vão para a parte superior do gráfico e, assim, as informações fiquem concentradas em um lado do gráfico.

EXPOSIÇÃO VISUAL E ANÁLISE DOS RESÍDUOS

Os gráficos dos resíduos dão informações valiosas quanto à presença de pontos fora de controle (outliers), adequação do modelo e/ou a validade de suas suposições.

Um gráfico de resíduo, muito importante após o ajuste, é o gráfico dos resíduos vs valores ajustados. Este gráfico é capaz de revelar:

1. pontos com grandes resíduos;

2. uma curvatura, indicando escalas insatisfatórias para os fatores e inadequação do modelo;
3. uma tendência nos dados com o crescimento dos valores ajustados, indicando uma função da variância insatisfatória;
4. a não normalidade dos erros.

Os gráficos de resíduos vs X_i podem indicar:

1. variância não constante;
2. necessidade de inclusão de termos quadráticos em X_i no modelo ou uma transformação na resposta.

Os gráficos são técnicas visuais para se analisar as suposições básicas dos modelos de regressão. Algumas estatísticas têm sido sugeridas como medidas numéricas das discrepâncias mencionadas.

A não normalidade dos erros pode ser detectada, através dos gráficos de resíduos vs escores normais. Existem dois tipos de gráficos de probabilidade normal: o gráfico normal completo e o gráfico normal semicompleto. Estes gráficos comparam o resíduo ordenado vs valores esperados das observações ordenadas de uma distribuição normal padrão (média zero e variância 1). No gráfico normal semicompleto, são considerados os valores absolutos dos resíduos. Diferentes formas destes gráficos revelam diferentes tipos de afastamento da normalidade.

DETECTANDO OBSERVAÇÕES INFLUENTES E “OUTLIERS”

Observações influentes são aquelas observações que, individualmente ou coletivamente, influenciam excessivamente a equação de regressão ajustada, quando comparada com outras observações do conjunto de dados. Uma observação pode não influenciar todos os resultados da regressão. Por exemplo, uma observação pode ter influência sobre as estimativas dos parâmetros β , sobre a variância estimada de β , sobre os valores ajustados e/ou sobre as estatísticas de ajuste. É importante, na análise de dados, ser capaz de identificar as observações influentes e avaliar seus efeitos sobre os vários aspectos da análise.

As observações são “outliers” porque, de alguma forma, são inconsistentes com as outras observações do conjunto de dados. Uma observação pode ser um “outliers” devido à variável-resposta ou ao fato de um ou mais dos fatores terem valores fora dos limites esperados.

As observações podem ser “outlier” ou influentes por erros na condução da pesquisa (má função de máquinas, registros, códigos, erros

de entrada de dados, falha em seguir o planejamento experimental) ou porque os dados vêm de diferentes populações.

Um grande número de medidas estatísticas tem sido proposto na literatura para o diagnóstico de observações influentes e “outliers”.

APLICAÇÃO - PROCESSO DE MANUFATURA DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Este caso foi estudado por Karen Kafadar (1990) no laboratório R&D da companhia Hewlett-Packard. Circuitos integrados têm dimensões e tolerâncias extremamente pequenas e isto leva a uma grande dificuldade na especificação dos parâmetros. A fabricação destes circuitos envolve depósito de fotorresistência, máscara do padrão, filme de exposição e o alinhamento de muitos circuitos sobre uma única placa. A placa está sujeita a várias condições do processo (temperaturas, pressão, razão de alimentação), ou fatores de ruído, os quais contribuem para a variação na performance do circuito, além daqueles causados pelos próprios parâmetros do circuito. A situação física que corresponde a este processo envolve um depósito de camadas de produtos químicos (bório, fósforo etc) tendo as resistências definidas (R_s , R_d etc) sobre uma camada de substrato (por exemplo silício). Na interface entre as duas superfícies, as camadas de produtos químicos e substrato têm comprimento L e largura W , respectivamente. A capacidade de resistência desta interface afeta a ação dos elétrons das superfícies altas para as superfícies baixas e é governada pelo parâmetro b (o qual é expresso em termos de outro parâmetro R). R_s e R_d são as resistências das superfícies altas e baixas, respectivamente, e R_c é a resistência de saída do circuito. O objetivo é escolher os níveis ótimos para R_s , R_d , L e R (W é fixo por outras restrições), que levem a um pequeno valor de R_c com mínima variação. Os três níveis para cada um dos quatro parâmetros do planejamento estão na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis dos fatores experimentais

R_s	25	30	35	ohms/quadrado
R_d	4	5	6	ohms/quadrado
R	100	150	200	ohms
L	0,4	0,5	0,6	mícron
W	1,5	1,5	1,5	mícron

A resistência resultante, ou característica de performance ou variável de resposta, é dada em termos destes parâmetros, simulados, através da equação:

$$R_c = \frac{2 * R_s * R_d + (R_s^2 + R_d^2) * \cosh(\beta * L)}{\beta * W * (R_s + R_d) * \sinh(\beta * L)}, \text{ onde } \beta = \left[\frac{R_s + R_d}{R} \right]^{1/2}$$

Esta equação foi calculada para cada valor nominal dos parâmetros mais um erro devido à variação dos componentes ou a outras fontes de ruídos. A combinação ideal dos níveis dos parâmetros será aquela que minimiza R_c e também sua variação. Resistores são geralmente especificados como uma porcentagem de seus valores nominais, e aqueles que caem dentro de, digamos, 10% são simplesmente vendidos como resistores tendo um valor nominal diferente. Assim, a distribuição dos erros em torno deste valor nominal é aproximadamente constante. Desta forma, as distribuições simuladas para R_s e R_d foram uniformes, com limites de $\pm 10\%$ ($=\pm 1,732s_{unif}$). Na falta de conhecimento adicional sobre R e L , as distribuições simuladas para estes parâmetros foram normais com médias iguais aos valores nominais e desvios padrões iguais a 5% dos valores nominais. A distribuição simulada para W também foi normal, com desvio padrão igual a 0,5% do valor nominal, porque a tolerância considerada sobre W é muito pequena. Os ruídos foram simulados, através das respectivas distribuições dos parâmetros.

O objetivo era minimizar variações, enquanto se obtinha o valor ótimo para os níveis dos fatores. As técnicas utilizadas, pelos autores, foram os gráficos das variâncias amostrais versus médias amostrais na escala log.-log., recomendados por Nair e Pregibon (1986) e utilizando a transformação logarítmica da média e da variância, para uma análise de variância, recomendada por Box (1988).

Aqui, este caso foi utilizado para exemplificar a aplicação dos passos recomendados para a modelagem da média e da variância.

O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO

Cada combinação dos fatores, do planejamento experimental fatorial completo 3^4 , foi repetida 20 vezes. Assim, a amostra obtida contém um total de $3^4 \times 20 = 1620$ elementos.

O modelo de locação e o modelo de dispersão foram ajustados, utilizando, respectivamente, a média e a variância das 20 repetições de

cada combinação dos fatores experimentais. Isto é, a média e a variância das 20 repetições do experimento foram calculadas e consideradas como as respostas a serem modeladas.

A análise foi inicializada, com o ajuste de um modelo de regressão simples para média e outro para a variância das 20 repetições do experimento.

a) Análise do ajuste do modelo de locação (modelo da média)

i) Ajuste de um modelo de regressão simples

O gráfico de resíduo vs valores ajustados, Figura 1, obtido pelo ajuste de um modelo de regressão simples, indica que há uma relação não linear entre a resposta e os fatores experimentais. Pode-se observar uma curvatura neste gráfico, indicando a inadequação do modelo. Portanto, um modelo mais complicado, ou uma transformação, será necessário para obter a independência entre a variância e a média. Através dos gráfico da distribuição de probabilidade dos resíduos (Figura 2) e do gráfico de probabilidade normal (Figura 3), pode-se observar que os erros não seguem uma distribuição normal.

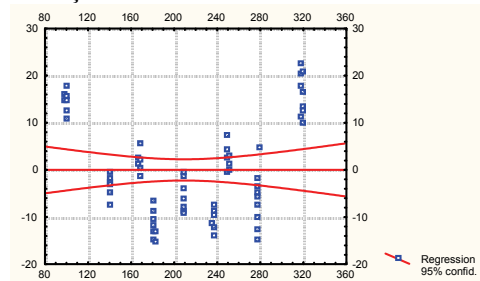


Figura 1. Gráfico de resíduo vs valores ajustados.

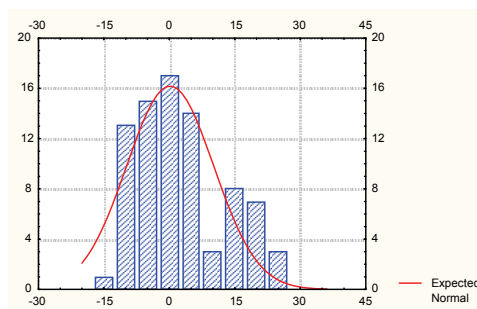
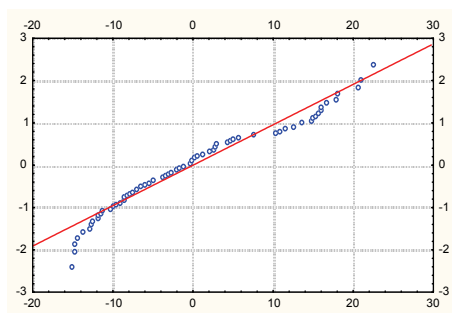


Figura 2. Gráfico de distribuição de probabilidade dos resíduos.**Figura 3.** Gráfico de probabilidade normal.

ii) Ajuste de um modelo polinomial de segunda ordem

Pode-se observar, através do gráfico dos resíduos vs valores ajustados (Figura 4), que a variância cresce com o crescimento da média indicando a existência de ligação entre a média e a variância, isto é, $\sigma_y \propto \mu^\alpha$. Portanto, será necessário utilizar uma transformação que torne a variância constante.

Os gráficos de distribuição dos resíduos (Figura 5) e de probabilidade normal (Figura 6) indicam que os erros seguem uma distribuição aproximadamente normal. O teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste W de Shapiro-Wilk não rejeitaram a hipótese de normalidade dos erros.

Através do gráfico de probabilidade normal, pode-se suspeitar de alguns pontos que parecem ser diferentes dos restantes. A busca por “outliers” e por observações influentes foi realizada, através dos resíduos de Student e da estatística de Cook. Nenhuma observação foi considerada como sendo um “outlier” ou uma observação influente.

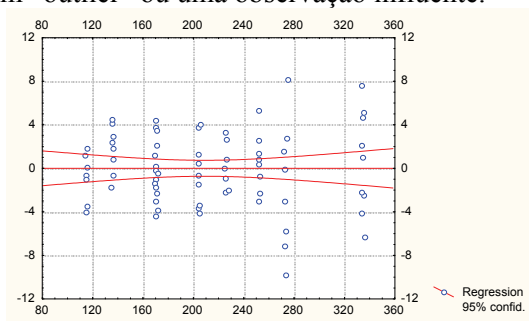
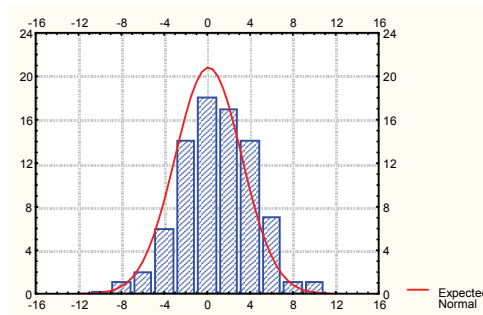
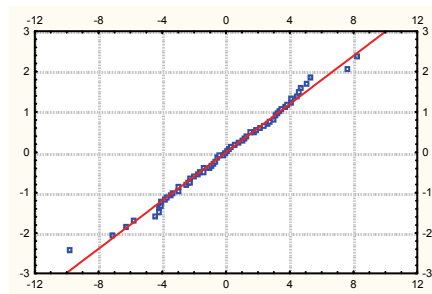


Figura 4. Gráfico de resíduo vs valores ajustados.**Figura 5.** Gráfico de distribuição de probabilidade dos resíduos.**Figura 6.** Gráfico de probabilidade normal.

iii) Transformação

Para descobrir a transformação ideal para estes dados, o gráfico lambda, de Box, foi utilizado. A transformação indicada, foi $Y=Y^\lambda$, com $\lambda=0,25$. Para detalhes, ver Guedes (1996a).

Após esta transformação e o ajuste de uma superfície de resposta aos dados, ou seja, um polinômio completo de segundo grau, o gráfico de resíduos vs valores ajustados não indicou qualquer estrutura não usual e o gráfico de probabilidade normal indica que os erros seguem, aproximadamente, uma distribuição normal. Isto é, as suposições de: homogeneidade das variâncias; simplicidade da estrutura do modelo; e

erros aditivos e pelo menos aproximadamente normais; para este modelo, estão satisfeitas.

Pela análise de variância do ajuste do modelo polinomial completo, pode-se verificar que os efeitos de alguns fatores não são significantes. A seleção dos fatores, que permaneceram no modelo, foi realizada através do método de regressão passo a passo (stepwise) e do teste F para a minimização do quadrado médio do erro. O modelo resultante foi:

$\mu^{0.25} = 3,620 + 0,0126R - 3,224L - 0,00002R^2 + 1,819L^2 - 0,003R \times L$
com $R^2 = 99,78\%$ e quadrado médio do resíduo (s^2) = $2,1 \times 10^{-4}$.

b) Análise do ajuste do modelo de dispersão

i) Ajuste de um modelo de regressão simples: análise exploratória

O gráfico de resíduos vs valores ajustados, Figura 7, obtidos pela regressão simples, indica a não aditividade do modelo e que as variâncias não são constantes. A não normalidade nos erros pode ser observada através dos gráficos de distribuição (Figura 8) e o de probabilidade normal (Figura 9). Portanto, um modelo mais complexo ou transformação nos dados será necessário.

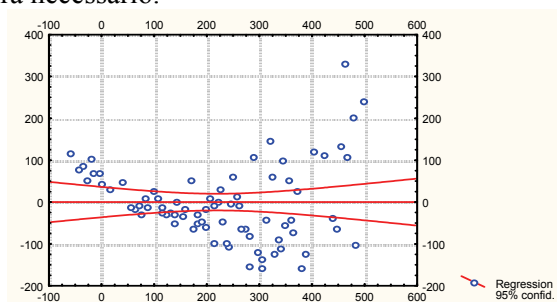


Figura 7. Gráfico de resíduos vs valores ajustados.

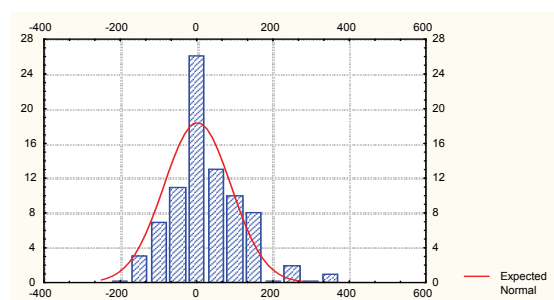
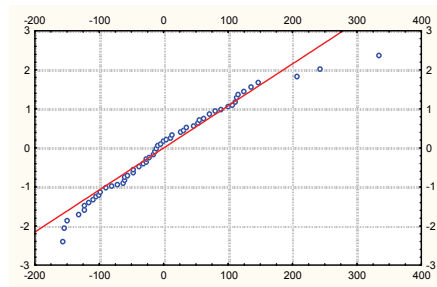


Figura 8. Gráfico de distribuição de probabilidade dos resíduos.**Figura 9.** Gráfico de probabilidade normal.

A busca por observações influentes, também, foi realizada, através dos resíduos de Student e da estatística de Cook. Nenhuma observação foi considerada como influente.

ii) Ajuste de um modelo de regressão completo

O gráfico dos resíduos vs valores ajustados (Figura 10) sugere que existe um crescimento na variância junto com a média e que as variâncias não são constantes. Uma transformação será necessária.

Os gráficos de probabilidade dos resíduos (Figura 11) e o de probabilidade normal (Figura 12) indicam que os resíduos seguem, aproximadamente, uma distribuição normal.

iii) Transformação

A potência da transformação indicada pelo gráfico lambda, de Box, foi $\lambda=0,08$.

Com esta transformação e o ajuste de uma superfície de resposta nos dados, os gráficos de resíduos vs valores ajustados, de distribuição dos resíduos e o de probabilidade normal indicam que as suposições sobre o modelo estão satisfeitas.

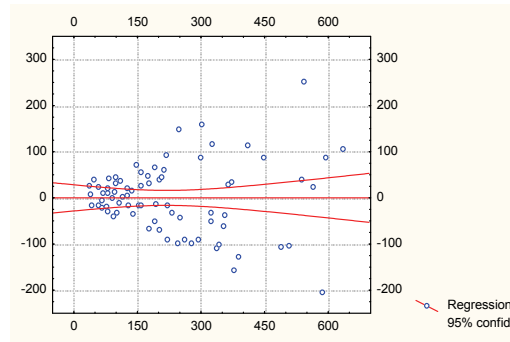


Figura 10. Gráfico de resíduos vs valores ajustados.

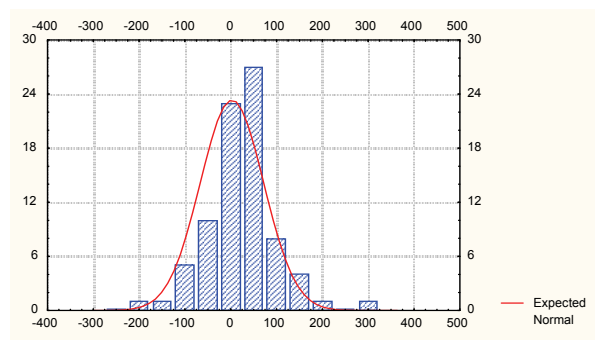


Figura 11. Gráfico de distribuição de probabilidade dos resíduos.

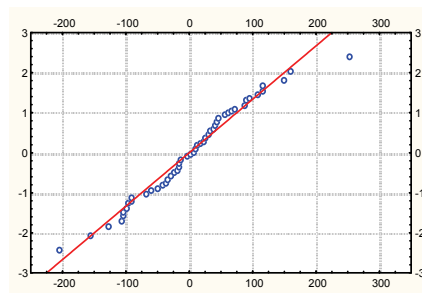


Figura 12. Gráfico de probabilidade normal.

Pela análise de variância do ajuste do modelo polinomial completo, foi verificado que os efeitos de alguns dos fatores não são significantes. Isto é, não necessariamente precisam permanecer no modelo.

A seleção dos fatores, que permaneceram no modelo, foi realizada através do método de regressão passo a passo (stepwise) e do teste de minimização do quadrado médio do erro. O modelo resultante foi:

$(\sigma^2)^{0,08} = 1,197 + 0,0104R_s - 0,0133R_d + 0,0029R - 0,000004R^2 - 0,0188R_sL$,
com $R^2 = 86,94\%$ e quadrado médio do resíduo $(s^2) = 1,2 \times 10^{-3}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTLETT, M.S. & KENDALL, D.G. The statistical analysis of variance-heterogeneity and logarithmic transformations. *J. Royal Statist. Soc., Serie B*, 8:128-150, 1946.
- BOX, G. Signal-to-noise ratios, performance criteria, and transformations. *Technometrics*, 30:1-40, 1988.
- BOX, G.E.P. & COX, D.R. An analysis of transformations. *J. Royal Statist. Soc., Serie B*, 26:244-252, 1964.
- BOX, G.E.P. & DRAPER, N.R. *Empirical model-building and response surfaces*. New York: John Wiley, 1987.
- BOX, G. & MEYER, R.D. Dispersion effects from fractional designs, *Technometrics*, 28:19-27, 1986.
- BOX, G. & FUNG, C.A. *Studies in quality improvement: minimizing transmitted variation by parameter design*. Madison: University of Wisconsin-Madison. Center for Quality and Productivity Improvement, 1986. (Report; 8).
- BOX, G., BISGAARD, S. & FUNG, C. An explanation and critique of Taguchi's contributions to quality Engineering. *Qual. Reliab. Internat.*, 4:123-131, 1988.
- CARROL, R.J. & RUPPERT, D. Discussão em: Signal-to-noise ratios, performance criteria, and transformations. *Technometrics*, 30:30-31, 1988.
- CASTILLO, E.D. & MONTGOMERY, D.C. A nonlinear programming solution to the dual response problem. *J. Qual. Technol.*, 25:199-204, 1993.
- DE BOOR, C. Good approximation by splines with variable knots. In: MEIR, A. & SHARMA, A. (Ed). *Proceedings of Symposium at the University of Alberta*. Edmonton, 1972.
- DIERCKX, P. *Curve and surface fitting with splines*. Oxford: Oxford Science Publications, 1993.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley, 1966.
- ELIAN, S.N. *Análise de regressão*. São Paulo: USP - Instituto de Matemática e Estatística, 1988.
- ENGEL, J. Modelling variation in industrial experiments. *Appl. Statist.*, 41:579-593, 1992.
- FUNG, C.A. *Statistical topics in off-line quality control*. Madison, 1986. Tese (Doutorado em Filosofia (Estatística)) - University of Wisconsin-Madison.
- GREVILLE, T.N.E. *Data fitting by spline functions*. Madison: University of Wisconsin - Madison. Mathematics Research Center, 1968. (Report; 893).

- GUEDES, T.A.(a) *Procedimentos de otimização no planejamento e controle de qualidade de produtos e processos*. Florianópolis SC, 1996a. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- GUEDES, T.A.(b) Metodologia de Taguchi. *Revista Unimar*, 17:437-458, 1996.
- GUNTER, R.J. Discussão em: Signal-to-noise ratios, performance criteria, and transformations. *Technometrics*, 30:32-35, 1988.
- KACKAR, R.N. Taguchi Methods. In: WADSWORTH JR, H.M. (Ed.). *Handbook of statistical methods of engineers and scientists*, 1989.
- KACKAR, R.N. Off-Line quality control, parameter design, and the Taguchi method. *J. Qual. Technol.*, 17(4):176-188, 1985.
- KAFADAR, K. Designing experiments in research and development: four case studies. In: GHOSH, S. (Ed). *Statistical design and analysis of industrial experiments*. New York: Marcel Dekker, 1990. p. 35-72.
- KHURY, A.I. & CORNEL, J.A. *Response surface*. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1987.
- LEON, R.V. SHOEMAKER, A.C. & KACKER, R.N. Performance measures independent of adjustment. *Technometrics*, 29:253-285, 1987.
- LOGOTHETIS, N. & WYNN, H.P. *Quality through design*. Oxford: Clarendon Press, 1989.
- LOGOTHETIS, N. Box-Cox transformations and the Taguchi method. *Appl. Statist.*, 39:31-48, 1990.
- LUCAS, J.M. Comentário em: Off line quality control parameter design, and Taguchi method. *J. Qual. Technol.*, 17:195-197, 1985.
- MADDALA, G.S. *Introduction to econometrics*. New York: Macmillan, 1992.
- McCULLAGH, P. & NELDER J.A. *Generalized linear models*. London: Chapman and Hill, 1983.
- MONTGOMERY, D.C. *Design and analysis of experiments*. New York: John Wiley, 1991.
- MYERS, R.H. *Response surface methodology*. Ann Arbor: Edwards Brothers, 1976.
- MYERS, R.H., KHURI, A.I. & VINING, G. Response surface alternatives to the Taguchi robust parameter design approach. *The Amer. Statist.*, 46:131-139, 1992.
- MYERS, R.H. VINING, G., GIOVANNITTI-JENSEN, A. & MYERS, S.L. Variance dispersion properties of second-order response surface designs. *J. Qual. Technol.*, 24:1-11, 1992.
- NAIR, V.N. & PREGIBON, D. A data analysis strategy for quality engineering experiments. *AT&T Techn. J.*, 65:73-84, 1986.
- NAIR, V.N. & PREGIBON, D. Analyzing dispersion effects from replicated factorial experiments. *Technometrics*, 30:247-256, 1988.
- NELDER, J.A. & LEE, Y. Generalized linear models for the analysis of Taguchi-type experiments. *Appl. Stochast. Models and Data Analysis*, 7:107-120, 1991.
- RAWLINGS, J.O. *Applied regression analysis*. Pacific Grove:Wadsworth & Brooks, 1988.

- SHOEMAKER, A.C., TSUI, K-L. & WU, C.F.J. Economical experimentation methods for robust design. *Technometrics*, 33:415-426, 1991.
- SUDASNA-NA-AYUDTHYA, P. *Comparasion of response surface model and Taguchi methodology for robust design*. U-M-I Dissertation Services, 1992.
- SHUMAKER, L.L. Approximation by splines. In: *Proceedings of an advanced seminar conducted by the Mathematics Research Center, United States Army, at the University of Wisconsin, Madison*. New York: Academic Press, 1968. .
- TAGUCHI, G. *System of experimental design*. White Plains: UNIPUB: KRAUS INTERNATIONAL PUBLICATIONS, 1987.
- TAGUCHI, G. & PHADKE, M.S. Quality engineering through design optimization. *IEEE Communications*, Nov.: 1106-1113, 1984.
- VINING, G.G. & MYERS, R.H. Combining Taguchi and response surface philosophies: a dual response approach. *J. Qual. Technol.*, 22:38-45, 1990.
- WEISBERG, S. *Applied linear regression*. New York: John Wiley, 1980.
- WELCH, W.J., YU, T-K., KANG, S.M. & SACKS, J. Computer experiments for quality control by parameter design. *J. Qual. Technol.*, 22(1):15-22, 1990.
- WU, Y. Taguchi's parameter design: a panel discussion. *Technometrics*, 34:127-161, 1992.

PROCEDIMENTO DE OTIMIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE DE PRODUTOS E PROCESSOS: PROBLEMA-MULTICRITÉRIO

Terezinha Aparecida Guedes* e Plinio Stange*

RESUMO. Este artigo apresenta um procedimento para obter os níveis dos fatores experimentais no planejamento de produtos e processos industriais, os quais têm suas qualidades determinadas por várias características. O procedimento de otimização apresentado satisfaz as exigências das várias características de qualidade do produto simultaneamente. Este procedimento foi construído dentro da filosofia de Taguchi. Taguchi procura atingir o valor nominal com variabilidade mínima.

Palavras-chave: otimização-multicritério, otimização simultânea.

OPTIMIZATION PROCEDURE IN PLANNING AND CONTROL OF PRODUCT AND PROCESS QUALITY - MULTICRITERION PROBLEM

ABSTRACT. This paper describes a procedure to obtain the levels of experimental factors in planning of industrial products and processes. These products and processes have their qualities determined by several characteristics. The optimization procedure presented meets simultaneously all the requirements of the several quality characteristics of the product. This procedure was constructed following Taguchi's philosophy. Taguchi strives to obtain quality by reducing the variation around the target.

Key words: multicriterion optimization, simultaneous optimization.

INTRODUÇÃO

* Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

+ Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa postal 476, 88040-900, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil. "In memoriam".

Correspondência para Terezinha Aparecida Guedes.

Data de recebimento: 14/10/96.

Data de aceite: 19/12/96.

Muitos produtos requerem várias características de qualidade, por exemplo, os produtos químicos como resinas, composições, fibras, plásticos etc. Estas características, tais como: viscosidade cor, temperatura ideal, rendimento, solubilidade etc. determinam a qualidade do produto. Muitas destas características devem satisfazer ou exceder as exigências (ou especificações) dos consumidores. Ou seja, para produtos deste tipo, será necessário satisfazer todas as especificações simultaneamente. Usualmente, experimentos são planejados para medir o efeitos dos fatores de controle sobre cada uma das características que determinam a qualidade. A análise de dados obtidos destes experimentos oferece modelos preditivos para cada característica individual e através destes modelos é possível encontrar os níveis ótimos dos fatores experimentais. Estes modelos são denominados modelos-multicritério.

Alguns autores têm proposto procedimentos de otimização, seguindo a filosofia de Taguchi, para os modelos resultantes deste tipo de problemas. Ou seja, propõem procedimentos de otimização buscando o valor ótimo com variação mínima para os três tipos de características de qualidade definidas por Taguchi: o nominal é melhor, o maior é melhor e o menor é melhor. Ribeiro e Albin (1993) propuseram a otimização de uma única função de perda a que combina várias características de qualidade de um produto. Tal função, chamada “função de perda de contorno elíptico”, é minimizada. Ribeiro e Elsayed (1993) propõem um método geral para a otimização de múltiplas características de qualidade. No método proposto por eles, uma única função de perda é definida, a função de perda gradiente, e esta é a função-objetivo a ser otimizada. Pignatiello (1993) apresentou uma função de perda quadrática para problemas-multirresposta. Ele mostrou que sua função de perda é uma generalização da função de perda quadrática para uma única resposta de Taguchi. Bagchi e Templeton (1994) apresentaram um método de otimização com restrições para problemas de múltiplas características de qualidade. Vining e Myers (1990) propuseram a utilização de métodos de superfícies de resposta para tais problemas. Castillo e Montgomery (1993) apresentaram uma metodologia em que técnicas de programação não-linear são utilizadas. Porém, tanto na metodologia de Vining e Myers quanto na de Castillo e Montgomery, a média das características dos tipos menor é melhor e maior é melhor, é otimizada para valores fixados da variância.

Portanto, os vários métodos de otimização para múltiplas características de qualidade mencionados acima contemplam os casos em

que um valor nominal finito para cada uma das características de qualidade é estabelecido, ou, os casos em que se tem uma idéia de seu máximo ou mínimo requerido.

Neste trabalho, será tratada a otimização conjunta dos modelos ajustados para as médias e as variâncias de r réplicas, das várias características que determinam a qualidade deste tipo de produto. O procedimento, aqui apresentado, contempla todos os três tipos de características de qualidade definidos por Taguchi. Ver Guedes (1996a, 1996b):

- a) o nominal é melhor - a variância é minimizada enquanto a média é mantida fixa em um valor especificado;
- b) o maior é melhor - maximiza-se a média e minimiza-se a variância;
- c) o menor é melhor - minimiza-se a média e a variância simultaneamente.

Como já foi discutido, um modelo é dito ser multicritério, se várias características de qualidade estão sendo estudadas. Nestes casos, tem-se para cada característica de qualidade um par de modelos, ou seja, um modelo para a média e outro para a variância. Se as funções que representam os modelos forem côncavas ou convexas, serão otimizadas, através dos métodos padrões de otimização; caso contrário, será utilizado o algoritmo de otimização global de Stange (1993) em conjunto com o procedimento que irá resolver o problema.

Considere a seguinte notação:

$$f_{1k}(X) = \hat{\mu}_k, k=1, 2, \dots, K$$

$$f_{2k}(X) = \hat{\sigma}_k^2 \text{ ou } f_2(X) = \hat{\sigma}_k, k=1, 2, \dots, K,$$

onde K é o número de características de qualidade que estão sendo pesquisadas, $\hat{\mu}_k$ é a média, $\hat{\sigma}_k^2$ é a variância da k -ésima característica de qualidade e X representa o conjunto de fatores do experimento.

O propósito em um problema multicritério é otimizar as funções-objetivo, $f_{ik}(X)$, $i=1,2$ e $k=1, 2, \dots, K$, ou seja, obter valores ótimos, simultaneamente, para as várias funções que representam as características de qualidade. O problema será formulado de maneira geral como:

$$\text{Max } f_{ik}(X), i=1, 2 \text{ e } k=1, 2, \dots, K$$

$$\text{s. a } X \in S,$$

onde S é a região viável.

Observe que num mesmo modelo pode-se ter características dos três tipos: nominal é melhor, menor é melhor e maior é melhor.

Quando as funções-objetivo representam características do tipo menor é melhor, nominal é melhor ou são as funções que representam as variâncias das características de qualidade, estas devem ser transformadas pela mudança de sinal apropriada.

Em geral, não existe solução viável tal que todas as funções f_{ik} sejam simultaneamente otimizadas dentro desta região S . Seja Z_{ik}^* o valor ótimo de f_{ik} em S . Os modelos de programação-multiobjetivo são caracterizados por (Benayoun *et al.* (1971)):

$$\exists \tilde{X} \in S, \text{ tal que } f_{ik}(\tilde{X}) = Z_{ik}^*, i=1, 2 \text{ e } k=1, 2, \dots, K. \quad (1)$$

O problema torna-se, então, buscar uma solução X a qual será a melhor solução entre os objetivos conflitantes.

O procedimento, aqui proposto, explora a região viável, passo a passo, através das soluções e, finalmente, uma solução será escolhida.

PROCEDIMENTO PARA RESOLVER O PROBLEMA MULTICRITÉRIO

Para resolver este problema um algoritmo, que é um procedimento de exploração, em que a melhor solução é encontrada após certo número de iterações, será proposto. O procedimento é iniciado com a construção de uma tabela que contém todos os valores ótimos de cada uma das funções, calculados separadamente, e uma tabela para os valores das funções das perdas quadráticas iniciais, que podem ser as perdas quadráticas definidas por Taguchi [Guedes (1996a, 1996.0b), Guedes e Stange (1996b)]. Cada iteração é composta de uma fase de cálculos e uma fase de tomada de decisões, como é feito para o caso-bicritério [Guedes e Stange (1996b)]. Durante a fase de tomada de decisões, o pesquisador examina os resultados da fase anterior e fornece informações sobre seus objetivos, que poderão levar a modificações na região viável para a próxima iteração.

CONSTRUÇÃO DA TABELA DE VALORES ÓTIMOS E CÁLCULO DAS PERDAS QUADRÁTICAS - FASE DE CÁLCULOS

Antes de iniciar a fase de iterações, uma tabela de valores ótimos individuais e um vetor com os valores da função-perda quadrática deverão ser construídos. As funções devem ser otimizadas, utilizando-se os procedimentos padrões, se as funções forem côncavas; caso contrário, utilizando-se otimização global (algoritmo de Stange (1993). Na Tabela 1, além dos valores ótimos, serão calculados também os valores de todas as outras funções nos pontos ótimos de cada uma delas.

Tabela 1. Valores ótimos individuais e valores de todas as funções para os pontos ótimos.

	f_{11}	f_{21}	...	f_{ij}	...	f_{2K}
f_{11}	Z_{11}^*			Z_{ij}^{11}		
f_{21}		Z_{21}^*		Z_{ij}^{21}		
...				...		
f_{ij}	Z_{11}^{ij}	Z_{21}^{ij}	...	Z_{ij}^*		Z_{2K}^{ij}
...				...		
f_{2K}				Z_{ij}^{2K}		

A linha ij corresponde ao vetor X_{ij}^* , maximizando a função-objetivo f_{ij} sujeita a $X \in S$. Assim, Z_{ik}^{ij} é o valor de f_{ik} quando f_{ij} obtém o seu máximo Z_{ij}^* .

Será denotado por $\tilde{X}$ o ponto que fornece a solução ideal (que não é viável de acordo com (1)), para o qual as várias funções-objetivos, f_{ik} , obtêm os valores ótimos Z_{ij}^* , exibidos na diagonal principal da Tabela 1. Será denotado por $\tilde{Z}$ o vetor dos valores exibidos na diagonal principal da Tabela 1.

Para cada uma das características de qualidade, o valor da função-perda quadrática de Taguchi será calculada. Isto é, para cada característica de qualidade, considere o par de funções:

$$\begin{aligned} f_{1k}(X) &= Z_{1k}^* \\ f_{2k}(X) &= Z_{2k}^*, \quad k = 1, 2, \dots, K, \end{aligned}$$

e calcule o valor da função-perda quadrática, L_k , $k=1, 2, \dots, K$, considerando o tipo de característica de qualidade. Desta forma, um vetor de perdas quadráticas pode ser construído:

$$L = [L_1, L_2, \dots, L_K]$$

INÍCIO DAS ITERAÇÕES

Nesta fase, iniciam-se as iterações. Em cada uma das iterações, busca-se uma solução viável X^j que estará próxima da solução ideal $\tilde{X}$. Isto é, procura-se pela solução do problema seguinte:

$$\begin{aligned} P_j: \quad & \min \lambda \\ & \text{s. a} \\ & \lambda \geq \{Z_{ik}^* - f_{ik}(X)\} \pi_{ik}, i=1, 2 \text{ e } k=1, 2, \dots, K \\ & X \in S \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Seja X^j a solução do problema P_j na iteração j . Calcule o vetor Z^j dos valores das K funções f_{ik} avaliadas no ponto X^j e, para cada par de funções ($i = 1, 2$), calcule o vetor de valores da função-perda $L^j = [L_1^j, L_2^j, \dots, L_K^j]$.

Os coeficientes π_{ik} dão a importância relativa das distâncias para o ótimo. Considere a coluna com índice ij da Tabela 1. Seja Z_{ij}^* o valor máximo da coluna e seja z_{ij} o valor mínimo, π_{ij} será calculado por:

$$\pi_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum \alpha_{ij}} \quad \alpha_{ij} = \frac{Z_{ij}^* - z_{ij}}{Z_{ij}^*} \frac{1}{\sqrt{\sum_j \beta_j^2}},$$

onde os β_j são os coeficientes da função-objetivo f_{ij} e o termo

$\frac{Z_{ij}^* - z_{ij}}{Z_{ij}^*}$ torna-se $\frac{z_{ij} - Z_{ij}^*}{z_{ij}}$, quando $Z_{ij}^* \leq 0$. Se a função f_{ij} não varia

muito do ótimo, quando os valores de X variam, os pesos π_{ij} serão pequenos. Nos casos em que as variações são grandes, os pesos π_{ik}

tornam-se grandes. O termo $\frac{1}{\sqrt{\sum_j \beta_j^2}}$ normaliza os valores tomados pela

função-objetivo. Os α_{ik} são utilizados para definir os pesos π_{ik} de forma que $\sum \pi_{ik} = 1$. Isto é feito para que diferentes soluções obtidas por pesos definidos de outras formas possam ser facilmente comparadas.

A definição deste problema P_j foi feita com base nos resultados de Benayoun *et al.* (1971).

FASE DE TOMADA DE DECISÃO

O vetor Z^j é comparado ao vetor $\tilde{Z}$ e o vetor L^j ao vetor L . Se alguns dos componentes de f_{ik} do vetor Z^j são satisfatórios e outros não são, certo montante de relaxação de uma das funções-objetivo deve ser aceito para permitir uma melhoria nas funções não satisfatórias, na próxima iteração. Para a próxima iteração, uma nova região viável é definida:

$$S^{j+1} = \begin{cases} S^j \\ f_{ik}^*(X) \geq f_{ik}^*(X^j) - \Delta f_{ik} \\ f_{ik}(X) \geq f_{ik}(X^j), (ik) \neq (ik)^* \end{cases}$$

Os pesos π_{ik}^* tornam-se zero e a nova iteração se inicia. (Ver o fluxograma apresentado na Figura 1). O vetor L^j deve ser comparado ao vetor L e, no final do procedimento, um gráfico para analisar a evolução da perda pode ser construído.

PASSOS GERAIS PARA O ALGORITMO

Passo 1. Resolver os problemas:

$$\begin{aligned} &\text{Max } f_{ik}(X), i = 1, 2 \text{ e } k = 1, 2, \dots, K \\ &\text{s. a } X \in S \end{aligned}$$

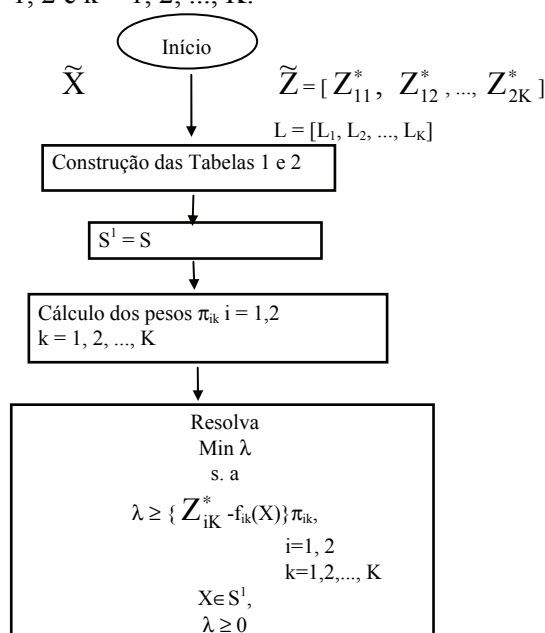
Seja $\tilde{Z} = [Z_{ik}^*, i = 1, 2 \text{ e } k = 1, 2, \dots, K]$ o vetor de soluções, e

seja $\tilde{X} = [X_{ik}^*, i = 1, 2 \text{ e } k = 1, 2, \dots, K]$ o vetor de pontos ótimos.

Calcule $f_{ik}(X_{ik}^*)$ para $(ik) \neq (ik)^*$ e construa a tabela de ótimos ideais.

Calcule o vetor de perdas associadas com os ótimos ideais: $L = [L_1, L_2, \dots, L_K]$.

Calcule os π_{ik} , $i = 1, 2$ e $k = 1, 2, \dots, K$.



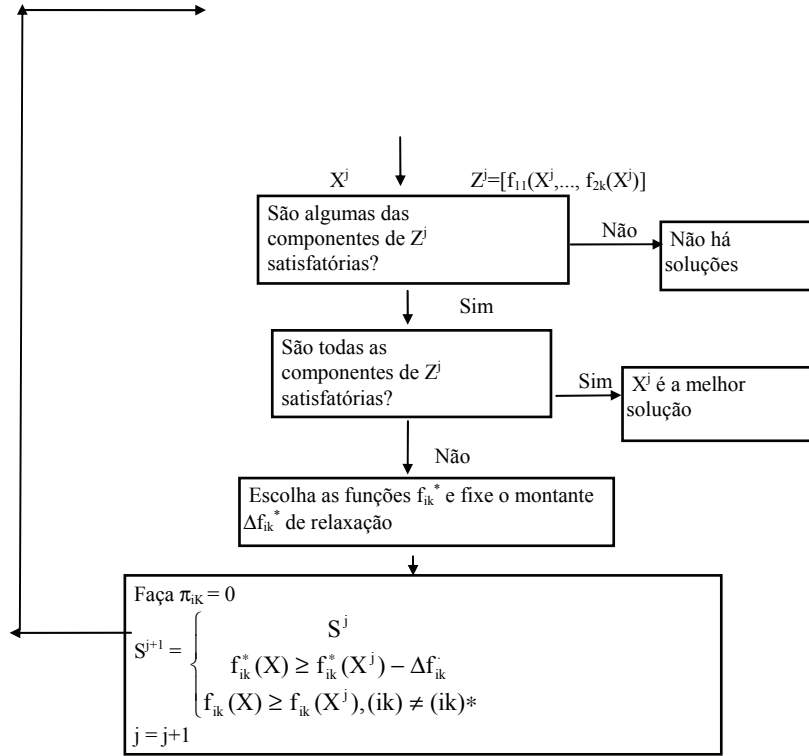


Figura 1. Fluxograma para o algoritmo-multicritério.

Passo 2. Resolva o problema P_j , em que j é o índice das iterações:

Min λ

s. a

$$\lambda \geq \{Z_{ik}^* - f_{ik}(X)\} \pi_{ik}, \quad i = 1, 2 \text{ e } k = 1, 2, \dots, K$$

$$\lambda \geq 0 \quad X \in S$$

Seja X^j a solução e seja $Z^j = [f_{ik}(X^j), i = 1, 2 \text{ e } k = 1, 2, \dots, K]$

Calcule o vetor de perdas $L^j = [L_1^j, L_2^j, \dots, L_K^j]$

Passo 3. Tomada de decisões

Compare Z^j com $\tilde{Z}$ e L^j com L . Se todas as funções são satisfatórias, o vetor X^j é a solução, caso contrário:

fixe o montante $\Delta f_{ik}^*(X)$,

faça $\pi_{ik}^* = 0$,

defina a nova região viável $S^{j+1} = \begin{cases} S^j \\ f_{ik}^*(X) \geq f_{ik}^*(X^j) - \Delta f_{ik} \\ f_{ik}(X) \geq f_{ik}(X^j), (ik) \neq (ik)^* \end{cases}$

e retorne ao passo 2.

APLICAÇÃO - OTIMIZAÇÃO DE AZULEJOS CERÂMICOS

Esta aplicação foi estudada, inicialmente, por Bernardin (1994) e, depois, por Caten (1995), em suas dissertações de mestrado.

Bernardin (1994) utilizou a metodologia de Taguchi para conduzir a experimentação e analisar os dados obtidos. O experimento tinha por objetivo otimizar a produção de azulejos cerâmicos.

O experimento visava à otimização da formulação de massa cerâmica para azulejos. Para executar o experimento, 8 fatores foram escolhidos (ver Tabela 2) e acomodados em um arranjo ortogonal L_{18} e 5 repetições de cada corrida experimental foram realizadas. As respostas escolhidas para alcançar os objetivos foram:

- retração linear (característica do tipo menor é melhor);
- resistência mecânica (característica do tipo maior é melhor);
- absorção de água (característica do tipo menor é melhor).

Pela análise de Taguchi, Bernardin não conseguiu um ajuste satisfatório para os fatores X2, X4 e X5, então ele decidiu conduzir um novo experimento com apenas estes fatores e 10 repetições de cada corrida experimental foram realizadas.

Tabela 2. Fatores experimentais e níveis utilizados por Bernardin (1994) nos experimentos 1 e 2.

Fatores Experimentais	Níveis						
	-2	-1	-0,33	0	1	1,33	2
X1: Temp. de queima		1140 °C			1160°C		
X2: Percentual de filito	40%	43%	45%	46%	49%	50%	
X3: Percentual de argila		22%		25%	28%		
X4: Percentual de talco		9%		12%	15%		18%
X5: Percentual de arenito		8%		11%	14%		
X6: Tipo de argila		A		A/B	B		
X7: Tipo de filito		A		A/B	B		
X8: Tipo de talco		A		A/B	B		

Caten (1995) utilizou os dados obtidos por Bernardin, nos dois experimentos, para aplicar o método que propõe em sua dissertação. Para isso, foram construídos modelos para representar as médias e os desvios-padrões das características de qualidade e foi utilizada a função-perda quadrática multivariada, proposta por Ribeiro e Elsayed (1993), como a função-objetivo a ser otimizada.

Os modelos ajustados, por Caten (1995), para as médias e para os desvios-padrões das características de qualidade foram:

Retração linear (Y1): característica do tipo menor é melhor.

$$f_{11}(X) = \hat{\mu}_1 = 11,16 - 0,374X_2 - 0,956X_3 - 0,658X_5 - 0,359X_6 - 0,753X_7 - 0,290X_2^2 - 1,08X_3^2 - 0,505X_5^2 + 0,584X_6^2 - 1,25X_7^2 + 2,10X_1X_8 - 0,204X_2X_5$$

$$f_{21}(X) = \hat{\sigma}_1 = 0,838 - 0,115X_2 + 0,531X_7 + 0,111X_8 - 0,158X_2^2 + 0,504X_3^2 + 0,243X_5^2 - 0,273X_6^2 - 0,405X_8^2 - 0,452X_1X_8 + 0,212X_2X_5$$

Resistência mecânica (Y2): característica do tipo maior é melhor.

$$f_{12}(X) = \hat{\mu}_2 = 513 - 46,5X_1 - 23,6X_3 - 34,4X_4 - 16,9X_6 - 24,1X_7 + 24,3X_8 - 9,62X_2^2 - 49,7X_5^2 - 51,2X_6^2 - 34,0X_7^2 + 109,0X_7X_8 + 41,0X_5X_7$$

$$f_{22}(X) = \hat{\sigma}_2 = 85,8 - 11,5X_3 + 17,0X_7 - 22,4X_6^2 - 25,4X_8^2$$

Absorção de água (Y3): característica do tipo menor é melhor.

$$f_{13}(X) = \hat{\mu}_3 = 3,90 + 0,279X_1 + 0,931X_2 + 1,23X_3 + 1,09X_5 - 0,949X_6 + 0,799X_7 + 0,637X_2^2 + 0,731X_7^2 + 2,30X_3X_8$$

$$f_{23}(X) = \hat{\sigma}_3 = 0,419 + 0,211X_4 + 0,307X_5 + 0,212X_3X_8 + 0,213X_2X_5$$

Neste trabalho, os modelos ajustados por Caten (1995) foram utilizados para aplicação do procedimento proposto para problemas-multirresposta. Os resultados serão comparados aos resultados obtidos por Bernardin (1994) e por Caten (1995).

A otimização das funções de respostas foi conduzida conforme o algoritmo proposto, como segue abaixo.

Passo 1. A otimização foi iniciada com a solução dos problemas:

otimizar $f_{ik}(X)$ $i = 1, 2$ e $j = 1, 2, 3$

s. a $X \in S$,

onde S é a região formada pelos níveis dos fatores experimentais; e

$X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8)$.

As funções f_{11} , f_{21} , f_{22} , f_{13} e f_{23} foram multiplicadas por (-1) para que pudessem ser maximizadas, pois f_{11} e f_{13} representam características de qualidade do tipo menor é melhor e f_{21} , f_{22} e f_{23} representam os desvios-padrões das características.

Obtidos os resultados do problema acima, a tabela de ótimos ideais foi construída e o vetor de perdas calculado.

Tabela 3. Valores ótimos individuais e valores de todas as funções para os pontos ótimos

	f_{11}	f_{21}	f_{12}	f_{22}	f_{13}	f_{23}
f_{11}	-2,52	-1,88	226,10	-63,79	-7,80	-0,73
f_{21}	-12,35	1,45	571,16	-21,00	-4,34	0,002
f_{12}	-12,90	0,12	702,15	-54,1503	-4,33	-0,29
f_{22}	-11,87	0,37	618,87	-9,5	-2,89	0,16
f_{13}	-11,61	-0,21	508,05	-17,21	0,05	0,16
f_{23}	-10,90	0,66	496,17	-17,21	-2,66	0,59

O vetor de valores ótimos é:

$$\tilde{Z} = [2,52; 0; 702,15; 9,5; 0; 0]$$

O vetor de perdas ideais associadas a este vetor é:

$$L = [k(6,35); k(2 \times 10^{-6}); 0],$$

onde $k = A/\Delta^2$ e A é a perda para o consumidor, quando o valor de Y se encontra fora dos limites de especificações e Δ é a tolerância.

O vetor de pesos foi calculado:

$$\pi = [0,0018; 0,035; 0,000034; 0,00024; 0,87; 0,093]$$

Passo 2. Com os resultados do passo anterior, o problema abaixo foi resolvido.

$$\min \lambda$$

s. a

$$\lambda \geq \{Z_{ik}^* - f_{ik}(X)\} \pi_{ik}, i = 1, 2 \text{ e } j = 1, 2, 3$$

$$X \in S$$

$$\lambda \geq 0$$

Na primeira iteração, as funções f_{21} , f_{13} e f_{23} foram satisfatórias, então os valores de π_{21} , π_{13} e π_{23} foram igualados a zero e um montante de relaxação para cada uma delas foi fixado.

Foram necessárias seis iterações para se chegar ao valor ótimo. Em cada iteração, um montante de relaxação era fixado para as funções que apresentavam resultados satisfatórios e era estudado o comportamento

das outras funções. Um vetor de perdas para cada iteração foi calculado e comparado ao vetor de perdas iniciais. O resultado final foi:

$$\begin{aligned} \text{Ponto ótimo:} & \quad X^7 = (-1; 0,369; -1; -1; 1; 0,359; 1; 1) \\ \text{Valores ótimos:} & \quad Z^7 = (5,46; 2,25; 670,00; 86,00; 2,8; 0,38) \\ \text{Perdas quadráticas:} & \quad L^7 = [k(34,93); k(2,34 \times 10^{-6}); k(7,98)]. \end{aligned}$$

ANÁLISE COMPARATIVA

A comparação dos resultados, aqui proposta, com os resultados de Bernardin (1994) e Caten (1995) está na tabela abaixo.

Tabela 4. Comparação dos valores ótimos obtidos para as médias pelos três métodos.

Método	Características			Ponto Ótimo (níveis codificados)
	Y1	Y2	Y3	
Bernardin*	12,850	373,000	4,580	(-1, -2, -1, 2, 0, 1, 0, -1)
Caten	5,810	626,00	2,590	(-1; 0,3; -1; -1; 1; 1; 1; 1)
Guedes	5,464	670,000	2,80	(-1; 0,37; -1; -1; 1; 0,359; 1; 1)
Guedes**	5,54	640,000	2,5	(-1; 0,42; -1; -1; 1; 0,758; 1; 1)

* Método de Taguchi

** Valores obtidos na análise de sensibilidade

Observe-se que o valor ótimo para a característica de qualidade absorção de água (Y3) é maior que o valor ótimo obtido pelos resultados de Caten. Devido a este fato, foi realizada uma análise de sensibilidade da seguinte forma: o montante de relaxação, para a característica de qualidade da resistência mecânica (Y2), a cada iteração foi aproximado do valor encontrado por Caten (1995). Foram necessárias duas iterações para se chegar ao resultado satisfatório.

Tabela 5. Comparação dos valores ótimos obtidos para as variâncias pelos métodos propostos por Caten (1995) e Guedes.

Método	Características			Ponto Ótimo (níveis codificados)
	Y1	Y2	Y3	
Caten	2,016	66,500	0,367	(-1; 0,3; -1; -1; 1; 1; 1; 1)
Guedes	2,253	86,000	0,381	(-1; 0,37; -1; -1; 1; 0,359; 1; 1)
Guedes**	2,129	76,01	0,393	(-1; 0,42; -1; -1; 1; 0,758; 1; 1)

** Valores obtidos na análise de sensibilidade

As perdas quadráticas, definidas por Taguchi, (para detalhes, ver Guedes e Stange (1996b)) associadas aos pontos ótimos de cada uma das características de qualidade estão na tabela abaixo.

Tabela 6. Perdas quadráticas associadas aos pontos ótimos obtidos pelos três métodos

Perdas Método	Características		
	Y1	Y2	Y3
Bernardin*	167,77	$7,1 \times 10^{-6}$	20,72
Caten	37,65	$2,7 \times 10^{-6}$	6,84
Guedes	34,93	$2,3 \times 10^{-6}$	7,9856
Guedes**	35,19	$2,5 \times 10^{-6}$	6,4046

* Método de Taguchi

** Perda quadrática associada à análise de sensibilidade.

Obs: Todos os valores da Tabela 6 são multiplicados pela constante $k = A/\Delta^2$.

CONCLUSÃO

Comparando os valores ótimos, apresentados na Tabela 4 para as equações que representam as médias das características de qualidade, pode-se observar que os valores obtidos pelo método aqui proposto são mais condizentes com os respectivos valores nominais de cada característica que os obtidos pelos outros dois métodos. Isto pode ser confirmado pela Tabela 6, que apresenta o valor da perda quadrática de Taguchi para cada uma das combinações de fatores.

O procedimento de otimização apresentado, neste artigo, permite que o pesquisador acompanhe, em cada iteração, o crescimento da variabilidade e também a variação da perda associada com o ajuste. Além disso, permite que uma análise de sensibilidade seja realizada. Através desta análise, é possível obter o limite superior de crescimento de uma das funções-objetivo, quando se decide diminuir outra(s) e, assim, controlar as perdas individuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGCHI, T.P. & TEMPLETON, J.G.C. Multiple-criteria robust design of electronic devices. *J. Electr. Manufact.*, 3:31-38, 1993.
- BENAYOUN, R., MONTGOLFIER, J., TERGNY, J. & LARITCHEU, O. Linear programming with multiple objective functions: step method (stem). *Mathemat. Programming*, 1:366-375, 1971.
- BERNARDIN, A.M. *Delineamento de experimentos utilizando as técnicas de Taguchi para formulação de massa cerâmica*. Florianópolis, 1994, 95 p. Dissertação (Mestrado

- em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.
- CASTILLO, E.D. & MONTGOMERY, D.C. A nonlinear programming solution to the dual response problem. *J. Qual. Technol.*, 25:199-204, 1993.
- CATEN, C.S. *Método de otimização de produtos e processos medidos por múltiplas características de qualidade*. Porto Alegre, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GUEDES, T.A. *Procedimentos de otimização no planejamento e controle de qualidade de produtos e processos*. Florianópolis, 1996a. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- GUEDES, T.A. Metodologia de Taguchi. *Revista Unimar*, 17:437-458, 1996.
- GUEDES, T.A. & STANGE, P. Modelagem da média e da variabilidade de dados de experimentos industriais. (In Press a).
- GUEDES, T.A. & STANGE, P. Procedimentos de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos - problema bicritério. (In press b).
- PIGNATIELLO JR, J.J. Strategies for robust multiresponse quality engineering. *IIE Transact.*, 25:5-14, 1993.
- RIBEIRO, J.L. & ALBIN, S. An objective function of multiple quality characteristics for parameter optimization experiments. Rutgers University, Department of Industrial Engineering. 1993. p. 93-111. (IE Working Paper).
- RIBEIRO, J.L. & ELSAYED, E.A. A gradient loss function for process optimization. Rutgers University, Piscataway, N.J. Department of Industrial Engineering. 1993. p.1-23. (IE Working Paper).
- STANGE, P. Algumas considerações sobre técnicas matemáticas de otimização. Florianópolis: 1993. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Monografia para concurso de professor titular.
- VINING, G.G. & MYERS, R.H. Combining Taguchi and response surface philosophies: a dual response approach. *J. Qual. Technol.*, 22:38-45, 1990.

PROCEDIMENTO DE OTIMIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE DE PRODUTOS E PROCESSOS: PROBLEMA-BICRITÉRIO

Terezinha Aparecida Guedes* e Plinio Stange⁺

RESUMO. Este artigo apresenta procedimento de otimização para os modelos de respostas, de dados experimentais, para os três tipos de características de qualidade para problemas de resposta única.

Palavras-chave: função-perda, otimização-bicritério.

OPTIMIZATION PROCEDURE IN PLANNING AND CONTROL OF PRODUCT AND PROCESS QUALITY - BICRITERION PROBLEM

ABSTRACT. This paper presents an optimization procedure for experimental data response models for the three types of quality characteristics in monoresponse problems.

Key words: loss function, bicriterion optimization.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, uma coleção de técnicas para a melhoria da qualidade foi desenvolvida pelo Professor Genichi Taguchi visando a uma grande variedade de problemas de engenharia no planejamento, na evolução e na fabricação de produtos [Taguchi e Wu (1985), Phadke (1989), Schmidt e Launsby (1992) etc]. Muitos autores têm publicado artigos promovendo a aplicação direta destas técnicas, entre eles Phadke (1989), Taguchi e Phadke (1984) e Byrne e Taguchi (1986). Entretanto,

* Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

⁺ Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa postal 476, 88040-900, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil. "In Memoriam".

Correspondência para Terezinha Aparecida Guedes.

Data de recebimento: 14/10/96.

Data de aceite: 19/12/96.

muitas controvérsias sobre o uso destes métodos têm sido assunto de discussões entre vários autores. Muitos estatísticos e engenheiros vêm demonstrando que as estatísticas utilizadas como o desempenho a ser medido e as técnicas de otimização recomendadas por Taguchi são freqüentemente difíceis de entender, ineficientes e, algumas vezes, grosseiramente incorretas. Por esta razão, eles têm criticado a aplicação destas estatísticas de desempenho e desenvolvido procedimentos alternativos, estatisticamente, mais eficientes com o objetivo de melhorar a qualidade de produtos fabricados. Ver, por exemplo, Nair e Pregibon (1986), León, Shoemaker e Kackar (1987), Box (1988), Stephens (1991), Castillo e Montgomery (1993) e Ribeiro e Elsayed (1993). No entanto, o que se observa, na literatura, é que muitas pesquisas têm sido direcionadas com o objetivo de melhorar a eficiência do método de Taguchi. Porém, poucos direcionam suas pesquisas para as características de qualidade dos tipos maior é melhor e menor é melhor. Os poucos trabalhos direcionados para estas características são complicados ou ineficientes. Portanto, nota-se uma lacuna nos procedimentos alternativos que já foram propostos na literatura. Este trabalho apresenta procedimentos simples e eficientes para a otimização dos modelos de respostas, de dados experimentais, para todos os três tipos de características de qualidade para problemas de resposta única. Estes procedimentos serão denominados de procedimentos-bicritério.

Após os modelos que representam as médias e as variâncias das características de qualidade, Y_k , $k=1, 2$, serem ajustados, conforme procedimento proposto por Guedes (1996a), o próximo passo é determinar os níveis dos fatores do experimento, que levarão às melhores respostas. Nesta trabalho, serão considerados os casos em que apenas uma característica de qualidade está sendo estudada e um procedimento chamado bicritério será desenvolvido, para cada tipo de característica de qualidade. O objetivo é melhorar a qualidade, através do decrescimento da variação e do ajustamento da média ao valor objetivo. Mais explicitamente, para qualquer tipo de característica de resposta, deseja-se minimizar a variância e levar a média ao seu melhor valor possível (isto é, levar a média ao quanto menor ou ao quanto maior possível ou ao valor nominal). Porém, sem esquecer que a perda quadrática, definida por Taguchi (1987), deve ser a menor possível. Quando as funções que representam os modelos de locação e de dispersão do processo são funções convexas (ou côncavas), os métodos de otimização são os métodos comuns encontrados na literatura. Entretanto, nem sempre os

modelos podem ser representados por funções convexas (ou côncavas). Nestes casos, o problema torna-se de otimização global, sendo, assim, necessários métodos que comportem esta situação. Stange (1993) propõe um algoritmo para estes casos.

Tem-se então, inicialmente, que detectar se cada uma das funções é convexa (ou côncava) e, então, escolher o método de otimização correto para o caso. Quando as funções que representam os modelos forem não-convexas (e não-côncavas) e não-diferenciáveis, tem-se que lidar com a otimização global, não-linear, inteira e, algumas vezes, mista.

Observe-se que, se a característica de qualidade estudada é do tipo “menor é melhor”, procura-se por um ponto de mínimo dentro do intervalo estudado. Se uma das funções que representam os modelos é não-convexa, pode-se ter um ou dois pontos de mínimo, em um dos limites do intervalo. Se for côncava, pode-se ter muitos ou infinitos pontos de mínimo para esta função.

Se a característica estudada é do tipo “maior é melhor”, procura-se por um valor máximo para o modelo de locação e um valor mínimo para o modelo de dispersão. Para o modelo de dispersão, tem-se uma situação similar ao que foi visto para a característica do tipo “menor é melhor”. Se a função que representa o modelo de locação é não-côncava, pode-se ter um ou dois pontos de máximo em um dos limites do intervalo. Se for convexa, pode-se ter muitos ou infinitos pontos de máximo.

FUNÇÃO PERDA

A função perda, definida por Taguchi e Wu (1985), tem a seguinte forma:

$$l(Y) = \frac{A}{\Delta^2} (Y - m)^2, \quad (1)$$

onde

A é a perda para o consumidor quando o valor de Y se encontra fora dos limites de especificação,

m é o valor nominal, e

Δ é a tolerância.

A perda quadrática esperada é dada por:

$$L(Y) = \frac{A}{\Delta^2} E[(Y - m)^2] = k(DMQ), \quad (2)$$

onde

DMQ é o desvio-médio quadrático.

Taguchi e Wu (1985) definiram, para cada tipo de característica, o desvio médio quadrático como:

$$\text{DMQ} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n}, \text{ se a variável é do tipo menor é melhor;}$$

$$\text{DMQ} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - m)^2}{n}, \text{ se a variável é do tipo nominal é melhor; e}$$

$$\text{DMQ} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{nY_i^2}, \text{ se a variável é do tipo maior é melhor.}$$

Através de manipulações algébricas, pode-se expressar as fórmulas para o DMQ em função da média e da variância.

Para as características de qualidade dos tipos nominal é melhor e menor é melhor é fácil ver que:

$$\begin{aligned} \text{DMQ} &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y - m)^2}{n} \\ \text{DMQ} &= \frac{\sum_{i=1}^n [(Y - \bar{y})^2 + (\bar{y} - m)^2]}{n} \\ &= s_n^2 + (\bar{y} - m)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Observe que para as características de qualidade do tipo menor é melhor, $m = 0$.

Para a característica de qualidade maior é melhor, Taguchi e Wu (1985) apresentaram a seguinte aproximação para o desvio médio quadrático:

$$\text{DMQ} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{nY_i^2} \cong \frac{1}{\bar{y}^2} \left(1 + \frac{3s_n^2}{\bar{y}^2} \right). \quad (4)$$

Esta expressão foi obtida através da expansão da série de Taylor, ver Maghsoodloo (1990).

$$\text{Observe que } s_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}{n} = \frac{(n-1)s^2}{n}$$

é um estimador viesado da variância.

Após estas manipulações algébricas, têm-se as seguintes expressões para a perda quadrática esperada:

$$L(Y) = \frac{A}{\Delta^2} E[(Y - m)^2] = k(DMQ), \text{ ou}$$

$$L(Y) = k[s_n^2 + \bar{y}^2], \text{ menor é melhor;} \quad (5)$$

$$L(Y) = k[s_n^2 + (\bar{y} - m)^2], \text{ nominal é melhor; e}$$

$$L(Y) = k \left\{ \frac{1}{\bar{y}^2} \left[1 + \frac{3s_n^2}{\bar{y}^2} \right] \right\}, \text{ maior é melhor.}$$

Estas funções de perdas quadráticas serão utilizadas na tomada de decisão que ocorrerá no decorrer da aplicação do procedimento de otimização.

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

Considerem-se os modelos ajustados, através dos procedimentos discutidos por Guedes e Stange (1996), para as médias e para as variâncias. Desta forma, se existem K características de qualidade, então para cada uma delas tem-se um par de modelos que serão denotados, respectivamente, por:

$$f_{1k}(X) = \hat{\mu}_k, k=1, 2, \dots, K$$

$$f_{2k}(X) = \hat{\sigma}_k^2 \text{ ou } f_2(X) = \hat{\sigma}_k, k=1, 2, \dots, K,$$

onde $\hat{\mu}_k$ é a média, $\hat{\sigma}_k^2$ é a variância da k-ésima característica de qualidade e X representa o conjunto de fatores do experimento.

O problema pode ser formulado, matematicamente, para cada tipo de característica de qualidade da seguinte forma:

1. característica de qualidade do tipo menor é melhor:

$$\min f_1(X) \text{ e } f_2(X),$$

$$\text{sujeitas a } X \in S,$$

onde

X representa o conjunto de fatores do experimento,
S representa o conjunto de níveis dos fatores;

2. característica de qualidade do tipo maior é melhor:

$$\max f_1(X) \text{ e } \min f_2(X),$$

$$\text{sujeitas a } X \in S;$$

3. característica de qualidade do tipo nominal (m) é melhor:

$$\min \{f_1(X) - m\} \text{ e } \min f_2(X),$$

sujeitas a $X \in S$.

MODELO-BICRITÉRIO

Quando apenas uma característica de qualidade está sendo estudada, os problemas tornam-se bicritério. Isto é, têm-se apenas duas funções-objetivo, uma para a média e outra para a variância da característica de qualidade.

Um procedimento para resolver problemas de modelo-bicritério, na tomada de decisão aplicada à economia, foi desenvolvido por Moskowitz, Ravindran, Klein e Eswaran (1982). O procedimento é chamado de *método de comparação pareado* e usa somente interações simples, converge rapidamente para uma solução ótima, aplica-se a variáveis discretas (e contínuas) e acomoda restrições e funções-objetivo não-lineares.

Este procedimento, com as modificações devidas, será utilizado na otimização dos modelos que representam a média e a variância da característica de qualidade.

O problema, de maneira geral, será definido como:

$$\begin{aligned} \max \text{ o vetor } [f_1(X), f_2(X)] &= \max L[f_1(X), f_2(X)] \\ \text{sujeito a } X &\in S, \end{aligned}$$

onde L é uma função-utilidade representando a perda quadrática esperada.

CONSIDERAÇÕES E SUPOSIÇÕES SOBRE A FUNÇÃO-UTILIDADE (FUNÇÃO-PERDA)

Quando a região viável, S , é um conjunto compacto convexo, as funções f_1 , f_2 são côncavas e a função-utilidade L é crescente e estritamente quase-côncava. Então, é garantido que há um máximo global (ou mínimo). A suposição de quase-concavidade de L assegura que o ótimo local é também um ótimo global.

Os modelos ajustados, para a média ou locação e para a variância, terão as formas apropriadas para cada caso estudado, isto é, podem ser funções lineares ou não-lineares, bem como funções quadráticas, polinomiais, exponenciais etc. Estas funções nem sempre serão côncavas (ou convexas) e nem diferenciáveis. Portanto, nada poderá ser afirmado quanto à quase-concavidade de L e, nestes casos, será necessário aplicar

otimização global (algoritmo de Stange (1993)) juntamente com o procedimento que será proposto. Para detalhes, ver Guedes (1996a).

Considerando o problema de otimização para cada tipo de característica de resposta, Y pode restringir-se às soluções eficientes, para cada caso, definidas abaixo como candidatas ao ótimo.

Definição 1. Uma solução $x^0 \in S$ é dita ser eficiente, se $f_1(x) > f_1(x^0)$ para algum $x \in S \Rightarrow f_2(x) > f_2(x^0)$. (Característica do tipo quanto menor melhor).

Definição 2. Uma solução $x^0 \in S$ é dita ser eficiente, se $f_1(x) < f_1(x^0)$ para algum $x \in S \Rightarrow f_2(x) > f_2(x^0)$. (Característica do tipo quanto maior melhor).

Definição 3. Uma solução $x^0 \in S$ é dita ser eficiente, se $f_1(x^0) = m$ para $x^0 \in S \Rightarrow f_2(x) > f_2(x^0)$. (característica do tipo o valor nominal é o melhor).

A teoria apresentada por Moskowitz, Ravindran, Klein e Eswaran (1982) gera eficientes soluções e apresenta um método eficiente de buscar, entre estas soluções eficientes, aquela de melhor compromisso para a tomada de decisão.

Considere, o seguinte conjunto de valores, para a característica de resposta,

$$Y = \{y / f(X) = y \text{ para } X \in S\}, \quad (6)$$

seja

$$A = \{y / f(X) \geq y \text{ para } X \in S\}. \quad (7)$$

Considere também, o seguinte procedimento matemático de objetivo único:

P1: $\max f_1(X)$ sujeito a $X \in S$. P2: $\max f_2(X)$ sujeito a $X \in S$.

Sejam os valores ótimos de P1 e P2 $\mu^* = \max f_1(X)$ e $\sigma^{2*} = \max f_2(X)$, respectivamente. Agora, considere o seguinte procedimento matemático paramétrico:

$P\sigma^2$: $\max f_2(X)$, sujeito a $X \in S$ e $f_1(X) \geq \mu$ $P\mu$: $\max f_1(X)$, sujeito a $X \in S$ e $f_2(X) \geq \sigma^2$.

Seja x_2^* a solução de $P\mu$, quando $\sigma^2 = \sigma^{2*}$. Então, $f_1(x_2^*) = \mu$, é o valor mínimo entre os valores máximos de f_1 sem violar a restrição com respeito a f_2 , enquanto μ^* é o valor máximo de f_1 sem restringir f_2 . Desta forma, o intervalo de valores de f_1 é dado por $[\mu, \mu^*]$. O melhor valor para f_1 estará dentro deste intervalo.

Os resultados seguintes possibilitam gerar eficientes soluções para o problema de otimização matemática bicritério. (As provas estão em Sadagopan e Ravindran (1982)).

Teorema 1. Na solução ótima para o procedimento $P\mu$, onde $\mu \in [\mu_l, \mu^*]$, a restrição $f_1(X) \geq \mu$ será uma restrição de igualdade, isto é, se x é a solução ótima para $P\mu$, então, $f_1(x) = \mu$.

Teorema 2. $x \in S$ é eficiente se, e somente se, x resolve $P\mu$, onde $\mu \in [\mu_l, \mu^*]$.

O teorema 2 é suficiente para garantir o conjunto completo de soluções, através da parametrização de $P\mu$. Pelo teorema 1, as soluções geradas terão níveis específicos para atingir f_1 , a saber μ . O próximo teorema dará algumas propriedades de unimodalidade, as quais são suficientes para uma parametrização eficiente.

Considere o problema, onde L é maximizada sobre um conjunto Y , com f_1 fixa para σ^2 , isto é,

$P3: \max L(\mu, f_2)$, sujeito a $(\mu, f_2) \in Y$, onde, $(\mu, f_2) \in Y$ é um subconjunto de Y definido por $\{(\mu, f_2) / f_2 = f_2(X) \text{ para } X \in S \text{ e } f_1(X) = \mu\}$.

Pelo teorema 1 e pelo fato de que L é crescente em f_2 , é fácil ver que uma solução ótima para $P3$ é também uma solução ótima para o procedimento $P\mu$, onde $\mu \in [\mu_l, \mu^*]$. Pode-se estabelecer a unimodalidade de $g(\mu)$, através do teorema abaixo.

Teorema 3. Seja Y' um subconjunto convexo de $\mathbb{R}^2$ e $L(f_1, f_2)$ uma função crescente fortemente quase-côncava de f_1 e f_2 definida sobre Y' , então, $g(\mu) = \max L(\mu, f_2), (\mu, f_2) \in Y'$ é fortemente quase-côncava, isto é, é unimodal em μ .

O teorema acima explora arduamente a convexidade de Y' . Em muitos casos, a suposição de convexidade para o conjunto de resultados, Y , pode ser excessivamente restritiva. Para estes casos, o conjunto Y pode ser estendido ao conjunto A , definido pela equação (7), sem afetar os resultados. O lema abaixo garante a convexidade do conjunto A .

Lema 1. Se S é um conjunto convexo e f é côncava, então A será um conjunto convexo.

Sendo A identificado com Y' , o teorema 3 estará satisfeito, quando o conjunto Y é não-convexo.

O teorema seguinte estabelece a equivalência dos seguintes procedimentos:

$P4: \max L(a, f_2), (a, f_2) \in Y$

$P5: \max L(a, f_2), (a, f_2) \in A$

Teorema 4. As soluções ótimas para P4 e P5 são idênticas, isto é, seja Y_m o conjunto de soluções ótimas para P4 e A_m o conjunto de soluções ótimas para P5, então $Y_m = A_m$.

Teorema 5. Com as suposições mencionadas anteriormente, o relacionamento seguinte é verdadeiro:

$$\max_{(\mu, f_2) \in Y} L(\mu, f_2) = g(\mu) = \max_{f_1(X) \geq \mu \text{ e } X \in S} L(\mu, f_2)$$

MÉTODO DE COMPARAÇÃO PAREADA

Com os resultados da seção anterior, um procedimento pode ser desenvolvido necessitando apenas uma comparação pareada, isto é, dadas quaisquer duas soluções viáveis e seus resultados:

$$y^1 = [\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2] \quad \text{e} \quad y^2 = [\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2],$$

a decisão do pesquisador (engenheiro, estatístico) deve ser especificada, se

$$y^1 \succ y^2 \text{ ou } y^2 \succ y^1 \text{ ou ambos,}$$

onde $\succ$ denota “preferível”.

Com base nos teoremas anteriores, o procedimento matemático bicritério tem sido reduzido a determinar o máximo de $g(\mu)$, em que μ pertence ao intervalo $[\mu_l, \mu^*]$, onde $\mu_l = f_1(x_2^*)$. Entretanto, $g(\mu)$ não é conhecida explicitamente, desde que L (função utilidade) não seja conhecida. Mas, usando uma técnica de busca que requer somente a comparação funcional e não os valores das funções, pode-se, ainda, resolver o problema matemático bicritério, usando o conceito de região de eliminação seguinte.

Para uma função unimodal $g(\mu)$ definida sobre o intervalo finito (μ_l, μ^*) , sejam μ_a e μ_b dois pontos no intervalo tais que $\mu_a < \mu_b$. Então, $g(\mu_a) < g(\mu_b)$ implica que o máximo de $g(\mu)$ não está no intervalo (μ_l, μ_a) . Por outro lado, $g(\mu_a) > g(\mu_b)$ implica que o máximo não está no intervalo (μ_b, μ^*) .

PASSOS GERAIS PARA O ALGORITMO

A otimização das funções $f_1(X)$ e $f_2(X)$ será realizada por métodos padrões de otimização encontrados na literatura, se estas forem côncavas ou convexas ou por otimização global (algoritmo de Stange (1993)).

1. Característica de qualidade do tipo maior é melhor

Passo 1. Resolver P1: Max $f_1(X)$,
sujeita a $X \in S$.

Seja $\mu^* = \max f_1(X)$.

Resolver P2: Min $f_2(X)$,
sujeita a $X \in S$

Seja $\sigma^{2*} = \min f_2(X)$.

Passo 2. Resolva

$P^*_{\sigma^2}$: Max $f_1(X)$,
sujeito a $X \in S$ e $f_2(X) \leq \sigma^{2*}$.

Seja o $\mu_l = \max f_1(X)$.

Agora, o valor ótimo de f_1 para o procedimento-bicritério está entre μ_l e μ^* .

Calcule $L[\mu_l, \sigma^{2*}]$.

Passo 3. Escolha dois valores, μ_a e μ_b , tais que $\mu_l < \mu_a < \mu_b < \mu^*$.

Resolver P_μ : Min $f_2(X)$,
sujeito a $X \in S$ e $f_1 \geq \mu$,

para $\mu = \mu_a$ e $\mu = \mu_b$.

Seja $g(\mu) = \min f_2(X)$. Calcule $L[\mu_a, g(\mu_a)]$ e $L[\mu_b, g(\mu_b)]$.

Passo 4. Seja $y^1 = [\mu_a, g(\mu_a)]$, $y^2 = [\mu_b, g(\mu_b)]$. Dados y^1 e y^2 ,

pergunta-se: $y^1 \succ y^2$, $y^2 \succ y^1$ ou é indiferente?

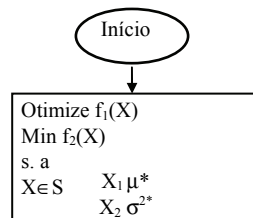
Dada a resposta, uma porção do conjunto pode ser eliminada.

Se $y^1 \succ y^2$, então, faça $\mu^* = \mu_b$ e vá para o passo 5.

Se $y^2 \succ y^1$, então, faça $\mu_l = \mu_a$ e vá para o passo 5.

Passo 5. Se $|\mu_l - \mu^*| < \varepsilon$ (um número escolhido), pare; caso contrário, retorne ao passo 3.

Ver Figura 1.



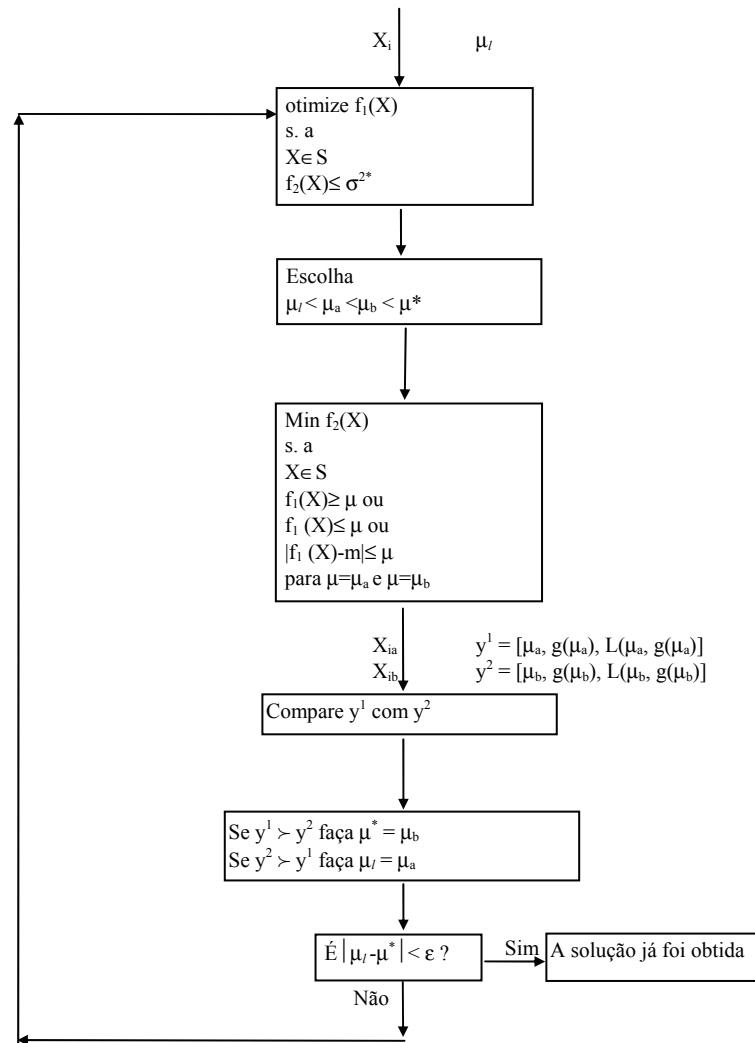


Figura 1. Fluxograma para o algoritmo bicritério

OBSERVAÇÃO: A decisão deve ser tomada, considerando o crescimento que ocorre no valor de $g(\mu)$ e na comparação do valor da função de perda, obtida no passo 2, com o valor obtido no passo 3.

A geração dos pontos entre μ_l e μ^* poderá ser feita, através de um critério de busca univariado (seção áurea ou outra).

2. Característica do tipo menor é melhor

Passo 1. Resolver P1: $\text{Min } f_1(X)$
sujeito a $X \in S$.

Seja $\mu^* = \min f_1(X)$.

Resolver P2: $\text{Min } f_2(X)$
sujeito a $X \in S$

Seja $\sigma^{2*} = \min f_2(X)$.

Passo 2. Resolver $P^*_{\sigma^2}$: $\text{Min } f_1(X)$
sujeito a $X \in S$ e $f_2(X) \leq \sigma^{2*}$.

Seja o $\mu_l = \min f_1(X)$. Agora o valor ótimo de f_1 para o procedimento bicritério está entre μ^* e μ_l .

Calcule $L[\mu_l, \sigma^{2*}]$.

Passo 3. Escolha dois valores, μ_a e μ_b , tais que $\mu^* < \mu_a < \mu_b < \mu_l$.

Resolver P_μ : $\text{min } f_2(X)$
sujeito a $X \in S$ e $f_1(X) \leq \mu$

para $\mu = \mu_a$ e $\mu = \mu_b$.

Seja $g(\mu) = \min f_2(X)$. Calcule $L[\mu_a, g(\mu_a)]$ e $L[\mu_b, g(\mu_b)]$.

Passo 4. Idem para caso anterior. **Passo 5.** Idem para caso anterior.

3. Característica do tipo nominal é melhor

Passo 1. Resolver P1: $\text{Min } \{f_1(X) - m\}$
sujeito a $X \in S$.

Seja $\mu^* = \min \{f_1(X) - m\}$.

Resolver P2: $\text{Min } f_2(X)$
sujeito a $X \in S$

Seja $\sigma^{2*} = \min f_2(X)$.

Passo 2. Resolver $P^*_{\sigma^2}$: $\text{Min } \{f_1(X) - m\}$
sujeito a $X \in S$ e $f_2(X) \leq \sigma^{2*}$.

Seja $\mu_l = \min \{f_1(X) - m\}$ e X^* o ponto ótimo. Agora o valor ótimo de f_1 para o procedimento bicritério está entre μ^* e μ_l .

Calcule $L[f_1(X^*), \sigma^{2*}]$.

Passo 3. Escolha dois valores, μ_a e μ_b , tais que $\mu^* < \mu_a < \mu_b < \mu_l$.

Resolver P_μ : $\text{min } f_2(X)$
sujeito a $X \in S$ e $\{f_1(X) - m\} \leq \mu$

para $\mu=\mu_a$ e $\mu=\mu_b$.

Seja $g(\mu)=\min f_2(X)$ e sejam X^{a*} e X^{b*} os pontos ótimos.

Calcule $L[f_1(X^{a*}), g(\mu_a)]$ e $L[f_1(X^{b*}), g(\mu_b)]$.

Passo 4. Idem para caso anterior.

Passo 5. Idem para caso anterior.

APLICAÇÃO - PROCESSO E MANUFATURA DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Este caso foi estudado por Karen Kafadar (1990) no laboratório R&D da companhia Hewlett-Packard e foi utilizado para exemplificar a aplicação dos passos recomendados para a modelagem da média e da variância em Guedes (1996a) e em Guedes e Stange (1996) (artigo a ser publicado). Aqui, os modelos para a média e para a variância serão analisados, através do procedimento de otimização bicritério.

Circuitos integrados têm dimensões e tolerâncias extremamente pequenas e isto leva a uma grande dificuldade na especificação dos parâmetros. A fabricação destes circuitos envolve depósito de fotorresistência, máscara do padrão, filme de exposição e o alinhamento de muitos circuitos sobre uma única placa. A placa está sujeita a várias condições do processo (temperaturas, pressão, razão de alimentação), ou fatores de ruído, os quais contribuem para a variação na performance do circuito, além daqueles causados pelos próprios parâmetros do circuito. A situação física que corresponde a este processo envolve um depósito de camadas de produtos químicos (bório, fósforo etc) tendo as resistências definidas (R_s , R_d etc) sobre uma camada de substrato (por exemplo silício). A interface entre as duas superfícies, as camadas de produtos químicos e substrato têm comprimento L e largura W , respectivamente. A capacidade de resistência desta interface afeta a ação dos elétrons das superfícies altas para as superfícies baixas e é governada pelo parâmetro b (o qual é expresso em termos de outro parâmetro R). R_s e R_d são as resistências das superfícies altas e baixas, respectivamente, e R_c é a resistência de saída do circuito. O objetivo é escolher os níveis ótimos para R_s , R_d , L e R (W é fixo por outras restrições), que levem a um pequeno valor de R_c com mínima variação. Os três níveis para cada um dos quatro parâmetros do planejamento estão na tabela abaixo.

Tabela 1. Níveis dos fatores experimentais.

R_s	25	30	35	ohms/quadrado
R_d	4	5	6	ohms/quadrado

R	100	150	200	ohms
L	0,4	0,5	0,6	mícron
W	1,5	1,5	1,5	mícron

A resistência resultante, ou característica de performance ou variável de resposta, é dada em termos destes parâmetros através da equação:

$$R_c = \frac{2 * R_s * R_d + (R_s^2 + R_d^2) * \cosh(\beta * L)}{\beta * W * (R_s + R_d) * \sinh(\beta * L)}, \text{ onde } \beta = \left[\frac{R_s + R_d}{R} \right]^{1/2}$$

Esta equação foi calculada para cada valor nominal dos parâmetros mais um erro devido à variação dos componentes ou a outras fontes de ruídos. A combinação ideal dos níveis dos parâmetros será aquela que minimiza R_c e também sua variação. Resistores são geralmente especificados como uma porcentagem de seus valores nominais, e aqueles que caem dentro de 10%, são simplesmente vendidos como resistores tendo um valor nominal diferente. Assim, a distribuição dos erros em torno deste valor nominal é aproximadamente constante. Desta forma, as distribuições simuladas para R_s e R_d foram uniformes, com limites de $\pm 10\%$ ($=\pm 1,732s_{unif}$). Na falta de conhecimento adicional sobre R e L , as distribuições simuladas para estes parâmetros foram normais com médias iguais aos valores nominais e desvios padrões iguais a 5% dos valores nominais. A distribuição simulada para W também foi normal, com desvio padrão igual a 0,5% do valor nominal, porque a tolerância considerada sobre W é muito pequena. Os ruídos foram simulados, através das respectivas distribuições dos parâmetros.

O objetivo era minimizar variações enquanto se obtinha o valor ótimo para os níveis dos fatores. As técnicas utilizadas, pelos autores, foram os gráficos das variâncias amostrais versus médias amostrais na escala log.-log., recomendados por Nair e Pregibon (1986) e também utilizando a transformação logarítmica da média e da variância, para uma análise de variância, recomendada por Box (1988).

Neste trabalho, serão utilizados os modelos ajustados, para representar a média e a variância dos dados simulados, em Guedes (1996a) e em Guedes e Stange (1996a).

Modelo para a média:

$$\mu^{0,25} = 3,620 + 0,0126R - 3,224L - 0,0000R^2 + 1,819L^2 - 0,003RL$$

Modelo para a variância:

$$(\sigma^2)^{0,08} = 1,197 + 0,0104R_s - 0,0133R_d + 0,0029R - 0,000004R^2 - 0,0188R_sL$$

Tem-se, agora, o seguinte problema bicritério:

$$\min \mu^{0,25} = 3,620 + 0,0126R - 3,224L - 0,0000R^2 + 1,819L^2 - 0,003RL$$

$$\min (\sigma^2)^{0,08} = 1,197 + 0,0104Rs - 0,0133Rd + 0,0029R - 0,000004R^2 - 0,0188RsL,$$

sujeita a

$$100 \leq R \leq 200$$

$$0,4 \leq L \leq 0,6$$

$$25 \leq Rs \leq 35$$

$$4 \leq Rd \leq 6.$$

Observe-se que será necessário verificar se as equações que representam os modelos são côncavas ou convexas para depois aplicar o procedimento bicritério. Caso estas funções não sejam côncavas e nem convexas, será necessário aplicar o algoritmo de Stange (otimização global) juntamente com o procedimento bicritério.

Para fazer esta verificação, o algoritmo de Ivanqui e Stange (artigo a ser publicado) foi aplicado. Verificou-se que as equações não são côncavas nem convexas, portanto, o algoritmo de Stange (1993) será aplicado juntamente com o algoritmo bicritério.

APLICAÇÃO DO ALGORITMO BICRITÉRIO

Passo 1. Neste passo, as funções da média e da variância foram minimizadas separadamente:

$$\hat{\mu}^* = 107,5625 \quad \text{ponto ótimo (R=100; L=0,6; Rs=35; Rd=6)}$$

$$\hat{\sigma}^2 = 37,51508 \quad \text{ponto ótimo (R=100; L=0,6; Rs=35; Rd=6)}$$

Coincidentemente, as duas funções atingem o valor ótimo no mesmo ponto. Desta forma, não será necessário fazer os cálculos dos passos seguintes do algoritmo.

Estes resultados levam a uma perda quadrática:

$$L = k(11607,2065),$$

onde $k = A/\Delta^2$ e A é a perda que incorre, quando o produto está fora das especificações e Δ é a tolerância.

CONCLUSÃO

A Tabela 2, abaixo, apresenta os pontos ótimos obtidos pelo procedimento, aqui proposto, o ponto ótimo (conjunto de níveis dos fatores experimentais) obtido pela aplicação da metodologia de Taguchi e também o ponto ótimo fornecido pela análise de Kafadar (1990).

O ponto ótimo foi obtido no primeiro passo da primeira iteração do algoritmo bicritério. Ou seja, o ponto ótimo para a função da média e o ponto ótimo para a função da variância coincidiram no primeiro passo do algoritmo.

Tabela 2. Níveis ótimos dos fatores do experimento obtido em cada método

Método	Ponto Ótimo				
	(Rs	Rd	R	L	W)
Guedes	(35;	6;	100;	0,6;	1,5)*
Kafadar	(25;	4;	100;	0,6;	1,5)
Taguchi	(25;	6;	100;	0,6;	1,5)**

* Valor obtido no primeiro passo do algoritmo

** A análise de Taguchi se encontra em Guedes (1996a)

Para cada um dos pontos ótimos, dos níveis dos fatores experimentais, 20 corridas de confirmação foram simuladas, considerando as distribuições de probabilidades de cada um dos fatores. A Tabela 3 apresenta a média, a variância dos dados e a perda quadrática associada:

Tabela 3. Média e Variância das corridas de confirmação e perda quadrática.

Método	Ponto Ótimo	Média	Variância	Perda Quadrática
Guedes	(35; 6; 100; 0,6; 1,5)	111,808	37,3845	$L=k(12538,4133)^*$
Kafadar	(25; 4; 100; 0,6; 1,5)	115,693	94,0788	$L=k(13478,9490)$
Taguchi	(25; 6; 100; 0,6; 1,5)	116,563	117,9920	$L=k(13704,92497)$

* $k = A/\Delta^2$, A é a perda quando o produto está fora dos limites de especificações e Δ é a tolerância.

Através da Tabela 3, pode-se observar que o procedimento de Kafadar (1990) e pela metodologia de Taguchi não levaram à variância mínima. Pode-se observar, também, que os três procedimentos apresentaram pequenas diferenças na resistência média, embora o menor valor tenha sido o obtido pelo procedimento aqui proposto. A perda quadrática incorrida é consideravelmente menor para este procedimento. Outro ponto a ressaltar é a simplicidade do procedimento proposto que considera o planejamento experimental e a modelagem das respostas (neste caso média e variância) o ponto principal para se obter excelentes resultados. Ou seja, não há método que conserte uma amostra que não

tenha sido colhida conforme as regras estatísticas e matemáticas e não se pode ter uma boa representação, se os dados não foram bem modelados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOX, G. Signal-to-noise ratios, performance criteria, and transformations. *Technometrics*, 30:1-40, 1988.
- BYRNE, D.M. & TAGUCHI, S. The Taguchi approach to parameter design. *Qual. Progr.*, Dec.: 19-26, 1987.
- CASTILLO, E.D. & MONTGOMERY, D.C. A nonlinear programming solution to the dual response problem. *J. Qual. Technol.*, 25:199-204, 1993.
- GUEDES, T.A.(a) *Procedimentos de otimização no planejamento e controle de qualidade de produtos e processos*. Florianópolis, 1996a. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- GUEDES, T.A.(b) Metodologia de Taguchi. *Revista Unimar*, 17:437-458, 1996.
- GUEDES, T.A. & STANGE, P. Modelagem da média e da variabilidade de dados de experimentos industriais. (No prelo).
- IVANQUI, I.L. & STANGE, P. Verificar a convexidade e ou semi-convexidade de uma função real via programação não linear. (In Press).
- KAFADAR, K. Designing experiments in research and development: four case studies. In: S. GHOSH (Ed). *Statistical design and analysis of industrial experiments*. New York: Marcel Dekker, 1990. p. 35-72.
- LEON, R.V. SHOEMAKER, A.C. & KACKER, R.N. Performance measures independent of adjustment. *Technometrics*, 29:253-285, 1987.
- MAGHSOODLOO, S. The exact relation of Taguchi's signal-to-noise ratio to his quality loss function. *J. Qual. Technol.*, 22(1):57-67, 1990.
- MOSKOWITZ, H., RAVINDRAN, A., KLEIN, G. & ESWAREN, P.K. Bicriterion model for acceptance sampling. In: ZANAKIS, S.H. & RUSTAGI, J.S. (Ed.). *Optimization in statistics*, New York, 19:305-322, 1982.
- MYERS, R.H. *Response surface methodology*. Ann Arbor: Edwards Brothers, 1976.
- NAIR, V.N. & PREGIBON, D. Analyzing dispersion effects from replicated factorial experiments. *Technometrics*, 30:247-256, 1988.
- PHADKE, M.S. *Quality engineering using robust design*. Englewood Cliffs: P T R Prentice Hall, 1989.
- RIBEIRO, J.L. & ELSAYED, E.A. A gradient loss function for process optimization. Rutgers University. Department of Industrial Engineering., 1993. p. 1-23. (IE Working Paper).
- SADAGOPAN, S. & RAVINDRAN, A. Interactive solution of bi-criteria mathematical programs. *Naval Res. Logist. Quart.*, 29:443-458, 1982.
- SCHMIDT, S.R. & LAUNSBY, R.G. *Understanding industrial designed experiments*. 3.ed. Colorado Springs: Air Academic Press, 1992.

- STANGE, P. *Algumas considerações sobre técnicas matemáticas de otimização*. Florianópolis, 1993. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Monografia para concurso de professor titular.
- STEPHENS, M.P. *A comparison of robustness of Taguchi's signal-to-noise ratio with classical ANOVA for the analysis of two level factorial designs: a Monte Carlo study*. Carbondale, 1991. Tese (Ph. D). Department of Educational Psychology in the Graduate School, Southern Illinois University.
- TAGUCHI, G. *System of experimental design*. White Plains: UNIPUB: KRAUS INTERNATIONAL PUBLICATIONS, 1987.
- TAGUCHI, G. & PHADKE, M.S. Quality engineering through design optimization. *IEEE Communications*, Nov.: 1106-1113, 1984.
- TAGUCHI, G. & WU, Y. *Introduction to off-line quality control*. Meieki Nakamura-Ku Nagoya, Japan. Central Japan Quality Control Association, 1985.

THERMOSTABILITY OF CRUDE EXTRACT OF PEROXIDASE FROM PINEAPPLE

Elaine Trannin de Mello* e Edmar Clemente*

ABSTRACT. The extracts of the soluble peroxidase and ionically bound peroxidase were prepared from pineapple pulp, peel and stalk and submitted to heat treatments at 60°C and 75°C and enzymatic activity performance followed for 10 minutes. The inactivation of peroxidase with heat was shown as a non - linear process. The enzymes of soluble fraction showed greater stability against heat treatment. The electrophoresis of the soluble fraction from the pulp showed both forms of isoenzymes, cationic (three) and anionic (four).

Key words: heat stability, peroxidase, pineapple.

ESTABILIDADE TÉRMICA DO EXTRATO CRU DE PEROXIDASE DE ABACAXI

RESUMO. Os extratos de peroxidase solúvel e peroxidase iônica foram preparados a partir da polpa, da casca e do pedúnculo do abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) e submetidos a tratamentos térmicos nas temperaturas de 60°C e 75°C, por um período máximo de 10 minutos. A inativação da peroxidase pelo calor mostrou um comportamento não - linear. A fração solúvel apresentou maior estabilidade e maior resistência ao tratamento térmico para a inativação enzimática. A eletroforese da fração solúvel da polpa mostrou ambas as formas das isoenzimas, catiônicas (três) e aniônicas (quatro).

Palavras-chave: estabilidade térmica, peroxidase, abacaxi.

INTRODUCTION

Peroxidase (EC 1.11.1.7, hydrogen donor) is a member of a large group of oxireductases and associated with lack of flavour and taste

* Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná-Brasil.

Correspondence to Elaine Trannin de Mello.

Received 05 November 1996.

Accepted 26 November 1996.

caused by residual peroxidase activity in processed fruit and vegetables. Many essays describe the peroxidase action on substances which produce bright colours in the oxidation, but it can promote a great variety of biodegradation with a high degree of versatility which is not supplanted by any other enzyme. High Temperature Short Time (HTST) in order to destroy peroxidase activity and prevent regeneration has been shown not to be effective; Clemente (1995), in his studies with peroxidase from orange, reports an enzymatic regeneration of 10 to 15% of the initial value of activity after the treatment. McLellan and Robinson (1987) in Brussels sprouts, Khan (1993) in mango and Clemente (1996) in orange showed that the heat inactivation of the peroxidase is a two - phase process.

The inactivation of peroxidase by heat treatment generally shows a non - linear process (activity $\times$ heating time), as a consequence of the presence of isoperoxidases with different thermostabilities (McLellan and Robinson, 1987).

When albedo and peel are included in the production of fruit juice, there is a great contribution to the increase of the peroxidase activity. The extracts made from plants to verify the peroxidase enzymatic activity has shown that this enzyme might occur in both soluble and ionically attached to the cell wall. The present report studies the behavior of the peroxidase crude extract of the pineapple in heat treatments.

MATERIALS AND METHODS

Preparation of Crude Extracts (Pulp)

Fresh pineapples were acquired from a local grocery store and separated in pulp, peel and stalk. The pulp (1.5 kg) was then homogenized in 300 ml of 100 mM sodium phosphate buffer at pH 7.0 for 1 minute, filtered through a cotton cloth at 25°C and stored at -18°C.

Preparation of Pulp Soluble Peroxidase (PSP)

The crude extracts were centrifuged at 10,500g for 20 minutes at 4°C. The supernatant, designated "Pulp Soluble Peroxidase Fraction" (PSP), was stored at -18°C. The remaining residue was washed with 100 mM sodium phosphate buffer at pH 7.0 and centrifuged for 20 minutes more

at 10,500g to remove any trace of *PSP* activity. The residue was stored for the extraction of the pulp ionically bound peroxidase fraction.

Preparation of Pulp Ionically Bound Peroxidase Fraction (*PIP*)

The washed residue was resuspended with a 1.0 M NaCl solution in 100 mM sodium phosphate buffer at pH 7.0, homogenized for 1 minute and centrifuged at 10,500g for 20 minutes. The supernatant obtained was stored at -18°C.

Heat Treatment

The peroxidase samples were heated in a thermostatic water-bath at 60°C and 75°C and the loss of activity evaluated for a period of 10 to 600 seconds. Each experiment was performed in triplicate to verify the fall of the peroxidase activity due to the heating time and temperature.

Assay of Peroxidase Activity (o - dianisidine method)

The obtained extracts were analysed in the spectrophotometer (Beckman DU - 70) by the reaction mixture containing 2.7 ml of 0.03 % of hydrogen peroxide solution in 100 mM sodium phosphate buffer at pH 7.0 and 0.2 ml of the peroxidase extract; the enzymatic reaction was initiated by the addition of 0.1 ml 1 % (w/v) o - dianisidine solution. The initial change in absorbance was recorded at 460 nm at 25°C for a period of 1 minute.

All previously shown procedures were equally made to the peel and the stalk of the pineapple, homogenizing 0.75 kg of peel with 200 ml of phosphate buffer and 0.35 kg of stalk with 80 ml of phosphate buffer, obtaining the soluble and ionically bound peroxidase of the peel (*PSC* and *PIC*) and of the stalk (*PST* and *PIT*), respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

The enzymatic activity of crude extracts measured before heating treatment showed value of 1.99 for *PSP*, of 0.30 for *PIP*, of 2.72 for *PSC* and of 0.14 for the *PIC*.

Heat treatment carried out at 60°C, 75°C for 10 to 600 seconds for *PSP* fraction is shown in Figure 1 and for *PSC* fraction is shown in Figure 3. The results revealed that the enzymatic activity has a non - linear variation, due to the presence of different isoenzymes. Clemente

(1995) observed similar variation with oranges. These variations can present different stabilities to the heat treatment as is shown by Clemente (1995) in his studies with oranges. Khan and Robinson (1995) suggested this non-linearity as a result of the presence of impure isoenzymes. They believe that if the isoenzymes are isolated and pure, the variation must be linear.

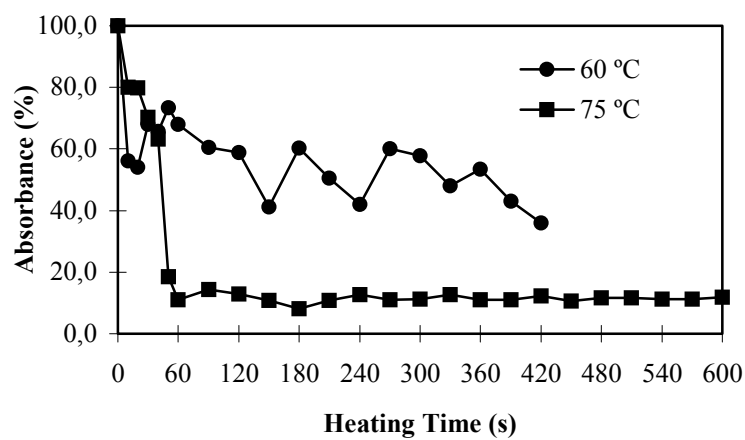


Figure 1. Soluble Fraction Activity of the Pineapple Pulp.

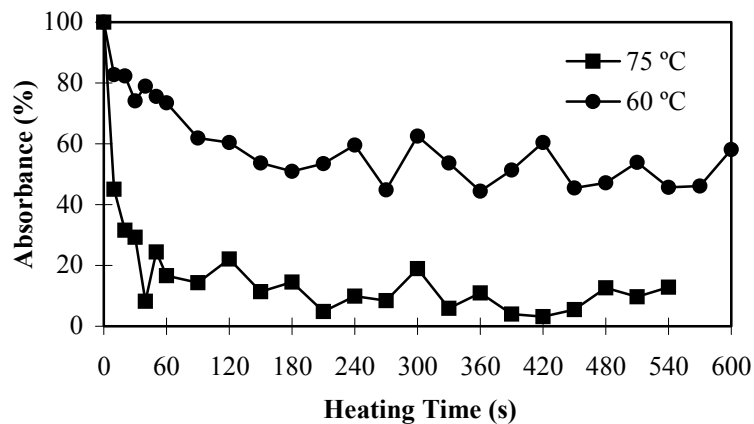


Figure 2. Ionically Bound Peroxidase Activity of the Pineapple Pulp.

Heat treatment carried out at 60°C, 75°C for 10 to 600 seconds for *PIP* fraction is shown in Figure 2 and for *PIC* fraction is shown in Figure 4.

The loss of peroxidase activity in ionically bound fraction and soluble fraction is different due to the composition of different isoenzymes. Probably, the isoenzymes presents in *PIP* and *PIC* fractions are more heat stable.

In the Figure 5 the isoperoxidase patterns from the soluble fraction of the pineapple pulp are shown. It can be seen that the isoenzymes present in the soluble fraction appear in both forms, cationic (three) and anionic (four).

According to the Figures 1 to 4, a fast decrease in peroxidase activity in the first 60 seconds of heating is noticed.

The increase of temperature causes an increase in the loss of peroxidase activity on a scale of 10% at 60 to 70°C and of 17% at 70 to 80°C, related by Clemente (1995).

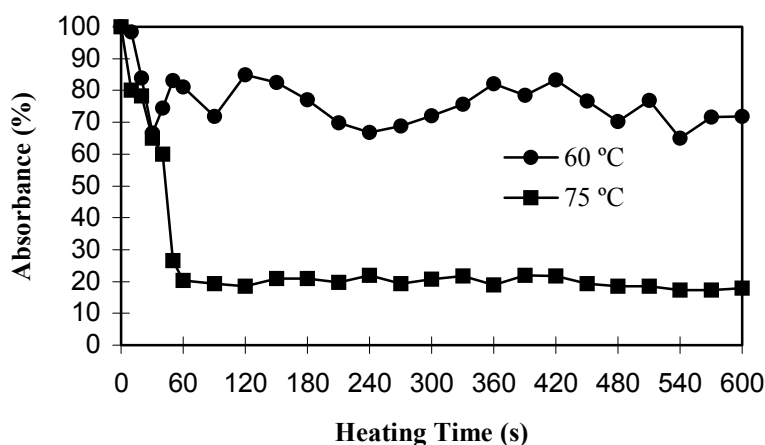


Figure 3. Soluble Fraction Activity of the Pineapple Peel.

CONCLUSION

The soluble fraction presented a higher resistance to the heat treatment than in the ionically fraction, probably due to the presence of isoenzymes that have different behavior relating to the inactivation by the heat.

The project aims to continue the study of heat treatment in the extract, mainly in the first 60 seconds, and the isolation of isoenzymes of the extracts to verify the behavior of the isoenzyme activity relating to the inactivation.

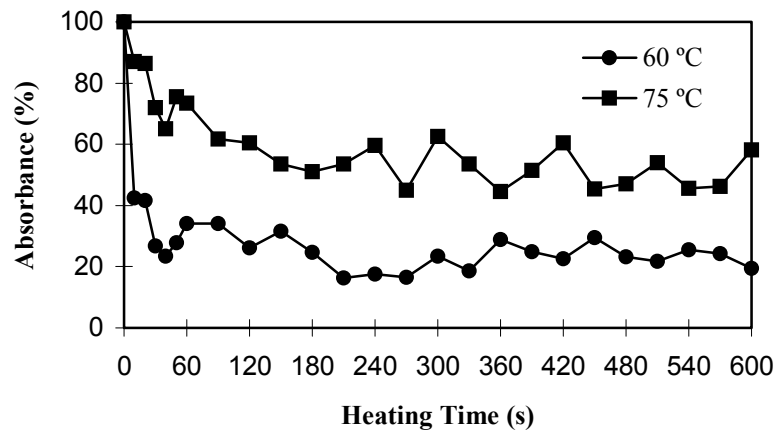


Figure 4. Ionically Bound Peroxidase Activity of the Pineapple Peel.

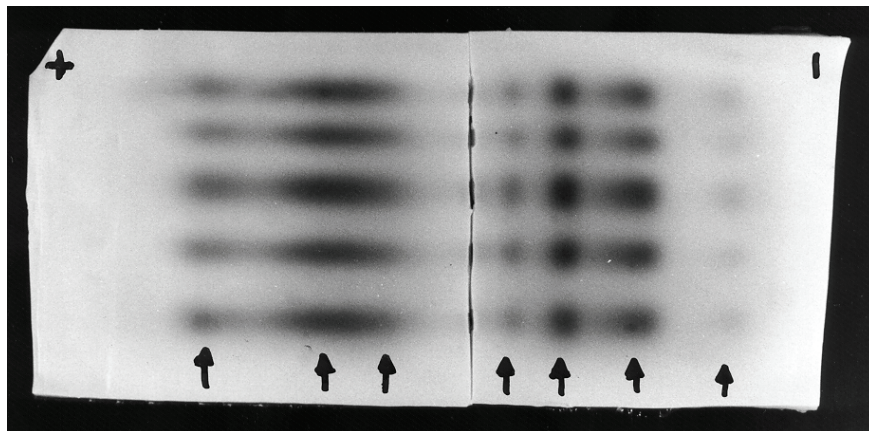


Figure 5. Electrophoretic Patterns obtained for the Soluble Fraction (PSP).

REFERENCES

- BRUEMMER, J.H., BONWOO, R. & BOWEN, R.R. Peroxidase reactions and orange juice quality. *J. Food Sci.*, 41:186-189, 1976.

- BURNETTE, F.S. Peroxidase and its relationship to food flavour and quality: a review. *J. Food Sci.*, 42:1-6, 1977.
- CLEMENTE, E. Isolamento, purificação e termoestabilidade da isoperoxidase do suco de laranja. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 16:1-5, 1996.
- CLEMENTE, E. & ROBINSON, D.S. The Thermostability of purified oranges isoperoxidases. *Arq. Biol. Tecnol.* 38(4):1109-1118, 1995.
- McLELLAN, K.M. & ROBINSON, D.S. Heat stability of peroxidase from orange. *Food Chem., Barking*, 13:139-147, 1984.
- KHAN, A.A. & ROBINSON, D.S. The thermostability of purified mango isoperoxidases. *Food Chem.*, 47:53-59, 1993.

SÍNTESE DE REDES DE TROCADORES DE CALOR COM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁREA

Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani* e Fernando Palú*

RESUMO. Neste trabalho, foi desenvolvida uma metodologia para a Síntese de Redes de Trocadores de Calor, cujos objetivos são reduzir o consumo de energia (consumo de utilidades) e o número de unidades de troca térmica (trocadores de calor), reduzindo assim o custo total do processo. A metodologia desenvolvida baseia-se no projeto da rede utilizando-se o Método do Ponto de Estrangulamento Energético. Depois de gerada, a rede é aperfeiçoada através da utilização do Diagrama da Força Motriz e da Análise do Problema Remanescente, avaliando se o trocador está bem dimensionado em termos do uso de sua força motriz e da sua área de troca térmica. O último passo é a quebra dos laços formados pelos trocadores, para obter o número mínimo de unidades de troca. Um problema da literatura foi utilizado para demonstrar a aplicabilidade da técnica desenvolvida, e os resultados se mostraram satisfatórios, pois consegue-se obter o número mínimo de unidades previsto ou a máxima recuperação de energia.

Palavras-chave: Análise Pinch, redes de trocadores de calor, otimização.

HEAT EXCHANGER NETWORK SYNTHESIS WITH OPTIMIZATION OF AREA DISTRIBUTION

ABSTRACT. In this work a methodology to the Heat Exchanger Networks synthesis was developed, whose main objectives are to reduce the consumption of energy (consumption of utilities) and the number of units of heat transfer (heat exchanger networks), reducing the global cost of the process. The methodology developed is based on Pinch Design Method. After the network generation, it is evolved using the Driving Force Plot and the Remaining

* Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

+ Departamento de Matemática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Câmpus de Toledo, Toledo-Paraná, Brasil.

Correspondência para Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani.

Data de recebimento: 29/11/96.

Data de aceite: 22/12/96.

Problem Analysis, evaluating each heat exchanger performance in terms of its Driving Force use and its heat transfer area. The last step is the break of loops to obtain the minimum number of heat transfer equipments. A problem from the literature was used to demonstrate the applicability of the methodology developed, and the results showed to be gratifying, because one can get the minimum number of heat transfer equipments or the maximum energy recovery.

Key words: Pinch Analysis, heat exchanger networks, optimization.

INTRODUÇÃO

Em uma indústria existe um grande número de correntes de processo. Estas correntes são divididas em dois tipos: correntes quentes e correntes frias. São chamadas de correntes quentes as que devem ceder calor para atingir uma temperatura mais baixa e, de forma análoga, uma corrente fria é aquela que deve receber calor para atingir uma temperatura mais elevada.

O aquecimento e/ou resfriamento destas correntes é efetuado através da troca de calor com utilidades. Como a produção de utilidades é responsável por uma parte significativa dos custos de uma empresa, existe a necessidade de minimizar o seu consumo. Esta minimização é obtida com a troca de calor entre as correntes quentes e frias, através de uma rede de trocadores de calor, onde o calor excedente das correntes quentes vai suprir a necessidade de calor das correntes frias.

Muitas pesquisas têm sido realizadas, ao longo dos anos, para desenvolver e aperfeiçoar métodos para sintetizar e otimizar redes de trocadores de calor, sendo que estas pesquisas se desenvolveram em duas linhas principais: uma que se utiliza de regras heurísticas e conceitos termodinâmicos, e outra que utiliza técnicas matemáticas. Neste trabalho, optou-se pela utilização da primeira, mais especificamente da chamada Análise Pinch.

Os objetivos a serem atingidos quando se sintetiza uma rede são a minimização do custo fixo, através da redução do número de trocadores utilizados e a redução do consumo de energia, diminuindo o consumo de utilidades. Desta forma, minimiza-se o custo total da rede.

Neste trabalho, foi desenvolvida uma metodologia na qual, depois de sintetizada a rede, é feita a utilização de duas técnicas: o Diagrama da Força Motriz e a Análise do Problema Remanescente, que otimizam a distribuição de área em redes de trocadores de calor. Por fim, a rede é evoluída, com o objetivo de romper os laços de troca térmica existentes,

minimizando assim o número de trocadores de calor e, conseqüentemente, o custo global do processo.

DESENVOLVIMENTO

O método do Ponto de Estrangulamento Energético combina critérios heurísticos e termodinâmicos para obter uma rede de trocadores de calor ótima ou bem próxima da ótima, conforme Gundersen e Naess (1988), Linnhoff (1993), Linnhoff (1994), Linnhoff e Hindmarsh (1983) e Linnhoff *et al.* (1982).

As etapas seguidas neste método são:

- a) através de um Balanço de Energia determina-se o consumo mínimo de utilidades;
- b) estima-se o número mínimo de trocadores;
- c) projeta-se a rede;
- d) aperfeiçoa-se a rede.

O primeiro passo é dividir as correntes de processo em intervalos de temperatura. Para tanto são construídas duas escalas de temperatura, sendo uma para as correntes quentes e outra para as correntes frias. Entre estas duas escalas impõe-se uma diferença de temperatura, conhecida como ΔT_{min} , para garantir a troca de calor entre as correntes quentes e as frias. Estas escalas são divididas em intervalos de temperatura, utilizando-se as temperaturas de entrada e saída das correntes. Nestes intervalos, encontra-se uma região conhecida como “Pinch Point”, ou Ponto de Estrangulamento Energético, e o projeto da rede é feito a partir deste ponto que, fisicamente, representa um gargalo que limita a máxima integração energética possível em uma rede.

Depois de construídos os intervalos de temperatura, também é construída uma tabela conhecida como Tabela do Problema. Através desta tabela, determina-se a localização do ponto de estrangulamento energético e a quantidade mínima necessária de utilidades quentes e frias.

O número mínimo de unidades pode ser estimado de acordo com a seguinte relação:

$$N_{min} = N - 1 \quad (1)$$

Onde N_{min} é o número mínimo de trocadores e N é o número total de correntes quentes e frias, somado com o número total de utilidades necessário.

De posse destes dados e utilizando os critérios do Método do Ponto de Estrangulamento Energético, que envolvem o número de correntes e

desigualdade das capacidades caloríficas das correntes, são alocados os trocadores de calor, gerando-se, assim, a rede. Depois de sintetizada, a rede é otimizada, utilizando-se o Diagrama da Força Motriz e a Análise do Problema Remanescente.

O Diagrama da Força Motriz é uma técnica que tem como objetivo verificar se um trocador está fazendo um bom uso de sua força motriz, como pode ser visto em Ahmad (1985) e Palú (1995). Esta verificação é feita através de um diagrama cuja abscissa é formada pelos valores da escala de temperatura fria e a ordenada é composta pelos valores da diferença entre as escalas de temperatura quente e fria, correspondentes ao valor da temperatura fria da abscissa.

O diagrama construído desta maneira fornece uma curva que representa o aproveitamento ótimo da força motriz dos trocadores. Depois de pronta, a curva principal, deve-se comparar a curva de cada trocador, individualmente, em relação à curva principal. A curva de cada trocador é obtida através de suas diferenças de temperaturas em seus terminais quente e frio.

Quanto mais próximas estiverem a curva do trocador e a curva principal, melhor será o aproveitamento da força motriz, e quando as duas curvas coincidem, tem-se o seu uso ótimo para o trocador.

Esta técnica, apesar de ser de fácil utilização, fornece apenas uma informação qualitativa a respeito do uso da força motriz do trocador e é aconselhável complementar a análise com alguma técnica que forneça uma avaliação quantitativa.

A Análise do Problema Remanescente visa determinar de forma quantitativa se um trocador de calor está fazendo bom uso ou não de sua força motriz, através do cálculo das áreas de transferência de calor, conforme Ahmad (1985) e Palú (1995).

Inicialmente, calcula-se a área original de troca de calor necessária. Depois disto, para cada trocador que for sendo alocado, calcula-se a área remanescente e a área do trocador. A diferença entre a somatória da área remanescente com a área dos trocadores já alocados e a área calculada, originalmente, fornece o valor da penalidade que deve ser paga em termos de área para aquele trocador. O limite aceitável sugerido por Ahmad (1985) para esta penalidade é de 10%.

Quando um trocador está utilizando uma força motriz maior do que a necessária, isto fará com que os demais trocadores da rede tenham uma área maior, para satisfazer o balanço de energia. Quando utilizar uma

força motriz menor do que necessita, isto representará um aumento de área no próprio trocador.

No cálculo da área, utilizamos a seguinte equação:

$$A_{min} = \sum_j \frac{1}{MLDT_j} \left(\sum_i \frac{q_{ij}}{h_i} \right), \quad (2)$$

onde:

A_{min} = área mínima da rede

$MLDT_j$ = média logarítmica da diferença de temperaturas do intervalo **j**

q_{ij} = variação de entalpia da corrente **i** no intervalo **j**

h_i = coeficiente de troca de calor da corrente **i**

Freqüentemente, depois de sintetizadas, as redes de trocadores de calor apresentam laços de troca térmica. Um laço, em uma rede, é um conjunto de conexões que podem ser traçadas, partindo-se de um trocador de calor e retornando para este mesmo trocador.

A existência de laços implica a utilização de um número de trocadores maior do que o mínimo previsto, e cada laço representa um trocador a mais. Conseqüentemente, quando se quebra um laço, reduz-se o número de trocadores.

A quebra de um laço é realizada através da retirada de um trocador que o compõe. No entanto, quando se quebra um laço que cruza o ponto de estrangulamento energético, normalmente se viola o ΔT_{min} da rede, que deve ser restaurado. Para isto deve-se pagar uma penalidade no acréscimo do consumo de utilidades, conforme Linnhoff *et al.* (1982) e Linnhoff e Hindmarsh (1983).

Su e Motard (1984) propuseram uma regra heurística segundo a qual se deve eliminar o trocador que possui a menor carga térmica, que deve ser distribuída pelos demais trocadores do laço, sem que a carga térmica das utilidades seja alterada. Ravagnani (1994) combinou esta regra heurística com um algoritmo de busca para identificar e quebrar os laços de troca térmica sem que a demanda de utilidades seja alterada.

Neste trabalho, uma sistemática para aplicação computacional foi desenvolvida, utilizando os conceitos apresentados acima. Sua grande contribuição com relação às metodologias existentes é a possibilidade de otimização da rede com relação aos aspectos de distribuição de área dos trocadores nela existentes. Estes aspectos, em geral, são desprezados quando da simples aplicação do Método do Ponto de

Estrangulamento Energético, pois o projetista, embora possa chegar a bons resultados do ponto de vista do consumo de energia, não tem uma visão qualitativa nem quantitativa da correta alocação dos trocadores na rede. Os passos a serem seguidos na aplicação da metodologia desenvolvida são descritos a seguir. Inicialmente, fixam-se os objetivos a serem obtidos na rede. Estas metas são a máxima recuperação de energia, que é obtida aplicando-se o algoritmo da Tabela do Problema, o número mínimo de trocadores de calor, obtido a partir da aplicação da equação (1) e a área mínima de troca, obtida pela equação (2). Em seguida, a rede é sintetizada utilizando-se o Método do Ponto de Estrangulamento Energético, combinado com o Diagrama da Força Motriz e com a Análise do Problema Remanescente. Por fim, um algoritmo para a identificação e quebra dos laços de troca térmica é aplicado, visando reduzir o número de trocadores de calor da rede.

CASO ESTUDADO

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um problema da literatura apresentado por Ahmad (1985). Este é um problema industrial composto por nove correntes, sendo quatro quentes e cinco frias. Dispõe-se, ainda, de uma utilidade quente e uma utilidade fria. O valor para o ΔT_{min} , sugerido pelo autor citado, é 17°C. Seus dados são mostrados na Tabela 1, onde T_{en} e T_{sai} são as temperaturas de entrada e saída das correntes e FCp é o produto entre a vazão mássica e a capacidade calorífica das correntes.

Aplicando a Tabela do Problema, pode-se verificar na Tabela 2 que a quantidade mínima de utilidades quentes necessária é de 20,50 MW, valor apresentado na primeira linha para o calor trocado Q , e a de utilidades frias é de 16,89 MW, valor mostrado na última linha para o calor trocado Q , estando ainda o Ponto de Estrangulamento Energético em 157°C para as correntes quentes e 140°C para as correntes frias, ou 148,5°C para as correntes combinadas, ponto onde a troca de calor é nula.

Tabela 1. Dados do problema.

Corrente	$FCp(MW/^{\circ}C)$	$T_{en}(^{\circ}C)$	$T_{sai}(^{\circ}C)$
H1(quente)	0,10	327,0	30,0

H2(quente)	0,16	220,0	160,0
H3(quente)	0,06	220,0	60,0
H4(quente)	0,20	160,0	45,0
C1(fria)	0,10	100,0	300,0
C2(fria)	0,07	35,0	164,0
C3(fria)	0,18	80,0	125,0
C4(fria)	0,06	60,0	170,0
C5(fria)	0,20	140,0	300,0

Tabela 2. Tabela do Problema para o caso.

T (°C)	Q (MW)
318,5	21,5
308,5	21,5
211,5	2,1
178,5	2,8
172,5	2,5
151,5	0,2
148,5	0,0
133,5	1,9
108,5	0,9
88,5	1,9
68,5	6,5
51,5	11,5
43,5	13,3
36,5	15,4
21,5	16,9

O número mínimo de unidades de troca térmica, de acordo com a equação (1), para 9 correntes de processo, 1 utilidade quente e 1 utilidade fria, é de 10 trocadores.

A seguir, aplicando-se o Método do Ponto de Estrangulamento Energético, seguindo os critérios apresentados por Linnhoff e Hindmarsh (1983) e Linnhoff *et al.* (1982), a rede de trocadores de calor foi gerada, e pode ser vista na Figura 1.

Efetuada-se os cálculos das áreas referentes à Análise do Problema Remanescente, à medida que os trocadores vão sendo alocados na rede, conforme apresentado, anteriormente, têm-se os resultados que são mostrados nas Tabelas 3 e 4, para as regiões abaixo e acima do ponto de estrangulamento energético, onde E% é a razão entre a penalidade e a área original do trocador de calor.

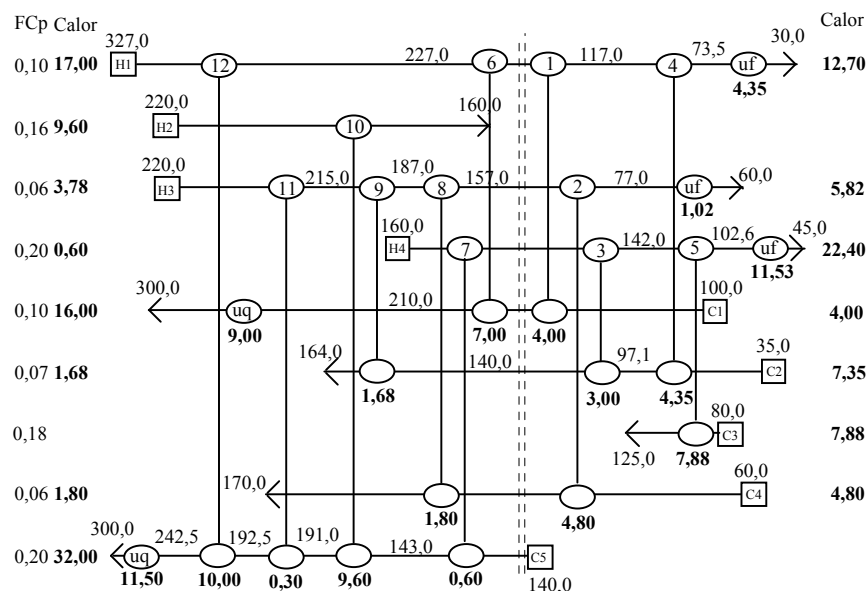


Figura 1. Rede gerada utilizando o Método do Ponto de Estrangulamento Energético

Tabela 3. Análise do Problema Remanescente Abaixo do Ponto de Estrangulamento.

Trocadores	Abaixo do Ponto de Estrangulamento Energético				
	1	2	3	4	5
Área de troca (m ²)	941,18	1129,41	428,57	621,43	1657,89
Remanescente (m ²)	5827,50	4793,85	4231,90	3313,50	2201,40
Trocas anteriores (m ²)		941,18	2070,59	2499,16	3120,59
Total (m ²)	6768,68	6864,44	6731,06	6434,09	6979,88
Área original (m ²)	6731,81	6731,81	6731,81	6731,81	6731,81
Penalidade (m ²)	36,87	132,63	-0,75	-297,72	248,07
E%	0,55	1,97	0,01	4,42	3,69

Os Diagramas da Força Motriz construídos para esta rede são apresentados nas Figuras 2 e 3.

Tabela 4. Análise do Problema Remanescente Acima do Ponto de Estrangulamento.

Trocadores	Acima do Ponto de Estrangulamento Energético						
	6	7	8	9	10	11	12

Área de troca (m ²)	1647,06	141,18	423,53	140,00	1745,45	48,00	727,27
Remanescente (m ²)	5720,71	5579,74	5193,20	5211,10	3416,82	3484,47	1667,77
Trocas anteriores (m ²)		1647,06	1788,24	2211,77	2351,77	4097,22	4145,22
Total (m ²)	7367,77	7367,98	7404,97	7562,87	7514,04	7629,69	6540,26
Área original (m ²)	7226,99	7226,99	7226,99	7226,99	7226,99	7226,99	7226,99
Penalidade (m ²)	140,78	140,99	177,98	335,88	287,05	402,70	-686,73
E%	1,95	1,95	2,46	4,65	3,97	5,57	9,50

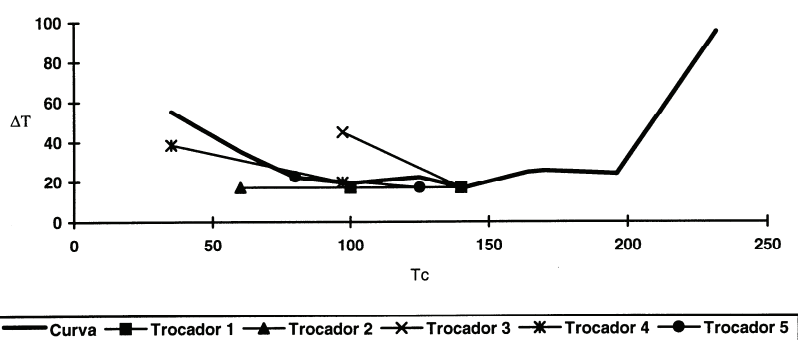


Figura 2. Diagrama da Força Motriz abaixo do Ponto de Estrangulamento Energético.

A última etapa é a quebra dos laços de troca térmica formados pelos trocadores, pois, apesar desta rede mostrar resultados satisfatórios em seu Diagrama da Força Motriz e na Análise do Problema Remanescente, ela possui 17 trocadores de calor, quando o número mínimo previsto é de 10 trocadores.

A rede obtida para o número mínimo de unidades de troca térmica, depois de quebrados os 7 laços e eliminados 7 trocadores, apresenta a configuração mostrada na Figura 4.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se perceber que a metodologia desenvolvida se apresentou bastante eficiente para a síntese de redes de trocadores de calor. Além disso, é muito fácil de ser utilizada e permite que haja interação com o projetista durante o processo de alocação dos trocadores. Desta forma, existe a liberdade de escolher quais correntes devem trocar calor entre si e em que ordem estas trocas devem acontecer, fruto da aplicação do Método do Ponto de Estrangulamento

Energético. Isto possibilita que para uma mesma rede existam várias configurações viáveis e cabe ao projetista decidir quais destas configurações é a mais adequada para suas necessidades.

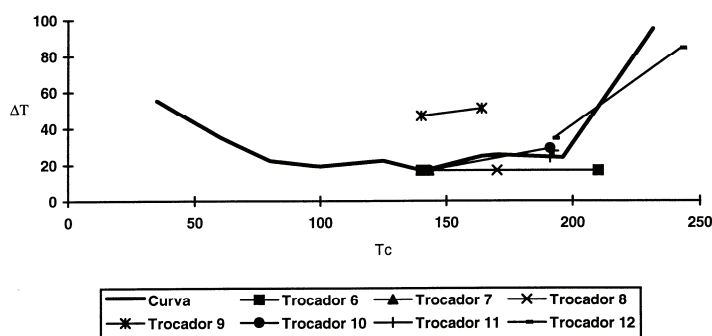


Figura 3. Diagrama da Força Motriz acima do Ponto de Estrangulamento Energético.

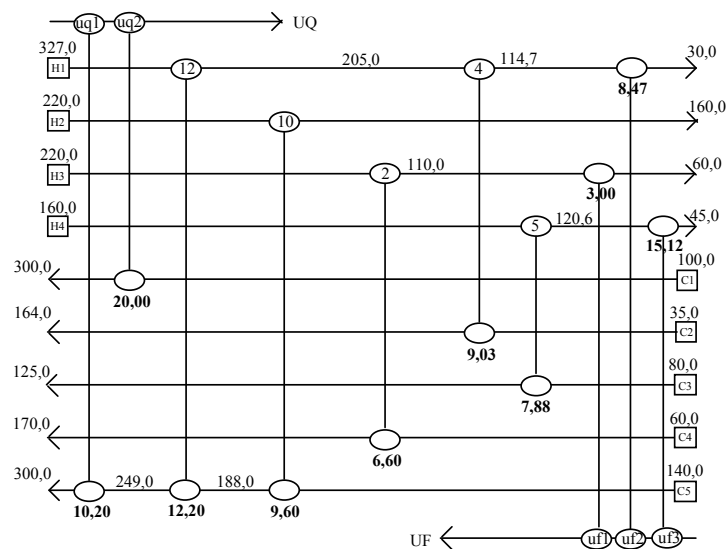


Figura 4. Rede final para o caso estudado.

Além disso, a metodologia se completa pela utilização do Diagrama da Força Motriz e da Análise do Problema Remanescente. O Diagrama da Força Motriz é uma boa técnica para se avaliar se um

trocador está fazendo um bom uso ou não de sua força motriz. Tem a vantagem de ser extremamente fácil de ser utilizado. Apesar disso, não fornece uma avaliação quantitativa do dimensionamento do trocador.

A Análise do Problema Remanescente, apesar de mais complexa, tem a vantagem de avaliar quantitativamente o uso da força motriz pelo trocador de calor.

A grande vantagem de se utilizar a sistemática desenvolvida, ou seja, o Método do Ponto de Estrangulamento Energético, em conjunto com o Diagrama da Força Motriz e a Análise do Problema Remanescente, é a possibilidade de conjugar a síntese com a otimização da rede, ou seja, não é necessário esperar que o projeto esteja completo para realizar sua otimização. Utilizando esta sistemática, tem-se somente o trabalho de modificar a configuração do trocador que não estiver bem colocado.

No caso estudado neste trabalho, tanto o Diagrama da Força Motriz como a Análise do Problema Remanescente apresentaram resultados satisfatórios. As curvas individuais dos trocadores ficaram próximas da curva principal, nas Figuras 2 e 3. Na Análise do Problema Remanescente, nenhum trocador excedeu o limite de 10% sugerido pela literatura, como pode ser visto nas Tabelas 3 e 4.

Apesar da otimização conseguida com o uso das técnicas descritas acima, a rede apresentou um número de trocadores maior do que o mínimo previsto. Para se obter este número mínimo, foi necessário realizar a identificação e quebra dos laços formados pelos trocadores. Alguns desses laços, quando foram quebrados, ocasionaram a violação do $\Delta T_{\min}$ da rede. Para restaurar este valor, foi necessário o acréscimo de utilidades. Este acréscimo foi de 57,4% para as utilidades quentes e 47,3% para as utilidades frias.

Devido a este acréscimo significativo, como a metodologia sugere a participação do projetista, cabe a ele determinar uma relação satisfatória entre o custo dos trocadores e o das utilidades, analisando até onde vale a pena diminuir o número de trocadores às custas do aumento no consumo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, S. *Heat exchanger networks: cost trade-offs in energy and capital*. Umist, Manchester, U.K., 1985. Tese (Ph.D.) - Umist.

- GUNDERSEN, T. & NAESS, L. The Synthesis of cost optimal heat exchanger networks - an industrial review of the state of the art. *Comput. & Chem. Engineer.*, 12(6):503-530, 1988.
- LINNHOFF, B. Pinch Analysis - A State-of-the-art overview. *Transactions of the IChemE*, 71(Part A):503-522, Sep. 1993.
- LINNHOFF, B. Use pinch analysis to knock down capital costs and emissions. *Chemical Engineer. Progr.*, 90(8):32-57, Aug. 1994.
- LINNHOFF, B. & HINDMARSH, E. The Pinch design method for heat exchanger networks. *Chem. Engineer. Sci.*, 38(5):745-763, 1983.
- LINNHOFF, B., TOWNSEND, D.W., BOLAND, D., HEWITT, G.F., THOMAS, B.E.A., GUY, A.R. & MARSLAND, R.H. *A User guide on process integration for the efficient use of energy*, U.K. The Institute of Chemical Engineers, 1982.
- PALÚ, F. Otimização da distribuição de área em redes de trocadores de calor. Maringá, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá.
- RAVAGNANI, M.A.S.S. Projeto e otimização de redes de trocadores de calor. Campinas, 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - FEQ-Unicamp.
- SU, J. & MOTARD, R.L. Evolutionary synthesis of heat exchanger networks. *Comput. & Chem. Engineer.*, 8(2):67-80, 1984.

ASPECTOS GEOGRÁFICOS E ESTATÍSTICOS DA PRECIPITAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ

**Jonas Teixeira Nery*, Williams Cezar da Silva* e
Maria de Lourdes Orsini Fernandes Martins***

RESUMO. O Estado do Paraná é um dos grandes produtores agrícolas do país, assim sua economia depende, em grande parte, do setor primário dessa produção. A precipitação pluviométrica é elemento fundamental para esta produção, devendo ser estudado e compreendido. Neste trabalho, utilizaram-se 37 estações, período mínimo de 30 anos, sendo os dados de precipitação cedidos pelo distrito do DNAEE/PR. O método utilizado neste estudo é o da análise multivariada, que tem por objetivo agrupar séries pluviométricas homogêneas. Por meio de métodos hierárquicos, como *Simple Linkage*, *Complete Linkage* e *Ward's Method*, obteve-se uma regionalização em cinco grupos. O primeiro grupo compreende a Planície Litorânea e adentra, em sua parte sul, a Serra do Mar. O segundo grupo compreende a maior parte da área ocupada pelo primeiro e segundo planaltos paranaenses, bem como a Serra do Mar. O terceiro grupo compreende o terceiro planalto paranaense. Seu domínio abrange o centro, sul, leste e parte do norte deste planalto. O quarto grupo é o que apresenta maior complexidade na sua descrição e caracterização por estar localizado nas regiões norte e noroeste do Estado, regiões que são cortadas pelo Trópico de Capricórnio. O quinto e último grupo encontra-se na região centro-ocidental do terceiro planalto, estendendo-se no sentido norte-sul ao longo do Rio Paraná, às margens do reservatório de Itaipu.

Palavras-chave: precipitação, agrupamento, Estado do Paraná, variabilidade.

GEOGRAPHICAL AND STATISTICAL ASPECTS OF RAINFALL IN THE STATE OF PARANÁ

ABSTRACT. The state of Paraná is one of most important staple crop producers in Brazil and its economy is agriculture-dependent. It is necessary to study rainfall behaviour because it is a fundamental element in agricultural activities.

* Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

Correspondência para Jonas Teixeira Nery.

Data de recebimento: 07/10/96.

Data de aceite: 09/12/96.

The rainfall data, covering a 30-year period, were collected at 37 stations run by *Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica - DNAEE*, in the state of Paraná. Multivariate analysis methods such as Simple Linkage, Complete Linkage and Ward's Method were applied to cluster homogenous rainfall series resulting in the following five regional clusters. The first cluster comprises the littoral plain and *Serra do Mar* in its southern part. The second cluster comprises the largest part of the first and second plateaus, and *Serra do Mar* in the state of Paraná. The third cluster comprises the southern, central, eastern and partly northern areas of the third and highest plateau in the state of Paraná. The fourth cluster comprises the northern and northwestern regions of the state presenting the greatest complexity in its description and characterization because it is crossed by the tropic of Capricorn. The fifth cluster comprises the central-western region of the third plateau stretching in the north-south direction alongside the Paraná river and Itaipu reservoir.

Key words: rainfall, cluster, state of Paraná, variability.

INTRODUÇÃO

A agricultura da Região Sul tem seu desenvolvimento principalmente no verão, sendo ela elemento essencial na economia da região. A produção agrícola mantém um forte vínculo com as condições do tempo predominantes durante o ciclo de desenvolvimento das culturas. Assim, é de conhecimento que os efeitos negativos decorridos de anomalias da precipitação nas regiões produtoras podem acarretar, muitas vezes, a perda quase total da produção e gerar “déficit” de alimentos e outros produtos agrícolas, como também pode gerar sérios problemas agrários.

Segundo Kousky *et al.* (1984), as anomalias de precipitação no Brasil estão associadas ao fenômeno El Niño Oscilação Sul. No sul do Brasil, as frentes frias são as principais causadoras das precipitações, segundo Hoffmann (1975). A travessia dessas frentes em direção ao norte sofre uma aceleração em virtude da Cordilheira dos Andes e, com o avanço destas, produzem-se fenômenos em níveis mais altos, como, por exemplo, ciclones. As anomalias de precipitação ocorrentes em períodos diferentes do ENOS se explicam por serem oriundas por flutuações sazonais.

A precipitação pluviométrica é de uma complexa variável, isto em virtude de sua variabilidade espaço-temporal, sendo esta de origem natural ou antropogênica. No Estado do Paraná, verifica-se claramente esta complexidade devido a vários efeitos de escala sinótica e de mesoescala. Além destes, devemos salientar a Planície Litorânea com suas particularidades.

No presente trabalho, aplicou-se a estatística básica descritiva sobre um conjunto de dados coletados em 37 séries climatológicas selecionadas num período superior a trinta anos, sendo estes dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica, distrito do Paraná (DNAEE).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados referentes aos totais pluviométricos mensais utilizados para a realização do presente trabalho foram obtidos junto ao DNAEE/PR/SC (Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica, distrito do Paraná e Santa Catarina).

Foram estudadas 37 séries de precipitações, levando em conta uma distribuição espaço-temporal representativa das séries climatológicas. A Tabela 1 relaciona as estações utilizadas, suas localizações, altitudes e períodos observados.

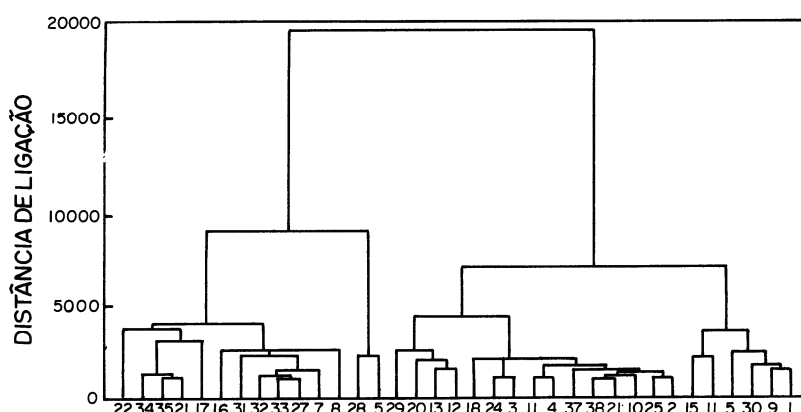
Para a eleição das séries, foram observadas duas características principais: I) ter mais de trinta anos e o mínimo possível de dados faltantes; II) distribuição espaço-temporal das estações representativas da região em estudo. Ver Figura 1.

Para o presente estudo utilizou-se a análise multivariada (Cluster) para obter-se uma classificação da precipitação pluviométrica paranaense. Em geral, os métodos hierárquicos são os mais utilizados e, neste trabalho, aplicou-se o “Complete Linkage”, “Simple Linkage” e o Método de Ward, para diferentes distâncias sobre o conjunto de dados das estações selecionadas. A agregação pelo diâmetro, “Complete Linkage Clustering”, efetua-se em função da distância máxima (menor correlação) entre dois indivíduos, um de cada grupo: um indivíduo junta-se a um grupo unicamente se ele estiver ligado a todos os indivíduos do grupo; ficando, assim, reunidos os dois grupos que possuem a menor distância máxima. A agregação por Ligação Simples (“Simple Linkage”) ocorre de maneira que um objeto (ou grupo já formado), para se reunir a um outro grupo, basta ter um elemento deste grupo com distância menor (similaridade maior) com este objeto que com qualquer outro elemento livre ou agregado. O Método de Ward, agregação pela distância média, consiste em calcular a média aritmética da distância entre o objeto e todos os elementos do grupo no qual se pretende introduzi-lo, ou ainda, entre todos os elementos de dois grupos, ficando assim reunidos os dois grupos que possuírem a menor distância média.

Tabela 1. Todas as estações utilizadas neste trabalho com as respectivas latitudes, longitudes, altitudes e períodos.

Estações	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Período
PR1 Jataizinho	23°15'	50°59'	340	1938-1995
PR2 Rio da Várzea dos Lima	25°57'	49°23'	810	1941-1994
PR3 São Mateus do Sul	23°52'	50°23'	760	1939-1995
PR4 Rio Claro do Sul	25°56'	50°41'	750	1948-1995
PR5 Colonia do Cachoeira	25°14'	48°45'	80	1947-1992
PR6 União da Vitória	26°14'	51°04'	736	1940-1995
PR7 Jangada	26°22'	51°15'	800	1946-1994
PR8 Porto Sta. Terezinha	23°06'	50°27'	340	1946-1995
PR9 Andirá	23°05'	50°17'	375	1946-1995
PR10 Santa Cruz	25°12'	50°09'	790	1946-1995
PR11 Rio dos Patos	25°12'	50°56'	690	1938-1995
PR12 Port. M. Gonçalves - Itaipu	24°30'	54°20'	150	1941-1995
PR13 Guaíra	24°04'	54°15'	218	1946-1995
PR14 Capela da Ribeira	24°39'	49°00'	180	1939-1995
PR15 Turvo	24°45'	49°20'	400	1947-1995
PR16 Praia Grande	25°10'	48°53'	750	1940-1995
PR17 Morretes	25°28'	48°50'	8	1947-1995
PR18 Véu da Noiva	25°26'	48°57'	680	1941-1994
PR19 Salto Cataratas	25°41'	54°26'	152	1948-1995
PR20 Parque Nacional do Iguaçu	25°37'	54°29'	100	1942-1995
PR21 Quedas do Iguaçu	25°28'	52°54'	550	1948-1995
PR22 Santa Clara	25°38'	51°58'	740	1948-1995
PR23 Curitiba	25°26'	49°16'	929	1922-1993
PR24 São Bento	25°56'	49°47'	750	1939-1995
PR25 Rio Negro	26°06'	49°48'	770	1948-1995
PR26 Teixeira Soares	25°27'	50°35'	893	1963-1993
PR27 Guarapuava	25°27'	51°27'	950	1953-1995
PR28 Usina Guaricana	25°44'	49°00'	750	1958-1995
PR29 Foz do Iguaçu	25°33'	54°35'	100	1948-1992
PR30 Porto Paraíso Norte	23°19'	52°40'	250	1953-1995
PR31 Londrina	23°19'	51°09'	566	1958-1992
PR32 Ivaiporã	24°15'	51°39'	650	1956-1995
PR33 Usina Cavernoso	25°28'	52°12'	560	1951-1995
PR34 Ponte do Vitorino	26°03'	52°48'	550	1957-1995
PR35 Águas do Verê	25°46'	52°56'	390	1956-1995
PR36 Ponta Grossa-Vila Velha	25°13'	50°01'	880	1954-1993
PR37 Piraquara	25°27'	49°04'	900	1958-1995

A classificação obtida baseou-se no Método de Ward (Dendograma 1), com distância euclidiana. Tal escolha foi realizada utilizando-se o método de coeficiente de correlação cofenética (quando $r > 0.8$, o método com sua respectiva distância é considerado adequado), conforme Nery (1996).



Dendrograma 1. Paraná (1958-1992), Método de Ward, Distância Euclidiana.

Para a referida classificação, utilizou-se o período 1958-1992, portanto não se utilizou a estação PR26 (1963-1993).

Em cada grupo classificado através da análise Cluster, efetuou-se o cálculo da média areal, cálculo este que consistiu em somar todas as médias históricas das estações de um mesmo grupo e dividir pelo mesmo número de estações, possibilitando caracterizar a precipitação de cada região, demonstrando as diferenças dos totais pluviométricos de cada região classificada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observamos que as estações litorâneas demonstram uma marcante estrutura que se caracteriza por invernos menos chuvosos e verões muito chuvosos; enquanto a parte central, oeste e sul do Paraná mantêm uma estrutura de precipitação pluviométrica mais bem distribuída ao longo dos anos.

A precipitação total mensal do Estado do Paraná possui estruturas diferentes e, aplicando o Método de Ward com distância euclidiana, obtivemos a formação de cinco grupos de estações representando as seguintes regiões (Figura 1).

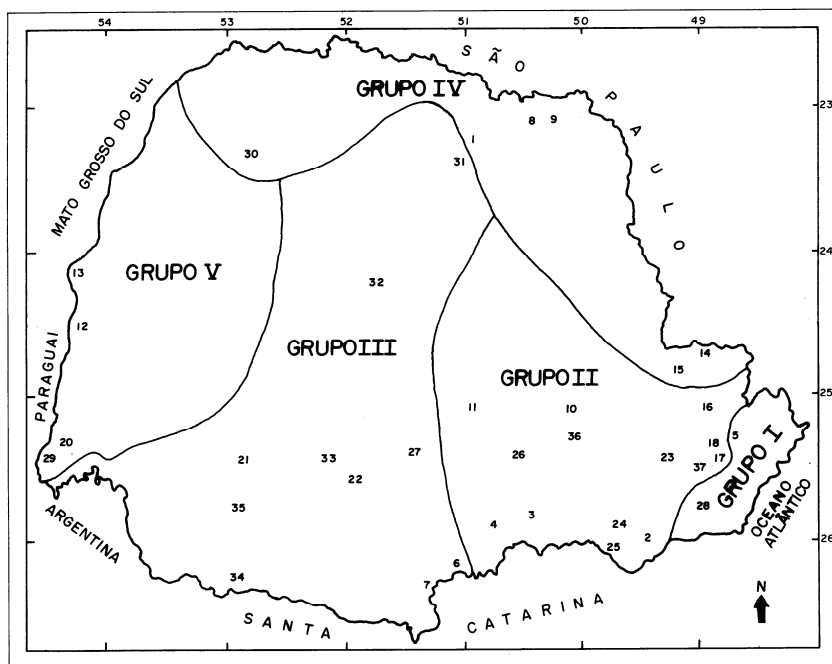


Figura 1. Formação de cinco grupos de estações pelo método Ward com distância euclidiana.

Grupo I - A região compreendida por este grupo trata da Planície Costeira ou Litorânea e adentra, em sua parte sul, a Serra do Mar. A Planície Litorânea exibe uma largura média de 10 a 20km, atingindo o seu máximo na zona da Baía de Paranaguá, sendo esta largura de 50km. Trata-se de uma região bastante rebaixada. Segundo o Atlas Geográfico do Paraná (1987), podem-se estabelecer duas subdivisões geomorfológicas nesta área, a primeira trata da zona montanhosa litorânea, relacionada à porção mais interior, sendo esta marcada pela presença de planícies interrompidas pela presença de morros cristalinos com formas semelhantes à “meia laranja”; a segunda trata da área de planície litorânea relacionada com as partes mais rebaixadas e mais próximas do mar, formada por uma sucessão de mangues, antigas restingas, terraços, cordões arenosos e praias. A emergência de pontões rochosos do oceano formam ilhas como a dos Currais e Itacolumi. A orla marítima paranaense é basicamente recortada por duas baías, onde se

pode distinguir uma subdivisão em três setores naturais: ao norte, a “Praia Deserta”; ao centro, a de “Leste” e, ao sul, a “Praia do Sul”.

O tipo de precipitação predominante no grupo é a orográfica e, observando a Tabela 2, podemos notar que o quadrimestre maio, junho, julho e agosto representa historicamente o período de seca do grupo. Assim, caracteriza-se que a estrutura da precipitação deste grupo é marcada por invernos menos chuvosos e verões muito chuvosos. As estações que compõem o grupo são: PR5 e PR28.

Tabela 2. Grupo I - Média histórica dos totais pluviométricos mensais das estações (mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PR5	335.9	324.4	316.0	158.8	130.2	111.9	99.8	91.4	151.6	194.0	201.1	265.9
PR28	303.5	279.9	245.3	156.0	134.4	117.9	118.3	114.0	190.2	220.6	210.7	256.3

Grupo II - A Serra do Mar, no território paranaense, destaca-se como um setor elevado da Borda Cristalina Oriental, como uma escarpa abrupta, com altitudes superiores a 1.000 metros, formando, assim, um conjunto de blocos isolados em diferentes altitudes. Estes blocos possuem nomes locais, como por exemplo: Serra Virgem Maria, Capivari Grande, Serra Verde, onde se encontram as maiores elevações, como o Pico Paraná, com 1.922 metros de altitude, ponto culminante de todo o Estado do Paraná.

O Planalto Cristalino Atlântico Paranaense, denominado de primeiro planalto paranaense, é formado pelo reverso da Serra do Mar, desenvolvendo-se como uma superfície de altitudes de 800 a 950 metros. É limitado, a leste, pela Serra do Mar e, ao norte e nordeste, tem sua continuidade para o Estado de São Paulo; no oeste, o limite é a escarpa devoniana; ao sul e sudoeste, desaparece sob a cobertura sedimentar paleozóica da Bacia do Rio Paraná.

O segundo planalto paranaense apresenta-se como um patamar intermediário da sucessão dos grandes planaltos do Paraná. Seu limite, a leste é a escarpa devoniana, que recebe o nome genérico de Serrinha e outras denominações locais; a oeste, limita-se com a escarpa arenito-basáltica, chamada de Serra Geral ou Serra da Esperança. Este planalto é constituído por relevos tabulares, formadores de “cuestas” e plataformas estruturais cada vez mais dissecadas para oeste, onde perdem altitude. Sobre as formações devonianas, a leste, o segundo planalto atinge altitudes de 1.100 a 1.200 metros, inclinando suavemente para oeste com

altitudes médias de 700 a 800 metros. Enfim, este grupo abrange a maior parte do primeiro planalto paranaense e do segundo planalto paranaense e, ainda, quase que a totalidade da Serra do Mar. Este grupo apresenta uma melhor distribuição de seu regime pluviométrico no decorrer do ano, principalmente se comparada ao grupo I. Os meses de abril, maio, junho, julho e agosto representam historicamente o período de seca do grupo (Tabelas 3 e 7). As estações componentes do grupo são: PR23, PR26, PR36, PR4, PR25, PR10, PR3, PR11, PR37, PR2, PR24, PR16 e PR17.

Tabela 3. Grupo II - Média histórica dos totais pluviométricos mensais das estações (mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PR23	181.7	155.4	119.0	82.4	98.0	97.7	83.4	80.8	114.5	128.9	112.0	149.2
PR26	166.7	143.4	140.1	99.7	137.9	118.9	105.4	85.8	128.2	152.0	136.0	153.8
PR36	174.4	150.5	129.5	103.3	124.6	111.2	92.6	79.5	127.4	141.9	115.9	145.6
PR4	165.4	144.1	133.5	105.3	120.2	106.8	99.1	91.8	136.6	156.6	130.6	140.1
PR25	159.2	145.0	113.6	78.8	106.2	102.2	88.4	88.7	116.7	130.3	109.7	130.7
PR10	173.7	157.1	126.8	94.0	118.3	112.6	98.7	74.3	124.3	148.0	115.4	141.8
PR3	163.8	137.6	116.7	91.0	111.3	106.8	90.3	87.5	122.6	141.6	116.0	132.8
PR11	163.1	143.6	118.0	95.7	120.1	117.3	101.1	81.4	132.7	158.9	130.3	132.6
PR37	175.4	150.8	120.6	85.5	92.9	96.0	79.3	74.1	111.6	129.6	114.7	149.8
PR2	173.9	155.4	122.2	75.6	97.6	101.4	92.5	84.3	115.1	125.1	105.9	146.3
PR24	158.2	158.4	118.2	81.4	108.0	103.1	93.5	86.3	115.2	119.9	107.1	129.0
PR16	181.6	167.2	141.5	71.2	83.8	86.3	75.5	59.4	102.7	124.5	108.2	139.2
PR17	275.9	281.0	236.9	128.2	109.2	95.7	90.0	81.2	127.1	153.5	152.6	196.2

Tabela 4. Grupo III - Média histórica dos totais pluviométricos mensais das estações (mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PR32	187.7	167.2	135.0	124.5	147.4	126.2	103.2	82.6	146.0	167.5	145.5	192.3
PR34	178.8	177.2	138.3	147.5	165.0	156.8	139.2	125.0	169.9	204.2	167.3	164.3
PR6	149.7	151.7	128.4	103.2	126.6	119.6	112.6	100.6	136.7	153.6	127.8	151.3
PR19	156.1	140.9	129.7	131.2	142.8	135.1	106.5	107.0	136.7	170.8	151.6	147.0
PR33	180.0	149.5	134.1	130.4	144.9	156.6	121.9	101.2	156.2	193.4	144.6	179.1
PR35	180.8	162.3	140.2	142.5	151.9	153.3	134.3	119.5	161.5	205.7	174.3	163.2
PR21	196.9	181.2	138.1	146.2	136.5	145.0	117.1	99.6	162.5	204.9	158.7	160.5
PR22	180.2	156.6	135.6	131.9	147.2	157.4	122.9	101.3	168.3	182.8	150.2	151.4
PR27	187.8	157.9	136.8	126.9	143.2	145.5	128.0	102.3	160.2	165.9	140.0	173.3
PR31	213.2	166.5	137.2	120.6	116.3	93.4	70.3	58.7	102.7	155.7	144.8	221.2
PR7	163.6	160.4	129.9	112.2	143.3	133.1	121.5	113.0	148.7	174.3	137.8	152.0

Grupo III - O terceiro planalto paranaense é talhado em rochas eruptivas básicas capeadas, a noroeste, pelo arenito caiué. Apresenta-se como um plano inclinado para oeste. Seu limite a leste, é a Serra da Esperança, com altitudes de 1.100 a 1.250 metros. A oeste, estas altitudes

vão diminuindo e atingem 300 metros no Vale do Rio Paraná. A feição dominante é a de uma série de patamares, devido à sucessão de derrames basálticos, à erosão diferencial e ao desnível de blocos falhados. Nessa região, os rios esculpiram vales que, quando mais abertos, originam corredeiras, cachoeiras e saltos, quando esses vales são mais fechados originam os chamados “canyons”. Este grupo está compreendido neste planalto, ocupando suas partes central, sul e leste. Entre todos os grupos, este é o que apresenta a melhor distribuição das precipitações no decorrer do ano (Tabelas 3 e 7). O bimestre composto pelos meses de julho e agosto caracteriza o período de maior seca da região. As estações que compõem este grupo são: PR32, PR34, PR6, PR19, PR33, PR35, PR21, PR22, PR27, PR31 e PR7.

Grupo IV - Este estende-se pelo extremo norte do primeiro planalto paranaense, segundo planalto paranaense e terceiro planalto paranaense. Este grupo é bastante complexo em sua descrição e caracterização, estando ele localizado na parte norte, nordeste e noroeste do Estado, apresenta tal complexidade devido à proximidade do Trópico de Capricórnio. Sabe-se que nos trópicos, existe uma grande confluência de energia, por ser uma linha divisória de sistemas tropicais e polares. O grupo é aquele que apresenta o maior período de estiagem, sendo este de abril a setembro (Tabelas 5 e 7). As estações que compõem o grupo são: PR15, PR1, PR8, PR9, PR14 e PR30.

Tabela 5. Grupo IV - Média histórica dos totais pluviométricos mensais das estações (mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PR15	161.3	124.4	102.8	62.4	79.6	74.3	64.0	53.0	90.5	115.0	83.5	125.1
PR1	182.6	159.8	120.1	88.4	96.1	76.4	56.8	40.9	81.9	123.9	130.7	160.7
PR8	176.9	153.4	111.8	92.5	78.8	70.8	47.1	39.5	78.0	127.0	118.4	158.0
PR9	180.0	147.8	125.5	86.2	83.0	65.9	50.1	38.0	73.6	123.6	115.8	157.4
PR14	151.0	125.8	96.5	64.5	76.2	72.3	59.7	47.8	88.0	98.6	82.9	111.0
PR30	157.5	136.1	104.1	87.8	113.6	93.5	63.6	57.6	106.4	156.6	113.4	144.5

Grupo V - Este grupo encontra-se na região centro-ocidental do terceiro planalto. Este setor do referido planalto é uma área de distribuição do arenito caiua, onde ocorrem extensas chapadas e platôs suavemente ondulados com divisores de água arredondados. A maior parte dos rios caudalosos do Paraná, que nascem em altitudes de 1.000 a 1.200 metros, desaguam nessas altitudes de 200 a 300 metros, nas margens do Rio Paraná. A cidade de Foz do Iguaçu está abaixo de 200

metros de altitude, sendo esta altitude considerada de planície. Na parte paranaense da Bacia do Rio Paraná encontramos as mais baixas altitudes do terceiro planalto paranaense. O grupo estende-se ao longo do reservatório de Itaipu, e a influência desse no clima da região é elemento de indispensável estudo futuro. O grupo é composto pelas seguintes estações: PR29, PR20, PR13 e PR12. Observando as Tabelas 6 e 7, percebemos que este grupo também apresenta uma boa distribuição de seu regime pluviométrico; no entanto, o bimestre julho - agosto é historicamente marcado por possuir baixos totais pluviométricos.

Tabela 6. Grupo V - Média histórica dos totais pluviométricos mensais das estações (mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PR29	136.6	113.3	116.0	131.7	128.8	116.9	84.9	99.4	137.2	147.4	123.9	131.0
PR20	139.5	132.9	133.6	134.0	134.4	135.4	95.6	93.6	140.6	175.7	133.9	138.3
PR13	142.0	132.9	104.6	112.3	128.7	92.3	75.7	65.8	101.0	156.0	131.4	147.3
PR12	145.9	138.2	132.3	132.0	144.8	108.5	84.5	73.2	131.1	182.1	142.7	134.7

A Estação Veu da Noiva, PR18, localizada no Município de Morretes, não se enquadra em nenhum dos grupos formados (Dendograma 2). Seus totais pluviométricos são semelhantes aos que ocorrem na Amazônia, porém por motivos diferentes. Estando a referida estação a uma altitude de 680 metros, em plena a Serra do Mar, sofre efeitos de uma orografia intensa.



Dendograma 2. Paraná (1958-1992), Método de Ward, Distância Euclidiana.

Tabela 7. Média histórica dos totais pluviométricos mensais de cada grupo (mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
G-I	319.7	302.1	280.6	157.4	132.3	114.9	109.1	102.7	170.9	207.3	205.9	261.1
G-II	177.9	160.7	133.6	91.7	109.8	104.3	91.5	81.2	121.1	139.3	119.6	135.0
G-III	179.4	161.0	128.0	128.8	142.3	138.4	116.1	101.0	149.9	179.9	149.3	168.7
G-IV	160.7	141.2	110.1	80.4	87.9	75.5	56.9	46.1	86.4	124.1	107.4	142.8
G-V	141.0	129.3	121.6	127.5	134.2	113.3	85.2	83.0	127.5	165.3	133.0	137.8

Tabela 8. Número Médio de Dias de Chuva por Ano.

Grupo I	
PR5	172.5
PR28	194.9
Grupo II	
PR23	192.5
PR26	146.9
PR36	124.0
PR4	106.5
PR25	152.3
PR10	108.9
PR3	120.6
PR11	106.1
PR37	105.1
PR2	118.3
PR24	97.3
PR16	134.4
PR17	172.7
Grupo III	
PR32	100.7
PR34	125.8
PR6	135.5
PR19	90.1
PR33	117.8
PR35	112.3
PR21	83.6
PR22	105.6
PR27	117.4
PR31	110.2
PR7	124.6
Grupo IV	
PR15	84.8
PR1	92.3
PR8	87.4
PR9	80.2
PR14	97.5
PR30	85.7
Grupo V	
PR29	77.0
PR20	77.6
PR13	83.0
PR12	75.7

A Tabela 7 demonstra as diferenças nos totais pluviométricos mensais entre os grupos; observa-se claramente a classificação hierárquica proposta. Vemos que o mês de agosto é o de menor total pluviométrico para todos os grupos, seguido do mês de julho. O mês de maior pluviosidade é janeiro, com exceção do grupo III.

Tabela 9. Número Médio de Dias de Chuva por Ano.

G-I	183.7
G-II	129.7
G-III	111.2
G-IV	88.0
G-V	78.3

O número médio de dias de chuvas por ano é mostrado na Tabela 8, para cada estação. A Tabela 9 demonstra hierarquicamente as diferenças entre os grupos, sendo o grupo I aquele que possui o maior número de dias de chuvas ao ano (aproximadamente 184) e o grupo V o de menor ocorrência de precipitações durante o ano.

CONCLUSÃO

A precipitação total mensal do Estado do Paraná possui estruturas distintas, sendo necessária uma regionalização para a obtenção de melhores resultados. Seu regime de precipitação é altamente sazonal, verão chuvoso e inverno seco. Historicamente, o mês que apresenta a menor média dos totais mensais pluviométricos é agosto.

A classificação, através do método de Ward, resulta em cinco grupos. Os grupos têm coerência com os aspectos geográficos marcantes desse Estado. A zona de convergência de energias, devido ao trópico de Capricórnio, agrupa estações mostrando um regime de transição bem marcado.

A variabilidade de cada grupo de estações mostra uma coerência interna, entre as estações pertencentes ao mesmo grupo.

Há um marcado regime de chuvas no litoral, devido ao fluxo de ar úmido do oceano e uma diminuição da precipitação a oeste, com onda anual bem definida na região nordeste e leste, deste Estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRY, G.B. & CHORLEY, J.R. *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona: Ediciones Omega, 1985. 490p.
- HOFFMANN, J.A.J. *Atlas climático de America del Sur*. Ginebra: OMM, 1975. pte 1.
- KOUSKY, V.E. & CAVALCANTI, I.F. Eventos oscilação do Sul - El Niño: características, evolução e anomalias da precipitação. *Ciência e Cultura*, 36(11):178-199, 1984.
- NERY, J.T., SILVA, S.E. & MARTINS, M.O.F. Estudo da variabilidade pluviométrica do Estado do Paraná. *Revista UNIMAR*, 16(3):505-524, 1994.
- NERY, J.T. & VARGAS, W.M. *Estudio climático de la precipitación del Brasil Meridional asociado con fenómeno extrarregionales*. Buenos Aires, 1996. Tese (Doutorado em Meteorologia, Departamento de Ciências da Atmosfera) Universidade de Buenos Aires.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, nº 24, 421pp. 1979.
- PARANÁ (ESTADO), Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras Cartografia e Floresta. *Atlas do Estado do Paraná*. Curitiba, 1987. 73p.
- RAO, V.B. & Hada, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, Washington, 1988.

A REESTRUTURAÇÃO DO CENTRO DE MARINGÁ/PR

**Generoso De Angelis Neto^{*} e Bruno
Luiz Domingos De Angelis⁺**

RESUMO. A proposta de reforma urbana, tal como foi concebida, durante os anos 80, não logrou ainda fixar-se na cena política brasileira como um conjunto de direitos reconhecidos como legítimos pela maior parte da sociedade. Mesmo nos restritos circuitos onde o tema foi incorporado e debatido, há uma diversidade de interpretações sobre o seu conceito e seus objetivos, como demonstram os documentos das entidades que participam da proposta de Reforma Urbana ou dos pesquisadores que a ela se referem (Ribeiro e Santos Jr, 1994). Assim, citamos o caso da reestruturação do centro de Maringá (PR), que passa por um processo semelhante e que é o escopo deste trabalho. O enfoque a ser dado é sobre a formulação, implantação e avaliação da política urbana utilizada, na cidade, assim como as interfaces decorrentes deste processo.

Palavras-chave: Maringá, planejamento urbano, política urbana, reforma urbana.

THE REMODELLING OF MARINGÁ CITY CENTER (PR)

ABSTRACT. The plan for city remodelling as it was framed in the 80's has not won yet the Brazilian political scene as representing a body of lawful rights acknowledged as legitimate by the great majority of the Brazilian people. Even in the restricted groups of people who incorporated and discussed the issue, there is still a variety of interpretations of its concepts and objectives, as can be seen in the documents of the organizations that participate in the plan for city remodelling and of the researchers who mention it in their writings (Ribeiro and Santos Jr, 1994). The aim of this article is to analyse the remodelling of the city center of Maringá, focusing

^{*} Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

⁺ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

Correspondência para Generoso De Angelis Neto.

Data de recebimento: 22/10/96.

Data de aceite: 19/12/96.

on the framing, establishment and evaluation of the city planning policy and on the consequences of this process.

Key words: *Maringá*, city planning, city policy, city remodelling.

INTRODUÇÃO

De maneira geral, existem objetivos vários envolvidos na definição de políticas urbanas. Embora muitos desses objetivos tenham pontos em comum, os mesmos são formulados e implementados, na maioria das vezes, de acordo com as ideologias político-partidárias dos administradores/atores de então (Walt, 1994).

Assim, a título de exemplo, estes objetivos podem ser resumidamente apresentados como se mostra a seguir (Encontro Nacional da Anpur, 1989):

- a) **em relação à propriedade imobiliária urbana:** instrumentos de regularização de áreas ocupadas. Captação da valorização imobiliária. Aplicação da função social da propriedade. Proteção urbanística, ambiental e cultural;
- b) **em relação à política habitacional:** programas públicos habitacionais com finalidade social. Aluguel ou prestação da casa própria, proporcional à renda familiar. Agência nacional e descentralização na gestão da política;
- c) **em relação aos transportes e serviços públicos:** natureza pública dos serviços sem lucros, *com subsídios* (grifo nosso). Reajuste das tarifas proporcionais aos reajustes salariais. Participação dos trabalhadores na gestão do serviço;
- d) **em relação à gestão democrática da cidade:** Conselhos democráticos, audiências públicas, plebiscitos, referendo popular, iniciativa legislativa e veto às propostas do legislativo.

Salta aos olhos como estes objetivos de políticas urbanas têm uma forte conotação da esquerda político-partidária. É fácil de se perceber que, embora muitos autores nacionais assim definem estas prioridades e sua consecução, os mesmos pululam, em face das dificuldades, em sua implementação.

A parcela dos empresários que têm na cidade sua fonte de lucros (loteadores, incorporadores, construtores, parte dos corretores, inclusive grandes proprietários fundiários), tem um projeto para a cidade como um todo. Embora este projeto ignore a cidade real e se refira à parte da cidade ocupada pela elite, ele tem sido freqüentemente hegemônico. Este grupo,

representado por entidades empresariais e de classe, entre outros, possui, além de seu alto nível de organização e disponibilidade de recursos, uma especial penetração na mídia e nos poderes legislativos (Ribeiro e Santos Jr, 1994).

Os trabalhadores, através de suas entidades e movimentos, ao contrário, não apresentam uma proposta para o conjunto da cidade, nem mesmo para o conjunto daqueles que se poderia chamar de excluídos, explorados, oprimidos ou segregados. Suas manifestações se referem, basicamente, a reivindicações locais ou comunitárias.

A correlação de forças na sociedade ainda não é favorável à implantação de uma verdadeira reforma urbana, não só física (através de reestruturação) mas também em nível sociográfico, com uma distribuição mais racional e humana dos benefícios urbanos. Até mesmo programas como o de regularização fundiária de favelas, aceito internacionalmente por organismos insuspeitos e praticado particularmente há décadas no Brasil, integrante inclusive da política federal, encontram resistências ideológicas para ser desenvolvidos (Blackman, 1995).

O CICLO DE PLANEJAMENTO - EXECUÇÃO - CONTROLE: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE POLÍTICAS URBANAS

Em oposição à descrença corrente quanto à eficácia de mecanismos de planejamento aplicados a este setor, sugere-se uma utilização mais intensa do planejamento na administração pública no País. Assim, procura-se fortalecer a idéia do planejamento como um processo contínuo, tecnicamente fundado e orientado por políticas públicas, que expressem o nível máximo possível de consenso, em torno de objetivos e metas que fortaleçam o potencial sinérgico do Estado brasileiro (Teixeira e Santana, 1994).

Planejamento - execução - controle e avaliação de desempenho, apoiados pela informação, condicionam-se mutuamente em ciclos interdependentes e consecutivos.

Os **objetivos** implicam a escolha das linhas de ação a serem desenvolvidas no período programado. É um processo complexo, em especial na área pública, pois a escolha dessas linhas de ação deve corresponder, por princípio, às políticas públicas definidas a cada conjuntura.

As **Metas e Indicadores** são os instrumentos de orientação mais imediatos na concretização das linhas de ação; traduzem os objetivos de

governo em metas quantitativas e qualitativas de serviço, utilização dos meios, avanços tecnológicos e organizacionais etc.

Os meios são comumente escassos, em maior ou menor grau, assim como a capacidade de avanços tecnológicos e organizacionais, em relação às necessidades e demandas da sociedade. A função de planejamento assume, então, uma importância fundamental para a racionalização de uma política; o ato de planejar torna-se, assim, o próprio exercício de adequação dos recursos aos objetivos da política, medida pelos princípios que orientam uma equipe de governo.

O propósito principal do planejamento para o município é estabelecer, à base de políticas públicas pré-definidas, a forma pela qual se deve adequar a oferta à demanda por serviços públicos em um horizonte de tempo determinado, estabelecendo-se os objetivos e metas a serem cumpridos e dimensionando-se recursos físicos, humanos e financeiros para a consecução dos mesmos.

Desta forma, o planejamento e o controle constituem um ciclo interativo. Pode-se dizer, assim, que o planejamento e o controle são duas faces da mesma moeda, pois um é necessário ao outro: um planejamento sem um controle pode gerar um resultado qualquer, sem atender às metas estabelecidas; um controle sem planejamento é inócuo, pois não existe nenhuma direção a ser seguida, pouco importando para onde deriva o sistema.

Por analogia, pode-se afirmar que o planejamento se relaciona à formulação; a execução à implantação, e o controle à avaliação do desempenho de uma política urbana.

A crescente complexidade da sociedade brasileira e a diversidade de funções exercidas pelo Estado, dentro dela, exigem o uso de uma metodologia adequada no tratamento do planejamento e do controle realizado por uma política urbana.

A FORMULAÇÃO DA POLÍTICA URBANA

Do que fora apresentado, serve-se o presente para desenvolvimento da política urbana, que foi implementada para a reestruturação do centro de Maringá, na sua fase de formulação.

Esta formulação será dividida entre dois tópicos: os seus objetivos e a criação da Urbamar, como se verá mais adiante.

Os Objetivos Primários

Vários foram os fatores que, coletivamente, levaram à necessidade de se rever o futuro do centro de Maringá, cidade pólo de sua microrregião que congrega em torno de 500.000 habitantes, e por ser o centro abastecedor de aproximadamente 2.000.000 de pessoas da Mesorregião Norte Central Paranaense (IBGE, 1991).

Dentre os objetivos da política urbana de reestruturação do centro, tem-se:

- a) **Redução de Interferência da Ferrovia na Vida da Cidade:** A linha férrea causa interrupção no tráfego de veículos nas Avenidas Paraná e Pedro Taques (visto que na Avenida São Paulo já existe um viaduto para evitar interrupções), toda vez que passa a composição de trens. Esta interrupção ocorre, no mínimo, duas vezes ao dia, causando grandes transtornos, sem contar os prolongamentos das Avenidas Herval e Duque de Caxias, já construídas, que cortam o Novo Centro;
- b) **Resgate das Áreas Centrais para Funções mais Nobres:** O pátio de manobras da RFFSA está situado numa área contígua ao centro da cidade. Devido à proximidade com o terminal rodoviário e o terminal urbano, tem-se grande fluxo de pessoas, o que acarreta a presença de desocupados, comércio informal e ilegal e degradação da paisagem urbana, entre outros;
- c) **Revitalização do Centro Antigo:** Embora a cidade de Maringá tenha começado sua ocupação pelo hoje Maringá Velho, longe do terminal rodoviário, tão logo fora iniciada a ocupação da zona 1 (central), formou-se um núcleo estruturado ao redor deste terminal. Com o passar do tempo esta região foi sendo, aos poucos, degradada por vários motivos. A ocupação de áreas mais nobres do município deslocou muitas atividades importantes deste local, deixando-o à mercê de outras menos importantes. Por ser uma área histórica importante para o município, mister se faz esta revitalização;
- d) **Melhoria das Condições de Circulação de Veículos:** Para se deslocar no sentido norte-sul do município só existia na região central a Avenida São Paulo em que não havia a interrupção do tráfego pela passagem dos trens. Também as Avenidas Pedro Taques e Paraná eram insuficientes para dar a vazão necessária de veículos na hora de pico, causando congestionamentos. A abertura e o prolongamento das Avenidas Duque de Caxias e Herval

melhorou as condições de trafegabilidade neste sentido, mas possuem os mesmos inconvenientes das outras: interrupção de tráfego pela passagem das composições de trens;

- e) **Melhoria da Integração da Cidade:** Hoje, Maringá encontra-se dividida, principalmente, em sua parte central, pela existência do pátio de manobras que ocupa uma área de 206.600 m², na região nobre da cidade. Além de impedir o desenvolvimento do centro como um todo integrado, a presença da ferrovia nesta área do município acaba causando a fragmentação do mesmo, seccionando e dividindo sua área. Encontra-se, na zona sul da cidade, o centro propriamente dito (em direção da Av. Brasil), com as estruturas bancárias, comerciais, de serviços, político-administrativas, entre outros. E na zona norte, a universidade, o centro poliesportivo, o estádio de futebol, ginásio coberto e a Av. Colombo que, de certa maneira, funciona como um anel viário do município. Um dos objetivos principais desta política urbana é o de permitir uma melhoria na integração da malha urbana, descentralizando geograficamente algumas destas funções, que hoje se encontram confinadas em determinadas zonas municipais;

- f) **Facilitação de Soluções Futuras de Transporte de Massas:** Maringá, sede de sua microrregião, congrega os municípios de Mandaguari, Marialva, Paiçandu e Sarandi, perfazendo um total aproximado de 500.000 habitantes. Os municípios de Sarandi e Paiçandu estão conurbados a Maringá, separados unicamente por ruas, cada qual a um lado do município.

Por ser Maringá a maior de todas, é grande o fluxo diário de pessoas que para cá se deslocam, para atividades de trabalho, ensino, lazer ou cultura, gravitando como cidades satélites. Estas pessoas deslocam-se a Maringá, quase na totalidade, através de transporte coletivo, causando uma série de desconfortos pela incapacidade e falência deste sistema sob alguns aspectos (conforto, segurança, rapidez etc.).

Neste contexto, a política de reestruturação do centro de Maringá também prevê, na sua fase de formulação, os estudos para a implantação de um sistema de transporte de massa mais eficiente que o atual, de maneira a diminuir o número de ônibus circulares na zona central da cidade e melhorar os serviços prestados à comunidade em geral.

- g) **Valorização da Área Central da Cidade:** Esta valorização não visa à especulação imobiliária ou aumento dos preços dos

imóveis, mas sim à melhoria da qualidade de vida daqueles que aí habitam ou transitam cotidianamente. A reestruturação do centro visa, ainda, a um embelezamento desta área importante da cidade, hoje degradada pelos fatores listados anteriormente.

Como se viu, a política urbana a ser implementada visa resolver vários problemas estruturais da cidade e de seu centro, problemas estes decorrentes de fatores tão antigos quanto a criação da mesma.

Durante esta fase de formulação, vários outros problemas surgiram: o terreno do pátio de manobras das composições fora cedido pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP) à Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA); faltava uma estrutura na prefeitura, que tivesse atribuições para gerir e controlar este empreendimento, para formular metas e diretrizes globais.

Devido a estes fatores e à grandiosidade do empreendimento em face dos seus objetivos (já apresentados), surge a necessidade da criação de um órgão centralizador destas atividades.

A Criação da Urbamar

No dia 4 de setembro de 1985, é assinada a Lei nº 1934/85 que criaria uma sociedade de economia mista, sob a denominação de Urbanização de Maringá S/A (Urbamar), destinada especificamente a viabilizar com a RFFSA a remoção e transferência do complexo ferroviário - pátio da estação - existente sobre a área de 206.600 metros quadrados do centro de Maringá.

Para a concretização desta finalidade, a Urbamar poderá realizar as seguintes atividades:

- a) contratar planos urbanísticos, estudos e projetos de urbanização, com vistas à remoção e transferência do complexo ferroviário existente;
- b) promover o planejamento e elaboração de projetos relacionados à área, atendendo-se às normas de legislação vigente;
- c) promover o aproveitamento de terras pertencentes ao projeto, ou que tenham sido adquiridas para tal finalidade, pela sociedade;
- d) promover a incorporação por si ou por contrato, de bens imóveis e de projetos a ele referentes, de iniciativa da sociedade, para os fins estabelecidos anteriormente.

Na consecução de seus objetivos e finalidades, compete à sociedade a execução direta ou indireta dos serviços públicos necessários às

implantações previstas na lei supracitada, na qualidade de concessionária de serviços públicos, ficando expressamente autorizada a efetivação das concessões pelo executivo municipal.

A Urbamar tem personalidade jurídica de direito privado, patrimônio próprio e autonomia administrativa e é constituída por uma Diretoria Executiva composta por um Diretor-Presidente, um Diretor-Financeiro, um Diretor-Técnico e um Diretor-Administrativo, bem como por um Conselho Fiscal, na forma de lei.

A IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA URBANA

O rebaixamento e adequação da via férrea da RFFSA e da área urbana do Novo Centro de Maringá é um empreendimento que mudará as características do atual centro da cidade, adequando-a a conviver, de maneira mais harmoniosa, com o tráfego de trens da rede ferroviária.

A via rebaixada proporcionará uma menor interferência do tráfego de trens com o tráfego rodoviário local e de entorno e, principalmente, disponibilizará um incremento considerável de área urbana para novas edificações e empreendimentos imobiliários, valorizando, sob muitos aspectos, o centro da cidade.

Existe uma diretriz no sentido de viabilizar, para o trecho central, um túnel falso com seção retangular e, para os trechos fora da área central, a solução aponta para valas abertas, inclusive, nas rampas de aproximação.

Com base nestes elementos e nas demais informações, é que foram desenvolvidos os estudos necessários à implantação desta política, buscando cumprir e detalhar, dentro das limitações de tempo possível, qual a solução de engenharia mais indicada, levando-se em conta as diretrizes contidas na fase de formulação desta política urbana.

Como diretriz para o projeto básico está previsto um trecho em túnel entre as Avenidas Paraná e São Paulo, e um trecho em vala aberta entre as Avenidas 19 de Dezembro e Tuiuti, com a necessária transição em rampa em um total de 4.000m.

Tais estudos compreendem as várias etapas do processo, tendo sempre como alvo a readequação do sistema ferroviário existente, proporcionando, como consequência, a reestruturação do sistema rodoviário com a eliminação das passagens de nível.

Para tanto, fora idealizada, nesta fase, a determinação prévia de uma solução técnica e economicamente adequada às necessidades do município, considerando, porém, que a confirmação da solução escolhida

ou adotada somente deverá se confirmar, quando da materialização do projeto básico. Todavia, os estudos realizados objetivaram evidenciar, nesta fase, alguns aspectos importantes, tais como:

- a) identificação dos elementos construtivos nas soluções escolhidas;
- b) as soluções gerais e localizadas relacionadas às fases executivas do empreendimento;
- c) a seleção das normas aplicáveis às obras, assim como a indicação dos casos particulares;
- d) os métodos executivos recomendados.

Condições do Local de Implantação

Com o objetivo de avaliar as fases dos estudos, objeto do presente trabalho, necessita-se de uma noção técnica preliminar, no local de implantação do projeto, verificando informações e condições relativas:

- a) à localização;
- b) às condições operacionais;
- c) às condições climáticas;
- d) às condições geológicas e geotécnicas;
- e) às interferências notáveis.

Tais informações permitem avaliar as dificuldades de elaboração do projeto básico, uma vez que envolvem, além da Urbamar, a RFFSA, a prefeitura e as concessionárias de serviços públicos locais.

A AVALIAÇÃO DA POLÍTICA URBANA

Os processos de modernização da política urbana têm desenvolvido uma tendência comum, ao menos nos países com resultados mais satisfatórios: a política se concentra no esforço para garantir a qualidade de ação pública; para isso, explicitam-se quadros de referência, definem-se parâmetros e indicadores de desempenho, e se estabelecem sistemas de acompanhamento, controle e avaliação dos mesmos, que orientam o gerenciamento e facilitam a interlocução entre governantes, especialistas e usuários. Dá-se, assim, um redirecionamento nos sistemas de política pública, superando-se os modelos baseados em controles isolados dos meios - sejam humanos, materiais, financeiros - ao mesmo tempo em que se delineiam modelos de administração mais centrados no eixo da avaliação - qualitativa e quantitativa - do serviço prestado (Walt, 1994).

A preocupação com resultados instaura uma nova dinâmica nos sistemas de política e se impõe, por si mesma, como um fator de

transformação no conteúdo da administração pública tradicional, acostumada a pensar nos insumos de que considera necessitar, mas quase nunca no produto das suas ações concretas.

Um sistema de indicadores, adequadamente definido, funciona como um instrumento de racionalização e modernização de políticas urbanas. Ele delimita o campo observável da ação a ser desenvolvida, facilitando a identificação dos objetivos e metas a serem perseguidos por uma organização ou área governamental; propicia a concentração de esforços, na medida em que define objetivamente os resultados esperados e, conseqüentemente, os meios para alcançá-los. Permite que os diversos agentes tenham mais claros os critérios pelos quais estão sendo avaliados; e, sobretudo, cria condições para que a população de um modo geral, e o usuário em particular, possa conhecer o seu desempenho (Blackman, 1995).

No momento atual, em que a sociedade brasileira procura rever e até redefinir o papel dos seus diversos agentes, tanto públicos como privados, torna-se fundamental a análise e compreensão do desempenho dos mesmos. Sem isso, as propostas de redefinição carecem de maior sustentação nas evidências dos fatos.

A avaliação de desempenho de políticas urbanas se inscreve, atualmente, entre os instrumentos modernos do processo, como uma das ferramentas mais promissoras para a legitimação do mesmo.

Até recentemente, a questão da avaliação de desempenho das políticas públicas era tida como algo secundário. O papel decisivo desempenhado pelo Estado na recondução das economias de vários países no pós-guerra, a conjuntura de crescimento econômico que se instalava, retardou, por muito tempo, o desenvolvimento e a aplicação de modelos de análise e avaliação de desempenho destas políticas (Ferrari, 1991).

No entanto, a partir dos anos 60 e 70, este quadro vem-se transformando consideravelmente, consolidando-se, em países como Inglaterra, França, Estados Unidos, Alemanha, Japão, países escandinavos etc., a tendência para a aplicação de políticas urbanas já em novas bases.

Estas políticas são, agora, encaradas, acompanhadas e avaliadas como um agente, que tem a necessidade de fazer escolhas e de legitimá-las em face da sociedade.

Uma primeira questão se coloca face a qualquer avaliação neste sentido: qual a natureza das escolhas feitas pelo aparelho do Estado, dentre as alternativas possíveis de políticas públicas?

A legitimidade da ação pública torna-se tanto mais complexa, quanto mais se avança no processo de modernização e democratização das sociedades atuais, em que o Estado atua frente a interesses variados e, não poucas vezes, conflitantes. Por isso mesmo, a avaliação de desempenho de políticas urbanas pode enfrentar imensas dificuldades, a partir da atitude dos próprios servidores públicos que podem chegar a apresentar interesses corporativos.

Ao mesmo tempo, há que se enfrentar as dificuldades próprias da montagem de modelos e instrumentos de avaliação. Aqui, o maior desafio é mudar o eixo da avaliação: de uma avaliação centrada no controle de meios - em geral, ela mesma desarticulada - para uma avaliação orientada para a análise do serviço efetivamente prestado, centrada na relação do serviço planejado - desempenho alcançado.

Metodologia Utilizada para a Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho de uma política urbana pode ser feita de várias maneiras, empregando-se consultores externos ou internos, métodos científicos e até mesmo pesquisa de campo.

Tecnicamente falando, estas pesquisas de opiniões devem ser feitas de maneira estratificada, ou seja, por estratos da sociedade da qual se quer saber a opinião sobre um fato ou acontecimento pré-definido.

A pesquisa estratificada é aquela baseada em dados censitários recentes, e divide-se o universo da população a ser pesquisada por sexo, escolaridade, renda e idade. Os pesquisadores de campo saem, aleatoriamente por zonas da cidade, previamente selecionadas, e procuram, dentre a população desta zona, as pessoas que se encaixam nestes perfis predeterminados de sexo, idade, escolaridade e renda.

Os dados assim coletados são introduzidos em programas numéricos de computador e obtém-se o cruzamento de todas as informações necessárias, tendo-se um panorama geral, com 3 ou 4 pontos percentuais de desvio para mais ou menos de acerto, das opiniões de todo o universo populacional pesquisado.

Na avaliação do desempenho da política urbana de reestruturação do centro de Maringá, optou-se por se fazer uma avaliação mais qualitativa que quantitativa, uma vez que não estava à nossa disposição o programa numérico de computador para o cruzamento completo dos dados.

Assim, optamos por fazer uma avaliação com a população que reside ou trabalha no entorno da área a ser reformulada, consultando 100

pessoas que possuem imóveis nas Avenidas Tamandaré, Paraná e Prudente de Moraes, imóveis residenciais ou comerciais. Na Avenida São Paulo, não foi feita a pesquisa de avaliação devido à presença do viaduto para cruzamento da linha férrea.

O questionário utilizado para a pesquisa de campo consta de 17 questões, abertas e fechadas, com ou sem desvios de caminhos nas respostas. Esta pesquisa de campo foi realizada nos dias 27 e 28 de novembro de 1995, por duas pessoas.

As pessoas pesquisadas eram abordadas em seus imóveis (alugados ou próprios) e, após nossa apresentação, explicava-se resumidamente os objetivos daquela pesquisa.

As cinco primeiras perguntas do questionário têm por função a identificação da pessoa a ser entrevistada, para posterior catalogação. As perguntas 6 e 7 são sobre o conhecimento da população a respeito da política que dera início às transformações do centro da cidade. As de número 8 a 11 referem-se ao projeto que está sendo executado (implantação da política). As perguntas que vão do número 12 ao 16 têm por função determinar o que a população pesquisada pode estar achando destas transformações, suas opiniões pessoais, seus sentimentos. Destaque especial deve ser dado à questão de número 16, que versa sobre a Urbamar. Na última questão, solicita-se ao entrevistado que dê uma nota à administração municipal de acordo com a política de reestruturação do centro.

Resultados Obtidos

Os resultados obtidos dessa avaliação foram catalogados manualmente, um a um, devido aos fatores descritos no item anterior.

As tabelas e os gráficos resultantes encontram-se em Angelis Neto (1995), divididas por sexo, faixa etária, escolaridade, renda familiar, assim como de acordo com as questões formuladas.

Desses resultados, percebe-se que das 100 pessoas entrevistadas 55 eram do sexo masculino e 45 do sexo feminino. Nesse conjunto, a maioria (54%) era formada de pessoas com idade entre 21 e 40 anos, com o 1º Grau completo ou não (43%) e com renda familiar de 5 a 10 salários mínimos mensais (42%).

Análise dos Resultados Obtidos

As questões de número 5, 7, 10 e 11, por serem abertas ou de menor interesse, serão comentadas no decorrer desta análise, juntamente com outras.

A classificação por tipo de imóvel, se comercial ou residencial, presente na questão nº 5, pareceu-nos inócua, de pouca colaboração para a análise aqui desenvolvida, tendo sua catalogação deixada de fora.

Questão nº 6: “Você conhece a política que gerou a reformulação do Novo Centro, ou seja, por que foram concebidas essas mudanças?”

A maioria das pessoas consultadas afirmou que conhecia mais ou menos a política de reformulação do centro de Maringá, seguidos de perto por aqueles que não conheciam. Porém, o que se constatou durante a realização da pesquisa de campo foi que aqueles que disseram conhecer mais ou menos, conheciam muito pouco da realidade, de acordo com o complemento da questão nº 7. Percebe-se, ainda, que a porcentagem dos que afirmaram conhecer esta política é muito pequena, mesmo entre aqueles que possuem o 3º Grau completo ou incompleto ou renda mensal superior a 15 salários mínimos.

Questão nº 8: “Você conhece o projeto que está sendo executado no Novo Centro?”

Esta pergunta fora incluída no questionário, para se verificar se a população consultada estava a par do que estava acontecendo próximo às suas casas ou local de trabalho, visto que as obras de implantação da política de reestruturação já estão em andamento (construção das avenidas projetadas, escavação do falso túnel, em primeira etapa, execução dos tubulões etc.).

Por absurdo que possa parecer, aqui também se percebe que uma parcela mínima (8% entre homens e mulheres) da população afirma conhecer o projeto que está sendo executado. Com relação à política urbana, alvo da questão nº 6, o número de pessoas que afirmaram conhecer mais ou menos o projeto aumentou, diminuindo o número daqueles que afirmaram não o conhecer.

Questão nº 9: “A base do projeto de reestruturação do centro de Maringá visa ao rebaixamento da linha férrea e também a venda de lotes da área central à iniciativa privada. Você é contra ou a favor este projeto?”

A partir de um breve comentário sobre o projeto que estava sendo executado, e colocando-se as pessoas pesquisadas a par do mesmo, procurou-se determinar, então, se estas eram a favor ou contra o projeto implementado. Percebe-se que a maioria esmagadora, entre homens e mulheres (76%) disseram ser favoráveis ao projeto que está sendo

executado. Isto devido ao fato de que esta população não estava satisfeita com o estado em que se encontrava a referida área, entregue ao abandono e de aspecto muito desagradável, como se constatou na interpretação da questão nº 11.

Aquelas pessoas que se manifestaram contra a execução do projeto (10% no total) gostariam de ver aí implantada outra obra que não a atual, ou simplesmente não sabiam por que eram contra (questão nº 10).

Questão nº 12: “Se você pudesse escolher, que obra você implantaria neste local?”

Procura-se, aqui, determinar a opinião desta população com respeito a seus anseios particulares, ou seja, se fossem consultadas, o que desejariam que fosse construído nesta área. As alternativas que constam na resposta foram formuladas com levantamentos preliminares expedidos. Percebe-se que uma parcela significativa da população pesquisada (32% do total) gostaria que a rodoviária fosse construída nesta área, visto que a mesma será construída (as obras já estão em andamento) fora do Novo Centro, na zona 3 de Maringá. Este interesse decorre do fluxo de pessoas que se concentra próximo a uma rodoviária, melhorando as condições para os prestadores de serviço e comércio em geral.

Na seqüência, 22% do total pesquisado, entre homens e mulheres, têm sugestões diferentes às alternativas apresentadas, o que demonstra uma grande dispersão dos anseios desta população.

Mas o que chama a atenção é o fato de apenas 12% do total pesquisado aprovar o projeto que está sendo executado. É um valor extremamente baixo, visto ser uma obra que irá atingir, direta o indiretamente, não só a população limítrofe a ela, no seu entorno, mas toda a população da microrregião de Maringá. Talvez tenha faltado uma ampla consulta com a sociedade civil, entidades de classe, clubes de serviços, para tentar, pelo menos, minorar tamanha rejeição ao projeto em implantação.

Questão nº 13: “Com estas transformações, como você acha que será o futuro desta área da cidade?”

Embora com opiniões tão discrepantes, em relação ao projeto em implantação, a maioria absoluta (85% do total, entre homens e mulheres) acredita que o futuro desta área da cidade irá melhorar. Este resultado reflete, mais uma vez, os anseios desta população pela reformulação, que, mesmo não estando completamente de acordo com o que se está implantando, acredita que vai ficar melhor que antes.

Questão nº 14: “Você concorda em como fora lançado esse empreendimento?”

Esta questão tem por função avaliar se a população está de acordo com a maneira como o mesmo fora lançado, ou seja, se a mídia “oficial” cumpriu sua função de, sob a ótica do Poder Público, conscientizar esta população da necessidade/prioridade da implantação desta política como fora feita, transformando os objetivos primários da administração municipal nos objetivos primários também da população.

Ao que indicam os resultados obtidos, uma grande parcela desta população (70% do total, entre homens e mulheres) concorda em como fora lançado o empreendimento, através da presença forte e marcante na imprensa, em *outdoors*, na televisão e rádio.

Questão nº 15: “Você foi consultado(a) sobre a política de reestruturação do Novo Centro?”

Aqui, confirma-se o que vinha sendo dito em questões anteriores: 83% do total pesquisado, entre homens e mulheres, não foram consultados sobre a política de reurbanização do centro de Maringá. 16% do total pesquisado responderam “em termos”, pois não foram consultados diretamente, mas simplesmente tinham um breve conhecimento desta política.

Questão nº 16: “Você conhece e sabe o que faz a Urbamar?”

Em relação ao total pesquisado, 46% do total sequer sabia do que se tratava, ou qual a função da Urbamar, apesar de toda a propaganda realizada pela mídia. E 37% do total responderam que a conheciam mais ou menos, mas pôde-se constatar, durante a realização da pesquisa de campo, que, mesmo entre estas pessoas, o grau de conhecimento era pequeno. A linguagem utilizada na campanha de divulgação do empreendimento e a falta de uma participação mais efetiva da sociedade podem ter levado a estes resultados.

Questão nº 17: “Que nota você daria, de 1 a 10, para a administração municipal pela política urbana desenvolvida no Novo Centro?”

Esta questão talvez seja a que melhor represente o pensamento do universo da população pesquisada. Tentamos quantificar a avaliação da administração municipal, feita pela população, com respeito à política urbana desenvolvida no Novo Centro.

A média geral de 6,58% obtida pareceu-nos um tanto baixa, pois essa média reflete mais a falta de informações da população do que sua avaliação pessoal propriamente dita. Uma política voltada exclusivamente para a sociedade, com participação ativa de seus representantes, torna a

mesma mais cristalina e transparente, facilitando sua avaliação pela população.

CONCLUSÕES

Apesar de contar com um orçamento vultoso, um dos mais volumosos entre as cidades interioranas brasileiras, Maringá ainda tem muito por fazer, principalmente, em sua área urbana, onde se concentra quase que toda sua população. A área territorial do município não é grande e já se fala na emancipação de Iguatemi, um de seus dois distritos.

Assim, todas as fases do desenvolvimento da política de reestruturação do centro da cidade, aqui apontadas em nível de governo local, só serão factíveis numa correlação de forças favorável, com participação democrática nas negociações entre os agentes que engendram a produção de políticas urbanas.

Nenhuma legislação, mesmo se aprovada, devido às circunstâncias especiais, será implantada, contrariando interesses hegemônicos na política das cidades. Do mesmo modo, nenhuma lei, mesmo sendo auto-aplicável, garante justiça social e qualidade de vida, pela sua simples promulgação (Simpósio Nacional de Engenharia e Planejamento Urbano, 1989).

Os estudos sobre a política de reurbanização do centro de Maringá poderiam se estender por centenas de páginas, sem que se esgotasse o assunto. A complexidade das relações e interesses existentes, o envolvimento de grandes cifras em dinheiro, os fatores políticos e sociais, a mídia, a população etc.

São tantos fatores inter-relacionados que uma abordagem completa deveria ser feita sob a luz da Sociologia, Ciências Políticas, Geografia, Arquitetura, Urbanística, Engenharia, Economia, Administração, Direito, entre tantas outras áreas de conhecimento humano. Assim, apresentamos algumas considerações pertinentes:

- a) durante os processos de formulação e implantação de uma política urbana, mister se faz que a população, ou elementos representativos da mesma, tome parte na mesa de decisões, para se evitar surpresas como aquelas aqui relatadas. A falta de informações e/ou sonegação das mesmas podem refletir na baixa aceitação pela população a ser atendida das políticas urbanas desenvolvidas;
- b) a utilização da mídia, pelo poder público, para que possa surtir o efeito desejado, deverá ser feita em linguagem facilmente

assimilável pela maioria. Importante destacar que essa utilização deve ser feita com o intuito de esclarecer a população a respeito das políticas/projetos desenvolvidos, e nunca para auto-promoção ou propaganda enganosa;

- c) muitas vezes, os anseios da população não correspondem aos objetivos da administração pública. Este choque de interesses leva, inevitavelmente, a críticas e protestos, que podem dificultar a realização de determinadas políticas urbanas. Bom senso e atenção para estes anseios ajudam a dissipar parte da inércia do *status quo* e otimizar a aplicação de recursos públicos;
- d) a utilização de métodos administrativos, claros e idôneos, por parte da administração municipal, acaba gerando, naturalmente, uma atenção positiva dos órgãos de imprensa e formadores de opinião, refletindo aqui na população em geral. Opiniões positivas, isentas de parcialidade, ajudam em muito a execução das políticas urbanas;
- e) a participação de pessoas esclarecidas em determinados pontos da política urbana, como representantes do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Crea), Instituto dos Arquitetos do Brasil/Seção Regional (IAB), Sindicato da Indústria da Construção Civil/Seção Regional (Sinduscon), Associação de Engenheiros e Arquitetos, Clubes de Engenharia e Arquitetura, universidades e centros de pesquisa, entre outros, auxiliariam de duas maneiras: primeiro, pela participação de mais pessoas tecnicamente capazes na realização/formulação destas políticas; segundo, pelo envolvimento de um número maior de pessoas representando a sociedade como um todo. Consegue-se, assim, uma maior “cumplicidade” e divisão de responsabilidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às engenheiras civis Joclei T. Tozetto Menon, Diretora Técnica/Administrativa da Urbamar e Inako Kubota, chefe da Divisão de Modernização Administrativa e Controle de Qualidade da Prefeitura municipal de Maringá, pelo fornecimento de informações constantes neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACKMAN, T. *Urban policy in practice*. Londres: Routledge, 1995.
- DE ANGELIS NETO, G. & DE ANGELIS, B.L.D. *A Reestruturação do Centro de Maringá/PR*. São Paulo: Epusp, 1995./Apresentado ao Seminário de Pós-Graduação, na disciplina de Política Urbana: Formulação, Implantação e Avaliação. Digitado.
- ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, (3.: 1989, Águas de São Pedro). *Anais...* São Paulo: Anpur, 1989.
- FERRARI, C. *Curso de planejamento municipal integrado: urbanismo*. 7.ed. São Paulo: Pioneira, 1991.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Censo demográfico*. Rio de Janeiro, 1991.
- RIBEIRO, L.C.Q. & SANTOS JR, O.A. (Coord.) *Globalização, fragmentação e reforma urbana: o futuro das cidades brasileiras na crise*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1994.
- SIMPÓSIO NACIONAL DE ENGENHARIA E PLANEJAMENTO URBANO, (2.: 1989: São Paulo). *Planos diretores*. São Paulo: Edusp, 1989.
- TEIXEIRA, H.J. & SANTANA, S.M. *Remodelando a gestão pública*. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.
- WALT, G. *Health policy: an introduction to process and power*. Londres: Zed Books, 1994.

CONSULTORES DO VOLUME 18 DA REVISTA UNIMAR

O Conselho Editorial da Revista UNIMAR agradece aos pesquisadores abaixo relacionados por terem atuado como consultores dos artigos publicados no Volume 18, 1996.

Adail Victorino Castilho	USP-São Paulo-SP
Adelita Aparecida Sartori Paoli.....	Unesp-Rio Claro-SP
Alberto de Carvalho Peret	UFSCar-São Carlos-SP
Alécio Vidor.....	UFSM-Santa Maria-RS
Alice Cavalheiros Melo Espindola.....	UFA-Maceió-AL
Alvacir dos Santos Bahls.....	UEM-Maringá-PR
Álvaro José Periotto	UEM-Maringá-PR
Amilcar Arandas Rego	Fiocruz-Rio de Janeiro-RJ
Anna Emília Amato de Moraes Vazzoler.	UEM-Maringá-PR
Antonio Claudio Furlan.....	UEM-Maringá-PR
Antonio de Pádua Carobrez.....	UFSC-Florianópolis-SC
Antonio Enedi Boareto	USP-Piracicaba-SP
Antonio Ricardo Evangelista	UFLA-Lavras-MG
Ataliba Teixeira de Castilho.....	Unicamp-Campinas-SP
Beatriz Monte Serrat Prevedello	UFPR-Curitiba-PR
Berenice Quinzani Jordão	UEL-Londrina-PR
Carlos de Sousa Lucci	USP-Pirassununga-SP
Celso Augustinho Dalagnol	Epagri-Lages-SC
Celso Luiz Cardoso	UEM-Maringá-PR
Celso Nakamura	UEM-Maringá-PR
Claudio Angelo Agostinho.....	Unesp-Botucatu-SP
Cyro Fulvio Zinsly	Unesp-Piracicaba-SP
Dalcio Ricardo de Andrade.....	Uenf-Campos dos Goytacazes-RJ
Disnei Antonio Gonçalves	Unesp-Botucatu-SP
Divair Maria Terna Gomes.....	Unioeste-Cascavel-PR
Edison Schalch	USP-Pirassununga-SP
Eduardo Basto de Albuquerque.....	Unesp-Rio Claro-SP
Eduardo Yázigi.....	USP-São Paulo-SP
Elias Boaventura	Unimep-Piracicaba-SP
Elisa Yoko Kirooka.....	UEL-Londrina-PR

Erasmus Renesto.....	UEM-Maringá-PR
Erivelto Goulart.....	UEM-Maringá-PR
Erlei Melo Reis.....	UPF-Passo Fundo-RS
Erotilde Goreti Pezatti.....	Unesp-S.J.R. Preto-SP
Eunice L. Chaplin.....	UFRGS-Porto Alegre-RS
Flávio Finardi Filho.....	USP-São Paulo-SP
Francisco Herrero.....	UEM-Maringá-PR
Gentil Vanini de Moraes.....	UEM-Maringá-PR
Geraldo Barbieri.....	USP-São Paulo-SP
Geraldo Tadeu dos Santos.....	UEM-Maringá-PR
Gil Miguel de Sousa Camara.....	USP/Esalq-Piracicaba-SP
Hélio de Castro Bezerra Gurgel.....	UFRGN-Natal-RN
Heloísa Maria Godinho.....	IP-São Paulo-SP
Henrique Manuel Avila.....	UEL-Londrina-PR
Heraldo César Gonçalves.....	Unesp-Botucatu-SP
Horácio Ferreira Júlio Júnior.....	UEM-Maringá-PR
Humberto Milani.....	UEM-Maringá-PR
Iacy Draetta.....	ITA-Campinas-SP
Issa Chaibem Jabur.....	UEM-Maringá-PR
Ismar Sebastião Moscheta.....	UEM-Maringá-PR
Isabel Cristina M. dos Santos.....	UEM-Maringá-PR
Ivo Neitzel.....	UEM-Maringá-PR
Izabel de Fátima Andrian.....	UEM-Maringá-PR
Jean Vincent Marie Guhur.....	UFMS-Campo Grande-MS
Jesus Carlos Andreo.....	USP/FOB-Bauru-SP
João Batista Vida.....	UEM-Maringá-PR
João José Lachat.....	FMRP-Ribeirão Preto-SP
João Lima Sant'Anna Neto.....	Unesp-Presidente Prudente-SP
João Luis Cardoso T. Ceccantini.....	Unesp-Assis-SP
João Waine Pinheiro.....	UEL-Londrina-PR
Jorge Jim.....	Unesp-Botucatu-SP
Jorge Nozaki.....	UEM-Maringá-PR
José Eurico Possebon Cyrino.....	USP/Esalq-Piracicaba-SP
José Guilherme de Freitas.....	Unicamp-Campinas-SP
José Roberto Verani.....	UFSCar-São Carlos-SP
José Walter Pedroza Carneiro.....	UEM-Maringá-PR
Júlio Cezar Melatti.....	UB-Brasília-DF
Laura Regina Barbardes Kühl.....	UEL-Londrina-PR
Leila Nakati Coutinho.....	IB-São Paulo-SP

Leucio Câmara Alves	UFRP-Recife-PE
Liliam Dalete Soares de Araújo	UEL-Londrina-PR
Luciano Patto Novaes	CNPTEL-Juiz de Fora-MG
Luis Gonzaga de Carvalho	UFLA-Lavras-MG
Luiz Antonio de Souza	UEM-Maringá-PR
Luiz Carlos Forti	Unesp-Botucatu-SP
Luiz Lehmann Coutinho	USP-Piracicaba-SP
Luiz Roberto Velloso Cairo	Unesp-Assis-PR
Marcia Regina Brochetto-Braga	Unesp-Rio Claro-SP
Margarida Fumiko Ito	IAC-Campinas-SP
Maria Clara Bonetti Paro	Unesp-Araraquara-SP
Maria Do Carmo Lourenço Haddad	UEL-Londrina-PR
Maria Goreti de Almeida Oliveira	UFV-Viçosa-MG
Maria Lúcia L. Maretti	Unesp-Assis-SP
Maria Suelly Pagliarini	UEM-Maringá-PR
Marta Moraes da Costa	UFPR-Curitiba-PR
Marta Pinheiro	UFPR-Curitiba-PR
Marta Tavares D'agosto	UFJF-Juiz de Fora-MG
Massuka Yamane Narahara	IP-São Paulo-SP
Mirian Santos Paiva	UFB-Salvador-BA
Modesto Florenzano	USP-São Paulo-SP
Mucio Silva Reis	UFV-Viçosa-MG
Nehemias Curvelo Pereira	UEM-Maringá-PR
Neri dos Santos	UFSC/EPS-Florianópolis-SC
Neuza Ceciliato de Carvalho	UEL-Londrina-PR
Newton Aquiles Von Zuben	Unicamp-Campinas-SP
Newton Castagnolli	Unesp-Jaboticabal-SP
Norma Segatti Hahn	UEM-Maringá-PR
Odilon Vidotto	UEL-Londrina-PR
Oscar Lermenn	UEL-Londrina-PR
Paulo de Figueiredo Vieira	Unesp-Jaboticabal-SP
Paulo Eduardo Pereira Leite	ICB-São Paulo-SP
Paulo Masiero	UFSCar-São Carlos-SP
Paulo Renato de Moraes	Inpe-São José dos Campos-SP
Raimundo José B. de Sampaio	UFPR-Curitiba-PR
Renato Paulo Chopard	ICB-São Paulo-SP
Ricardo Pereira Ribeiro	UEM-Maringá-PR
Roberto Barbosa Bazotte	UEM-Maringá-PR
Roberto Goiting	Unesp-Rio Claro-SP

Rodolfo Nascimento Kronka.....	Unesp-Jaboticabal-SP
Roger Josef Zemp.....	Unicamp-Campinas-SP
Ronaldo Dessimoni Carregal.....	Unesp-Jaboticabal-SP
Ronaldo Zucchi	Unesp-Ribeirão Preto-SP
Rosa Maria Gomes de Macedo	UEM-Maringá-PR
Rosângela Aparecida Dellosso Penteado...	UFSCar-São Carlos-SP
Rubens Sader.....	Unesp-Jaboticabal-SP
Sandra Camargo Pinto Ferraz Fabri	UFSCar-São Carlos-SP
Sérgio Carmona de São Clemente.....	UFF-Rio de Janeiro-RJ
Sidney Rosa Vieira.....	Unicamp/IA-Campinas-SP
Sigrid Paula M.L.S. Renaux.....	UFPR-Curitiba-PR
Silvana Marques de Araújo	UEM-Maringá-PR
Silvestre Rudolfo Böing	UEM-Maringá-PR
Solange Franci R. Yaegashi	UEM-Maringá-PR
Sonia Aparecida Lopes Benites.....	UEM-Maringá-PR
Tarso Bonilha Mazzotti	UFRJ-Rio de Janeiro-RJ
Tiemi Matsuo	UEL-Londrina-PR
Ulysses Cecato	UEM-Maringá-PR
Valdevino Soares de Oliveira.....	Unesp-Assis-SP
Vera Helena Gomes Wielewicki	UEM-Maringá-PR
Verônica Schmidt.....	UFRGS-Porto Alegre-RS
Vilma Mayumi Tachibana	Unesp-Presidente Prudente-SP
Wagner Lavezzo.....	Unesp-Botucatu-SP
Walter Antonio Boeger	UFPR-Curitiba-PR
Wolmar Aparecida Carvalho	Unesp-Presidente Prudente-SP
Witold Zuntrowicz	USP-São Paulo-SP
Yara Maria Aum Khoury	PUC-São Paulo-SP
Yoko Terada.....	UEM-Maringá-PR

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

1 - NORMAS GERAIS

A **REVISTA UNIMAR** é subdividida em quatro áreas de conhecimento: **Ciências Agrárias, Ciências Biológicas e da Saúde, Ciências Exatas e da Terra e Ciências Humanas e Sociais.**

1. A **REVISTA UNIMAR** publica artigos **originais** de pesquisa em qualquer área de conhecimento, em português ou em inglês.
2. Os artigos já publicados não serão considerados. Caso o artigo esteja sob consideração em qualquer outra revista científica, o fato deve ser informado pelo autor no ato da entrega.
3. A ortografia e o estilo, bem como os conceitos emitidos, são de responsabilidade do(s) autor(es).
4. Os artigos devem ser acompanhados de uma carta de encaminhamento, constando o endereço do autor responsável, bem como a área de conhecimento em que o artigo se enquadra.
5. Serão fornecidas, gratuitamente, ao autor responsável 20 separatas e um exemplar da revista.
6. Trabalhos de revisão e resenhas, quando bem elaborados e de grande interesse atual, poderão ser apresentados para julgamento.

2 - NORMAS PARA APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS

1. Os artigos devem ser digitados em espaço duplo, papel tamanho A4 (210mm x 297mm), e vir acompanhados de um disquete digitado em *Word for Windows* (versão 2.0 ou posterior). O artigo não deve exceder a 20 páginas, incluindo tabelas, gráficos, figuras e referências bibliográficas.
2. O texto deverá ter, preferencialmente, a seguinte estrutura: **introdução, desenvolvimento (materiais e métodos, resultados, discussão) e referências bibliográficas.**
3. O título, com no máximo 20 palavras, em português e em inglês, deve ser preciso e informativo.
4. Fornecer um título abreviado do artigo, com no máximo seis palavras.
5. Fornecer o nome completo dos autores e respectivos endereços. Usar símbolos diferentes para distinguir autores de diferentes instituições. Os

endereços devem vir em nota de rodapé, na primeira página. Indicar o autor responsável pelo recebimento de correspondências.

6. Os artigos deverão conter um resumo, com no máximo 150 palavras, em português e em inglês.
7. Palavras-chave (no máximo 6), em português e em inglês, retiradas do texto, devem ser apresentadas em ordem alfabética, após os resumos.
8. As ilustrações, quadros e tabelas, numeradas em algarismo arábico, com suas respectivas legendas devem vir em folhas separadas, porém inseridas no texto. Gráficos devem ser apresentados em disquete. Caso não seja possível, deverão ser desenhados com tinta preta em papel vegetal. Fotografias devem ser apresentadas em papel brilhante, em branco e preto. Ilustrações como figuras e gráficos, devem apresentar dimensões não superiores a 11,5cm de largura por 17,0cm de altura, incluindo a legenda, ou o dobro destas dimensões.
9. As citações literais no texto devem ser feitas pelo sobrenome do autor (em letras minúsculas), seguido do ano de publicação e página (Silva, 1981:36). Quando se refere a idéias de autores, coloca-se o sobrenome do autor (em letras minúsculas), seguido do ano de publicação (Ferreira, 1985). Quando houver dois autores, os nomes devem ser separados por “e”. Quando houver três ou mais autores, deve-se citar o primeiro autor seguido de *et al.*
10. As referências bibliográficas devem ser apresentadas em ordem alfabética e conter todos os dados necessários à sua identificação, conforme os exemplos abaixo:

Livro

SCHMIDT, G.D. *Handbook of Tapeworm Identification*. Florida: CRC Press, 1986.

Capítulo de Livro

RHOADES, M.M. Studies on the cytological basis of crossing over. In: PEACOCK, D.J. & BROCK, R.D. (ed.). *Replication and Recombination of Genetic Material*. Canberra: Australian Academy of Science, 1968. p. 229-241.

Dissertação/Tese

ACOSTA-ESPINOZA, J. *Variabilidade e associações genéticas entre caracteres de mandioca (Manihot esculenta Crantz) combinando policruzamentos e propagação vegetativa*. Piracicaba, 1984. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Artigos de Revista

RHOADES, M.M. & DEMPSEY, E. On the mechanism of chromatin loss induced by B chromosome. *Genetics*, 71(1):73-96, 1970.

BOTELHO, C., BARBOSA, L.S.G., SILVA, M.D. & MEIRELLES, S.M.P. Fluxo migratório de casos de malária em Cuiabá/MT, 1986. *Rev. Inst. Med. Trop.*, 30(2):212-220, 1988.

Anais de Congresso

SANTOS, H.P. dos & LHAMBY, J.C.B. Competição de cultivares de beterraba açucareira e forrageira (*Beta vulgaris* L.) em 1983. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DA BETERRABA AÇUCAREIRA, 3, 1984, Pelotas. *Anais...* Pelotas: EMBRAPA-UEPAE, 1985. p. 11-18.

Artigos de Jornais

COUTINHO, W. O paço da cidade retorna ao seu brilho barroco. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 6 mar. 1985. Caderno B, p. 6.

MINISTÉRIO proíbe fabricação e uso de agrotóxico à base de organoclorados. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 3 set. 1985. p. 25.

Revista
UNIMAR
Ciências Exatas e da Terra
Revista UNIMAR, Maringá 18(4)/96

SUMÁRIO

INFORMÁTICA

- Antonio Mendes da Silva Filho. An architectural analysis of the statemate design model for reactive systems.....* 653-679
- Sarajane Marques Peres e Tania Fatima Calvi Tait. Uma avaliação do processo de planejamento estratégico de sistemas de informação em empresas do mercado paranaense.....* 681-698

ESTATÍSTICA

- Terezinha Aparecida Guedes e Plinio Stange. Modelagem da média e da variabilidade de dados de experimentos industriais.....* 699-723
- Terezinha Aparecida Guedes e Plinio Stange. Procedimento de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos: problema-multicritério.....* 725-738
- Terezinha Aparecida Guedes e Plinio Stange. Procedimento de otimização no planejamento e controle da qualidade de produtos e processos: problema-bicritério.....* 739-756

QUÍMICA

- Elaine Trannin de Mello e Edmar Clemente. Thermostability of crude extract of peroxidase from pineapple* 757-763

ENGENHARIA QUÍMICA

- Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani e Fernando Palú. Síntese de redes de trocadores de calor com otimização da distribuição de área* 765-776

FÍSICA

- Jonas Teixeira Nery, Williams Cezar da Silva e Maria de Lourdes Orsini Fernandes Martins. Aspectos geográficos e estatísticos da precipitação do Estado do Paraná* 777-789

ENGENHARIA CIVIL

- Generoso De Angelis Neto e Bruno Luiz Domingos De Angelis. A reestruturação do centro de Maringá/PR.....* 791-808