SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito: 24.08.2001

Assinatura: _____

Métricas para hiperdocumentos Web: uma análise utilizando técnicas de aprendizado de máquina¹

Elisandra Aparecida Alves da Silva

Orientadora: *Profa. Dra. Renata Pontin de Mattos Fortes*

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP – São Carlos
Agosto/2001

¹ Trabalho realizado com o apoio financeiro da FAPESP (N.99/02042-3)

A Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Renata Pontin de Mattos Fortes

Profa. Dra. Maria Carolina Monard

Profa. Dra. Junia Coutinho Anacleto Silva

*A meus pais, por tudo que
sempre fizeram por mim.*

*A meu amor, Marcus, por
todo o apoio e compreensão.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por toda luz, proteção e força, pois sem tudo isso não poderia estar aqui e não conseguiria concluir mais esta etapa de minha vida.

A meus pais, por serem exemplos de amor e luta.

A meu amor, Marcus, obrigada por ser essa pessoa tão especial, carinhosa e amiga. Você sabe o quanto contribuiu para que eu chegasse até aqui.

A minha orientadora, Renata, obrigada pelos conselhos, pelas palavras de incentivo e por todo o apoio que me deu. Tenho certeza de que fez tudo com muito carinho e dedicação. À profa. Maria do Carmo Nicoletti, por ter contribuído com as primeiras idéias para o desenvolvimento deste trabalho.

À Maria Carolina, minha orientadora substituta, obrigada pela força e por tudo que me ensinou.

A meus irmãos, Dréa e Rafa, obrigada por todo amor e por serem essas pessoas tão especiais.

A minhas sobrinhas, Bianca e Luisa, obrigada pelo amor e por toda alegria que me proporcionam. Vocês são muito importantes para a madrinha.

A meus cunhados, Luis e Jaqueline, obrigada pelo carinho.

A meus queridos, Waldir, Terezinha e Gustavo, obrigada por me acolherem com tanto carinho.

A minhas amigas, Paula, Melina, Érika, Michele, Grazielle, Cris, Márcia, Tânia e Lu, obrigada por tudo!

Aos amigos Nelson, Giani, Gleise, Malu e Sheila que, mesmo longe, eu não poderia esquecer. Como foram bons aqueles momentos que passamos juntos, lembram da biblioteca da FOA?

Aos amigos Aline, Dani, Débora e Enzo, obrigada por toda ajuda e amizade.

Aos que me ajudaram na realização do trabalho: Claudinha, Chandler e Kleber.

A todos os colegas do LABES.

A todas as pessoas do ICMC.

À FAPESP, pelo auxílio concedido para realização deste trabalho.

Resumo

Com avanço da *World Wide Web* (WWW) ocorreu um aumento significativo em desenvolvimento de hiperdocumentos Web (*websites*). Esse desenvolvimento, no entanto, tem se mostrado sujeito a muitos “erros”, que em geral são atribuídos à manipulação de um grande número de nós e *links*. Tentando diminuir esses erros em potencial, muitos trabalhos têm proposto diferentes soluções para auxiliar a avaliação de hiperdocumentos e a aplicação de métricas se apresenta como uma possível abordagem, seguindo os preceitos de Engenharia de Software. Por sua vez, as métricas, em geral, são de difícil interpretação por parte dos *webmasters*. Assim, neste trabalho investigamos a abordagem de aplicação de métricas a *websites* contando com auxílio de técnicas de Aprendizado de Máquina (AM). Estas técnicas têm sido utilizadas em uma variedade de tarefas no contexto Web, tais como auxiliar os usuários em suas pesquisas, aprendizado relacionado aos interesses do usuário, extração de informações, entre outras. Este trabalho visa, através do suporte de técnicas de AM, auxiliar a abordagem de análise de métricas de *websites*.

Abstract

With the widespread of the World-Wide-Web there was a significant increase in development of Web hyperdocuments (websites). This development, however, has been shown to be an error-prone activity due to the manipulation of large amount of nodes and links. In order to reduce the errors, several essays have proposed different solutions to help evaluating hyperdocuments and according to Software Engineering theories, metrics usage can be an useful one. But the metrics generally are difficult to be understood by the webmasters. Thus, we propose an approach that considers metrics usage in websites regarding to the support of Machine Learning techniques. The techniques have been used in a variety of Web context tasks, including learning to assist users in searches, learning information extractors, learning user interests, and others. This work focuses on helping the analysis of website metrics using the support of Machine Learning techniques.

Índice

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO	3
CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DE SOFTWARE, DE HIPERMÍDIA E DE APLICAÇÕES WEB	4
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
2.2. QUALIDADE DE SOFTWARE	4
2.3. QUALIDADE HIPERMÍDIA	7
2.4. QUALIDADE DE APLICAÇÕES WEB	13
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
CAPÍTULO 3 - AS MÉTRICAS DE HIPERDOCUMENTOS ESTUDADAS	18
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
3.2. AS MÉTRICAS DE HIPERDOCUMENTOS ESTUDADAS	19
3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
CAPÍTULO 4 - A ABORDAGEM UTILIZADA PARA ANÁLISE DAS MÉTRICAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA	29
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	29
4.2. FERRAMENTA DB-LiOS	29
4.2.1. <i>Considerações sobre os dados coletados pela ferramenta DB-LiOS</i>	32
4.3. AS MÉTRICAS ESCOLHIDAS	34
4.3.1. <i>Métricas aplicadas a sites</i>	36
4.3.2. <i>Métricas aplicadas a páginas</i>	38
4.4. APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA AUXILIAR A ANÁLISE DAS MÉTRICAS	39
4.4.1. <i>Metodologia utilizada</i>	40
4.4.2. <i>Clusters versus Classes</i>	41
4.4.3. <i>Processo utilizado para Explicação dos Clusters</i>	42
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
CAPÍTULO 5 - O EXPERIMENTO REALIZADO UTILIZANDO A ABORDAGEM PROPOSTA	47
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	47
5.2. AS ETAPAS DO EXPERIMENTO	47
5.2.1. <i>Utilização da ferramenta DB-LiOS</i>	48
5.2.2. <i>Aplicação dos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas de sites e páginas</i>	48
5.2.3. <i>Utilização do Autoclass</i>	50

5.2.4. <i>Utilização do Inclass</i>	51
5.2.5. <i>Utilização do See5</i>	51
5.2.6. <i>Análise dos resultados</i>	51
5.3. CARACTERÍSTICAS DA INFRA-ESTRUTURA DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	53
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	55
6.1. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES	55
6.2. TRABALHOS FUTUROS	56
BIBLIOGRAFIA	58

Índice de Figuras

FIGURA 1. ETAPAS DO CICLO DE VIDA POR PROTOTIPAÇÃO EVOLUTIVA [FORTES, 1996]	11
FIGURA 2. PROCESSO PARA DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES WEB [PRESSMAN, 2000]	13
FIGURA 3. ÁRVORE DE REQUISITOS DE QUALIDADE PARA APLICAÇÕES WEB [PRESSMAN, 2000]	15
FIGURA 4. UM GRAFO REPRESENTANDO UM HIPERDOCUMENTO	19
FIGURA 5. MATRIZ DISTÂNCIA E MATRIZ DISTÂNCIA CONVERTIDA	20
FIGURA 6. UM HIPERDOCUMENTO WEB E SUA MATRIZ DE ADJACÊNCIA	35
FIGURA 7. ALGORITMO PARA OBTENÇÃO DA MATRIZ DE MÍNIMO CAMINHO	37
FIGURA 8. ALGORITMO DE ROBERT-FERLAND [SZWARCFITER, 1984]	37
FIGURA 9. UM DÍGRAFO E SUA MATRIZ DE MÍNIMO CAMINHO	37
FIGURA 10. METODOLOGIA UTILIZADA [MARTINS & MONARD, 2000]	41
FIGURA 11. CONJUNTO DE EXEMPLOS DE TREINAMENTO [MARTINS ET AL., 2001]	41
FIGURA 12. CONJUNTO DE EXEMPLOS DE TREINAMENTO VISTO PELO ALGORITMO DE <i>CLUSTERING</i> [MARTINS ET AL., 2001]	42
FIGURA 13. CONJUNTO DE EXEMPLOS DE TREINAMENTO AGRUPADOS EM <i>CLUSTERS</i> [MARTINS ET AL., 2001]	42
FIGURA 14. PROCESSO UTILIZADO PARA EXPLICAÇÃO DOS <i>CLUSTERS</i>	43
FIGURA 15. REGRAS EXTRAÍDAS PARA TODOS OS <i>SITES</i>	52

Índice de Tabelas

TABELA 1. PRESTÍGIO E PRESTÍGIO ABSOLUTO PARA O GRAFO DA FIGURA 4	22
TABELA 2. A INFORMAÇÃO FORNECIDA POR DB-LIOS	34
TABELA 3. OS <i>SITES</i> UTILIZADOS NO EXPERIMENTO	48
TABELA 4. ALGUMAS PÁGINAS E VALORES PARA AS MÉTRICAS DE PÁGINAS DO <i>SITE</i> NÚMERO 1	49
TABELA 5. OS VALORES OBTIDOS PARA AS MÉTRICAS DE <i>SITES</i>	49
TABELA 6. UM DOS RESULTADOS DO <i>AUTOCLASS</i>	50
TABELA 7. RESULTADO DO <i>INCLASS</i>	51
TABELA 8. EXPERIMENTO COM TODOS OS <i>SITES</i> – RESUMO DOS RESULTADOS	52

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Contexto

O avanço da WWW¹ propiciou um aumento significativo em desenvolvimento de hiperdocumentos (*websites*)². Devido à natureza dinâmica das alterações das informações e da quantidade de informação a ser processada, o projeto e a manutenção dos hiperdocumentos se apresentam como atividades bastante custosas que, se não abordadas sistemática e cuidadosamente, podem causar problemas em relação à qualidade do serviço de disponibilização de informações.

O projeto de *websites* não é um processo totalmente bem definido [Fortes & Nicoletti, 1997a], e são muitos os aspectos, relacionados à produção de um “bom” hiperdocumento, que devem ser considerados. Entre eles, especial atenção deve ser dada à diversidade de usuários e de domínios de informação. Visto que o projeto de *websites* possibilita maneiras alternativas de se organizar informações e que essas alternativas devem atender a uma variedade de requisitos de seus diversos usuários, não existem regras definitivas a serem seguidas que garantam um projeto do melhor hiperdocumento. A inexistência de alguma regra que pudesse ser considerada para se avaliar o hiperdocumento, durante seu processo de desenvolvimento, traz dificuldades à tarefa de autoria; tais dificuldades perduram e muitas vezes se agravam durante a manutenção. Por sua vez, essas dificuldades se mostram como possíveis razões para a existência de tantos hiperdocumentos de pouca qualidade, especialmente considerando-se sua organização estrutural.

Algumas propriedades de hiperdocumentos, identificadas em [Thistlewaite, 1995], que podem ser verificadas para identificar estruturas de hiperdocumentos mal projetadas são: falta de consistência na criação de *links*, que ocorre quando mais de uma pessoa cria *links* manualmente [Ellis et al., 1994]; falta de *links* entre conteúdos de informação que o usuário espera que estejam relacionados; existência de *links* entre conteúdos de informação que o usuário não espera que estejam relacionados; e dificuldade de manutenção.

¹ WWW (World Wide Web) será doravante referenciada por Web nesta dissertação.

² Neste trabalho, hiperdocumentos Web, aplicações hipermídia desenvolvidas na Web, *websites* e *sites* são termos utilizados indistintamente.

Devido à flexibilidade na criação/atualização de *links* em hiperdocumentos da Web e aos problemas associados com suas estruturas mal projetadas, neste trabalho investigamos propriedades de *links* que possam ser classificadas. Assim, como resultado dessa classificação, um *feedback* é fornecido para análise pelos *webmasters*, durante a autoria e manutenção de hiperdocumentos.

O *feedback* desenvolvido neste trabalho se refere ao resultado da aplicação de métricas de hiperdocumentos, propostas na literatura, e outras por nós sugeridas, a *websites*. Segundo [Mendes et al., 2001], métricas podem ser usadas para avaliar a qualidade e o desenvolvimento de *websites*, assim como para obter *feedback* de maneira a auxiliar o entendimento, controle, melhorias, e prognósticos sobre tais produtos e processos.

Nesse sentido, este trabalho propõe uma abordagem para auxiliar a análise dos valores obtidos a partir de métricas de *websites*. As métricas utilizadas nessa abordagem se referem a um subconjunto de métricas propostas na literatura para analisar hiperdocumentos. Em especial, por serem métricas de difícil interpretação por parte dos *webmasters* e por terem sido definidas para hiperdocumentos em geral (não exclusivamente para *websites*), a abordagem conta com auxílio de técnicas de Aprendizado de Máquina.

Aprendizado de Máquina (AM) é uma subárea de Inteligência Artificial (IA) que pesquisa métodos computacionais relacionados à aquisição de novos conhecimentos, novas habilidades e novas formas de organizar o conhecimento já existente. Essa subárea de IA tem sido muito explorada no contexto Web [Craven & Slattery, 2001], [Craven et al., 2000], [Pazzani & Billsus, 1997], visto que a Web fornece um domínio muito interessante para uma variedade de tarefas de AM, incluindo auxiliar os usuários em suas pesquisas, aprendizado relacionado aos interesses do usuário, extratores de informação, e outros.

1.2. Objetivos

Diversas métricas para avaliação de hiperdocumentos têm sido propostas, mas pouca avaliação experimental e acompanhamento de seus valores foram realizados até o momento. Análises realizadas nesse sentido podem contribuir para uma melhoria ou adequação na definição dessas métricas.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem para auxiliar a análise de métricas de hiperdocumentos Web, propostas na literatura e outras por nós sugeridas. Devido aos valores das métricas, na maioria das vezes, não serem de fácil interpretação, a abordagem utiliza técnicas de Aprendizado de Máquina para proporcionar melhor entendimento por parte dos *webmasters*. Com o diferencial de incorporar o suporte de AM de Inteligência

Artificial, a abordagem proposta, inicialmente caracterizada das áreas de Engenharia de Software e de Hipermídia, se configura interdisciplinar, do ponto de vista das Ciências da Computação. Adicionalmente, por meio de um experimento com dados reais de *websites* de universidades brasileiras, a abordagem é ilustrada.

1.3. Organização

Este trabalho está dividido em seis capítulos. Neste capítulo de Introdução foi descrito o trabalho de forma geral, com seus objetivos e motivações.

No Capítulo 2, uma visão geral de qualidade de software, qualidade hipermídia e, qualidade de aplicações Web são apresentadas.

No Capítulo 3 as métricas estudadas neste trabalho são descritas.

No Capítulo 4 a abordagem proposta para análise dos valores obtidos para as métricas é apresentada.

No Capítulo 5 o experimento realizado, aplicando a abordagem descrita no Capítulo 4, é relatado. E finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões.

Capítulo 2 - Qualidade de software, de hipermídia e de aplicações Web

2.1. Considerações Iniciais

Na década de 90 começaram a surgir trabalhos voltados para avaliação de hiperdocumentos. Nesta época, [Brown, 1990] destacou que o auxílio de ferramentas automáticas para avaliação de características inerentes ao hiperdocumento seria um suporte fundamental para a atividade humana de análise da qualidade de hiperdocumentos. Entretanto, Brown não indicou como e quais características deveriam ser obtidas.

Os paradigmas úteis e mais adequados para a tarefa de análise e avaliação da qualidade de hiperdocumentos poderiam então surgir a partir da experiência prática nas áreas de Engenharia de Software e de Métricas de Software, segundo [Hatzimanikatis et al., 1995].

Em trabalho mais recente, [Mendes et al., 2001] propõem que métricas sejam usadas para avaliar a qualidade e o desenvolvimento de aplicações Web, assim como para obter *feedback* de maneira a auxiliar o entendimento, controle, melhorias, e prognósticos sobre tais produtos e processos.

Por ser o tema mais amplo sobre o qual este trabalho foi realizado, este capítulo apresenta na Seção 2.2 uma visão geral de qualidade de software. Na Seção 2.3, o enfoque é na qualidade hipermídia e, na Seção 2.4, qualidade de aplicações Web.

2.2. Qualidade de Software

A Engenharia de Software é uma disciplina que aplica os princípios de engenharia com o objetivo de produzir software de alta qualidade a baixo custo. A qualidade do produto de software deve ser um objetivo constante do processo de desenvolvimento [Sanches et al., 2000].

Durante todo o processo de software, existem atividades que devem ser realizadas para assegurar que a qualidade seja mantida, bem como para que o produto final de software

tenha qualidade. A aplicação de métricas é uma dessas atividades e refere-se a: (a) obtenção de um conjunto de medidas do software para indicar a qualidade do produto, (b) avaliação da produtividade das pessoas que produzem o produto, (c) avaliação dos benefícios (em termos de produtividade e qualidade) derivados de novos métodos e ferramentas de engenharia de software, (d) formação de uma base para as estimativas e assim auxiliar na justificativa de pedidos de novas ferramentas ou treinamento adicional. No entanto, caracterizar um produto de software que possua qualidade depende ainda do *ponto de vista* que é considerado: do *usuário*, do *desenvolvedor* e do *gerente*.

Na visão do *usuário* o interesse fica concentrado principalmente no uso do software; na visão do *desenvolvedor*, a qualidade fica mais voltada às características internas do software; e na visão do *gerente*, a qualidade do produto não pode ser desvinculada dos interesses da organização.

Além disso, um outro fator que interfere na qualidade do produto de software é o *tipo da aplicação*, ou seja, o seu domínio de informação. É natural que para sistemas de tipos diferentes, como software básico, sistemas comerciais, sistemas de tempo-real, etc., a qualidade do produto seja avaliada por um conjunto de características com prioridades diferentes de um tipo de software para outro [Sanches et al., 2000].

Portanto, ao ser considerada a variedade possível de valores para esses fatores (pontos de vista e tipo da aplicação), pode-se perceber que alguns deles estão mais associados ao produto propriamente dito e outros ao processo de desenvolvimento. Convém ressaltar que mesmo aqueles naturalmente associados ao produto dependem fundamental e indiretamente do processo. Mas, de maneira geral, os estudos na área de qualidade de software têm sido realizados seguindo duas abordagens: qualidade do *produto software* e qualidade do *processo de software*.

Como qualidade do *processo de software* é difícil de ser colocada em prática, modelos de melhoria de processo propõem que *estratégias* sirvam como guia de orientação. Essas estratégias permitem que se compreenda o estado atual do processo, se desenvolva a visão do processo desejado, se estabeleça uma lista de ações necessárias à melhoria do processo, em ordem de prioridade, e que se gere um plano para acompanhar as ações e alocação de recursos para execução do plano [Sanches et al., 2000]. Vale observar que para se compreender o estado atual do processo, o mecanismo adotado é o de obtenção de medidas dos artefatos que são produzidos durante o mesmo.

Para se julgar a qualidade do produto software, segundo [Sanches et al., 2000], o estado da arte em tecnologia de software ainda não apresenta um esquema de descrição de seus atributos de qualidade bem definido e amplamente aceito. Mesmo proposições bem sucedidas, trazem dificuldades de aplicação devido aos muitos aspectos de qualidade. Como consequência, o comitê técnico da ISO/IEC continua realizando esforços no sentido de se desenvolver um consenso e encorajar a padronização em nível mundial de um modelo padronizado para qualidade do produto.

As primeiras tentativas de padronização surgiram em 1978 e em 1985 foi iniciado o desenvolvimento da Norma Internacional ISO/IEC 9126 - "*Information Technology - Software product evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use*", publicada em sua primeira versão em 1991 [ISO/IEC 9126]. A Norma NBR 13596 é uma tradução da norma ISO-IEC 9126, feita pela comissão de Estudos de Qualidade de Software do Subcomitê de Software do Comitê de Informática da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), publicada em agosto de 1996. Na NBR 13596 são listados os seis fatores que devem ser verificados em um software para que ele seja considerado um "software de qualidade". Esses fatores são:

- *Funcionalidade*: Conjunto de atributos que indicam a existência de um conjunto de funções e suas propriedades especificadas. As funções são as que satisfazem as necessidades explícitas ou implícitas.
- *Confiabilidade*: Conjunto de atributos que indicam a capacidade do software de manter seu nível de desempenho sob condições estabelecidas durante um período de tempo estabelecido.
- *Usabilidade*: Conjunto de atributos que indicam o esforço necessário para se poder utilizar o software, bem como o julgamento individual desse uso, por um conjunto de usuários. A usabilidade deve levar em conta os vários ambientes dos usuários que o software pode afetar, que pode abranger desde a preparação para uso até a avaliação dos resultados. A usabilidade, definida na Norma como um conjunto específico de atributos de um produto de software, é diferente do ponto de vista ergonômico, em que outras características como eficiência e eficácia também são considerados componentes de usabilidade.
- *Eficiência*: Conjunto de atributos que indicam o relacionamento entre o nível de desempenho do software e a quantidade de recursos usados, sob condições estabelecidas. Os recursos podem incluir outros produtos de software, hardware, materiais (por exemplo: papel para a impressora, discos flexíveis) e serviços de operação, manutenção ou suporte.

- **Manutenibilidade:** Conjunto de atributos que indicam o esforço necessário para fazer modificações especificadas no software devido a mudanças de ambiente, ou nos seus requisitos.
- **Portabilidade:** Conjunto de atributos que indicam a capacidade do software de ser transferido de um ambiente para outro. O ambiente pode incluir ambiente organizacional, de hardware ou de software.

Considerando-se que hipermídia enquadra-se como um tipo especial de software, esse conjunto de fatores de qualidade também deve ser considerado em sua avaliação de qualidade. No entanto, em função de características inerentes aos principais problemas relacionados ao produto hipermídia, os estudos aqui descritos foram orientados pela busca dos principais fatores de qualidade a serem prioritariamente observados.

Na próxima seção são apresentados os estudos realizados na área de qualidade hipermídia, considerando-se tanto avaliação do produto quanto avaliação do processo de desenvolvimento hipermídia.

2.3. Qualidade hipermídia

Hiperdocumento, ou aplicação hipermídia, trata-se de um produto de software com características bem estabelecidas: consiste basicamente de um conjunto de fragmentos de informação interligados, cada nó (*node*) é uma unidade de informação e a interligação (*link*) conecta esses nós de maneira arbitrária. A estrutura do hiperdocumento é a rede de nós e *links*. Quando essa rede é composta por muitos nós e *links*, os problemas típicos, constatados na literatura, que podem surgir durante a navegação são:

- **sobrecarga cognitiva:** que corresponde ao esforço e concentração exigidos do usuário devido à necessidade de se manter várias tarefas ou caminhos ao mesmo tempo [Conklin, 1987];
- **desorientação do usuário:** que ocorre devido à tendência do usuário de se perder na navegação pelo hiperdocumento [Halasz, 1988];
- **falta de coerência:** que se manifesta devido à dificuldade de identificação dos principais componentes do hiperdocumento; isso ocorre quando os autores não utilizam recursos para ajudar os usuários a identificarem esses componentes e a maneira com a qual eles constituem sua estrutura global [Thüring et al., 1995].

Em função desses problemas típicos relacionados ao produto hipermídia, diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de apresentar alternativas para minimizá-los.

Em especial, várias propostas de suporte à avaliação de hiperdocumentos mostram como os fatores de qualidade podem ser observados.

[Stotts et al., 1992] propuseram um método para avaliação de hiperdocumentos, avaliação esta baseada somente no comportamento dos *links*. Os autores enfatizam que a navegação, cujo componente básico é o *link*, é adequada quando são considerados a capacidade, características e os auxílios de navegação suportados pelo *browser* (navegador). Por exemplo: se um leitor navega para um nó que não possui nenhum *link* de saída, o único recurso disponível para continuar sua navegação é voltar à página anterior ou inicial através dos recursos do *browser*. O método proposto reduz a ênfase no *browser* e concentra-se na estrutura do hiperdocumento, e assim, contribui para uma verificação da qualidade contida na estrutura do hiperdocumento. O objetivo do método é analisar propriedades semânticas de um hiperdocumento verificando somente os *links*.

Para [Hatzimanikatis et al., 1995], os princípios para análise e avaliação da qualidade de hiperdocumentos podem ser adotados de forma similar aos da Engenharia de Software, a partir de Métricas de Software. Definem, dessa forma, um modelo de qualidade de hiperdocumento baseado nas idéias do modelo hierárquico **Fator-Critério-Métrica**³ (FCM), utilizado na área de Qualidade de Software.

A abordagem do modelo FCM consiste em identificar atributos-chave da qualidade de um produto de software, denominados **fatores de qualidade**. Os fatores são abstratos por natureza, assim como a própria qualidade, e devem ser posteriormente decompostos em atributos de nível mais detalhado, denominados **critérios de qualidade**. Cada fator pode ter qualquer número de critérios e cada critério pode afetar qualquer número de fatores.

Uma vez que os critérios de qualidade não são diretamente mensuráveis, um nível a mais de decomposição é necessário para a definição de **métricas** para cada critério. À medida que essa decomposição de fatores em critérios e desses em métricas procede, obtém-se variáveis mensuráveis em um determinado domínio. Observa-se que o FCM pode ser adaptado para ambientes diversos, pois diferentes fatores, critérios e métricas podem ser definidos, conforme o objetivo de qualidade estabelecido.

Os fatores de qualidade legibilidade e manutenibilidade de um hiperdocumento, bem como os critérios correspondentes, são considerados como prioritários por Hatzimanikatis et al.. Além deles, são apresentadas as métricas de estrutura que podem ser coletadas para subsidiar a avaliação desses critérios, as quais são computadas a partir do grafo que

³ Modelo de qualidade *Factor-Criteria-Metric* (FCM) de McCall 1977.

representa a estrutura do hiperdocumento. A maioria dessas métricas é derivada das métricas aplicadas a softwares.

O fator de qualidade **legibilidade** é um conceito que deve indicar a facilidade de se “ler” um hiperdocumento. Esse fator de qualidade representa o esforço requerido do usuário para “ler” o hiperdocumento, ou seja, para navegar sobre ele e entender a estrutura das idéias nele contidas. Algumas das questões importantes relacionadas a esse fator são:

- ‘O leitor pode facilmente ficar “perdido no hiperespaço”?’
- ‘Existem mapas ou outras facilidades disponíveis?’
- ‘O hiperdocumento está consistente?’, ou seja, as idéias contidas nos nós estão organizadas de forma coerente de modo a não possibilitar divergências.
- ‘Os conteúdos dos nós estão corretos e são facilmente compreensíveis?’

Manutenibilidade é o conceito associado à medida da dificuldade requerida para estender, modificar ou corrigir o hiperdocumento, num momento posterior à sua criação. Representa o esforço requerido de um autor para manter um hiperdocumento, que pode ter sido criado por outra pessoa. Questões importantes relativas à manutenibilidade são:

- ‘Existe documentação de projeto disponível?’
- ‘Existe, incluído no hiperdocumento, algum comentário do autor sobre a estrutura dos documentos?’
- ‘É fácil entender as intenções e o “estilo de autoria” do autor original?’

Hatzimanikatis et al. destacam também que há uma estreita relação entre navegação e manutenção. Quanto mais difíceis forem a navegação e a compreensão de um hiperdocumento, mais difícil será sua manutenção. Além disso, quando alguém deseja mudar ou estender um hiperdocumento, deve também ter conhecimento da maneira pela qual o autor original utilizou os efeitos de apresentação e de estrutura, bem como um bom entendimento da organização geral do hiperdocumento.

No trabalho de [Nanard & Nanard, 1995] a preocupação é com a qualidade do projeto do hiperdocumento. Dessa forma, a proposta se enquadra como uma contribuição para a *qualidade do processo* de desenvolvimento de hipermídia. Eles consideram que o desenvolvimento real de um hiperdocumento não segue apenas os passos de um método convencional de projeto, mas também um projeto mental. As etapas de um método convencional: modelagem de domínio, modelagem de navegação, projeto de interface, implementação e realização de testes. As etapas do projeto mental são: geração de material, organização e estruturação, reorganização e alteração e, avaliação.

Outro método para avaliação de *qualidade do processo* foi proposto por [Garzotto et al., 1995]. Conhecido como método de avaliação “Orientado a Projetos”, Garzotto et al. mostraram sua utilização em uma aplicação comercial (o software “*Art Galery*” da Microsoft). As cinco dimensões consideradas pelos autores para analisar uma aplicação hipermídia são: conteúdo, estrutura, apresentação, dinâmica e interação, conforme descritas a seguir:

- **Conteúdo:** refere-se ao tipo de informação que é incluída na aplicação. Esses tipos podem ser: mídia estática (como dados formatados – por exemplo: data, cadeias de caracteres, imagens e gráficos) ou mídia ativa (como vídeos, trilhas sonoras e animações). O conteúdo pode ser a dimensão mais importante na avaliação de uma aplicação hipermídia, mas para que seja feita, é necessário um especialista do domínio da aplicação, assim como um conhecimento profundo do perfil dos usuários finais e de suas atividades.
- **Estrutura:** refere-se à organização do conteúdo.
- **Apresentação:** refere-se a como o conteúdo e as funções da aplicação são mostrados aos usuários. Para apresentação da mídia estática somente uma exibição das informações (“*display*”) é necessária, mas no caso da mídia ativa é exigida uma elaboração melhor para que possa ser exibida (“*playing*”).
- **Dinâmica:** refere-se a como os usuários interagem com as informações e interagem através delas (por exemplo, o controle de uma mídia ativa).
- **Interação:** refere-se a verificação da funcionalidade da dinâmica da aplicação pela operação dos elementos da apresentação. Levando em consideração que a interação combina os fatores de dinâmica e apresentação, muitos autores consideram a interação como parte da dinâmica ou apresentação.

Esse método de avaliação “Orientado a Projeto” considera além das dimensões descritas, um subconjunto de critérios de avaliação, composto pelos seguintes atributos de qualidade:

- **Riqueza:** expressa a abundância de itens de informação e os caminhos disponíveis para se obtê-los.
- **Facilidade:** mede o grau de facilidade dos usuários acessarem as informações e o grau de entendimento das operações necessárias para conseguir este acesso.
- **Consistência:** regularidade da aplicação, em outras palavras significa avaliar a forma de tratamento de elementos com conceitos similares ou distintos.
- **Auto-evidência:** expressa a facilidade do usuário adivinhar o significado e o propósito das informações que são exibidas. Essas informações podem se referir ao conteúdo ou aos elementos de navegação.

- **Previsibilidade:** expressa a facilidade do usuário de prever o resultado de uma operação.
- **Legibilidade:** expressa todas as opiniões sobre a validade da aplicação e os autores também consideram que a legibilidade depende de todos os atributos descritos (riqueza, facilidade, consistência, auto-evidência e previsibilidade). O atributo legibilidade foi considerado como fator de qualidade por [Hatzimanikatis et al., 1995].
- **Reuso:** visa à reutilização de objetos e operações em diferentes contextos e para diferentes propósitos. Algumas razões pelas quais o reuso deve ser utilizado são: promover consistência e previsibilidade, diminuindo a sobrecarga cognitiva e apresentar o material sob diferentes perspectivas e pontos de vista, enriquecendo a aplicação. Além disso, o reuso possui outras vantagens originadas da Engenharia de Software, por exemplo: reduzir erros, esforços de desenvolvimento e minimizar espaço físico.

Mais recentemente, [Garzotto & Paolini, 1999] discutem os problemas de usabilidade nas aplicações hipermídia, bem como os esforços feitos no projeto da aplicação. Uma metodologia de avaliação foi então proposta e conta com duas idéias básicas que são: 1) Inspeção – avaliação da aplicação hipermídia por um *expert*, sem a interferência de usuários, 2) Executar essa inspeção eficientemente. Essas inspeções são feitas através de *patterns* de inspeção, que conta com diretrizes a serem consideradas pelo inspetor, quando diante de inconsistências e problemas de usabilidade.

[Fortes, 1996] propôs um modelo de ciclo de vida de prototipação evolutiva para hiperdocumento, apresentado na Figura 1. Esse ciclo de vida consiste de quatro etapas: Análise de Requisitos, Autoria, Exame para Avaliação e Reorganização. A ênfase no andamento das etapas é dada à abordagem evolutiva do produto hipermídia em desenvolvimento contínuo. Assim, após cada exame de avaliação, o hiperdocumento é melhorado (por meio de reorganização e autoria) e novas iterações prosseguem até a obtenção de um produto que tenha qualidade.

Figura 1. Etapas do Ciclo de Vida por Prototipação Evolutiva [Fortes, 1996].

A etapa de Análise de Requisitos engloba atividades como: identificação das necessidades de desenvolvimento da aplicação; identificação dos objetivos do hiperdocumento; análise de mercado e do usuário; levantamento das restrições gerais de software e de hardware; identificação do domínio de informações e de suas fontes; obtenção de permissão de uso de informações; levantamento e análise dos requisitos de navegação e análise de custo e benefício. É nesta fase que o modelo conceitual é elaborado, com as informações que estarão disponíveis no hiperdocumento.

Uma vez que o modelo conceitual esteja definido, passa-se para a etapa de autoria que consiste das seguintes tarefas: organização das informações (elaboração de um projeto) e criação de uma primeira versão do hiperdocumento com base no projeto criado. A reorganização por sua vez, consiste em reformular o hiperdocumento, atendendo os problemas encontrados na etapa de exame. Uma vez reorganizado o hiperdocumento, o mesmo entra no ciclo de melhoria contínua até obter o nível de qualidade desejado. A diferença entre a reorganização e a análise de requisitos, é que na análise não existe nenhum produto, enquanto que na reorganização o produto já se encontra criado e já passou por etapas de exame.

A etapa de exame é que dá suporte à avaliação de qualidade do hiperdocumento. Como já foi mencionado, para que haja uma avaliação da qualidade, devem ser identificados atributos observáveis para atender a todos os pontos de vista dos usuários do hiperdocumento, ou seja, os requisitos esperados por usuários e desenvolvedores. Vale ressaltar também que esses requisitos devem ser condizentes com o domínio da aplicação em questão.

Com base nesse ciclo de vida de prototipação evolutiva e sabendo da necessidade de um suporte para a avaliação que pudesse ajudar aos autores de hipermídia, [Fortes, 1996] propôs então uma avaliação com base na estrutura do hiperdocumento. Posteriormente, métricas relativas ao reuso de *links* foram definidas [Fortes & Nicoletti, 1999], [Fortes & Nicoletti, 1997a]. Para coleta de valores para essas métricas, foi desenvolvida a ferramenta LiOS [Fortes & Nicoletti, 1997b], que parcialmente serviu de base para os módulos computacionais que foram desenvolvidos neste trabalho.

Todos os trabalhos estudados foram propostos visando avaliação de hiperdocumentos durante o processo de desenvolvimento, levando-se em conta o produto sendo construído. Na próxima seção, por ser o alvo específico deste trabalho, são descritos os fundamentos da literatura sobre o tópico de qualidade de aplicações Web.

2.4. Qualidade de aplicações Web

O modelo de ciclo de vida proposto por [Fortes, 1996] para desenvolvimento hipermídia concentra-se especialmente nas atividades técnicas do processo. Mais recentemente [Pressman, 2000] apresentou um processo para desenvolvimento de aplicações Web, ilustrado na Figura 2, que inclui as atividades que complementam aquelas relacionadas exclusivamente a técnicas de produção de software. O processo engloba as seguintes atividades: Formulação, Planejamento, Análise, Engenharia, Geração de página e Teste, e Avaliação do Usuário.

Figura 2. Processo para desenvolvimento de aplicações Web [Pressman, 2000].

A atividade de Formulação permite que usuários e desenvolvedores estabeleçam um conjunto de objetivos comuns para a construção da aplicação e também identifica o escopo do esforço de desenvolvimento. A atividade de Planejamento estima custos de projeto, avalia os riscos associados ao esforço de desenvolvimento e define um cronograma de desenvolvimento.

A atividade de Análise estabelece os requisitos técnicos da aplicação e identifica os itens de conteúdo que serão incorporados à mesma. O escopo definido durante a Formulação é elaborado criando assim um modelo de análise completo da aplicação. Quatro diferentes tipos de análise são conduzidos durante essa atividade:

- Análise de conteúdo: o conteúdo completo da aplicação é identificado. O conteúdo inclui textos, gráficos e imagens, vídeos e áudio.

- **Análise de Interação:** o modo no qual o usuário pode interagir com a aplicação é descrito detalhadamente.
- **Análise Funcional:** os cenários de uso criados como parte da Análise de Interação que definem as operações aplicadas ao conteúdo e outras funções de processamento são utilizados e todas as operações e funções são descritas nesta atividade.
- **Análise de Configuração:** o ambiente e infra-estrutura da aplicação são descritos em detalhes.

A atividade de Engenharia incorpora duas tarefas paralelas: Projeto de conteúdo e Produção. O objetivo dessas tarefas é projetar, produzir e adquirir todo o conteúdo de texto, gráfico, áudio e vídeo que serão integrados à aplicação. Ao mesmo tempo, o seguinte conjunto de atividades técnicas é conduzido:

- **Projeto Arquitetural:** Definição da estrutura da aplicação
- **Projeto Navegacional:** Definição dos caminhos que possibilitam ao usuário acessar o conteúdo e serviços da aplicação
- **Projeto de Interface:** A interface oferecida aos usuários é definida.

Geração de página é uma atividade de construção que faz uso de ferramentas automatizadas para criação da aplicação. O conteúdo definido na atividade de Engenharia é combinado aos projetos arquitetural, navegacional e de interface para produzir páginas executáveis. Os testes são realizados para descobrir erros de função e conteúdo, e ajudar a garantir que a aplicação funcionará corretamente em diferentes ambientes (diferentes *browsers*).

Vale ressaltar que a cada etapa do desenvolvimento, os resultados são avaliados pelo usuário. As mudanças são solicitadas e integradas às próximas etapas do processo incremental. Dessa forma, a preocupação com avaliação é uma premissa constante do desenvolvimento.

Segundo [Olsina et al., 1999], apesar de avaliação de software ter mais de três décadas como disciplina, a avaliação de qualidade de aplicações hipermídia e em particular de *websites* é uma questão recente e tem sido freqüentemente negligenciada. Somente nos últimos três anos, surgiram avaliações específicas ao domínio [Lohse & Spiller, 1998], [Nielsen, 2001]. Entretanto, nesta direção, ainda faltam métodos, modelos e ferramentas de avaliação baseados em engenharia, flexíveis e bem definidos, para auxiliar o processo de avaliação de requisitos de qualidade de aplicações Web.

Figura 3. Árvore de requisitos de qualidade para aplicações Web [Pressman, 2000].

Com essa preocupação, [Olsina et al., 1999] definiram uma “árvore de requisitos de qualidade”, apresentada na Figura 3, que identifica um conjunto de características que podem servir para verificar se uma aplicação é de alta qualidade e fornecer uma base para que aplicações de qualidade sejam construídas.

[Pressman, 2000] considera como características mais relevantes para aplicações Web, as mesmas de Olsina et al.. Segundo Pressman, essas características fornecem uma base significativa para avaliar a qualidade de aplicações Web. Observa-se que a árvore de requisitos de qualidade somente não contempla o 6º fator, “portabilidade”, que é considerado na norma NBR 13596. Como as aplicações Web em geral se configuram como “independentes de plataforma de hardware”, a portabilidade não foi explicitada. Os demais fatores são apresentados, juntamente com suas decomposições específicas relacionadas ao que deve ser observado como possíveis critérios de qualidade.

No trabalho de [Henzinger, 2001] é apresentado um algoritmo para julgar a qualidade de páginas Web a partir de uma análise de *links*. Henzinger considera que páginas apontadas por muitas outras páginas são de maior qualidade do que páginas apontadas por poucas páginas. Isso significa que o número de *links* que apontam para uma dada página pode ser usado para medir sua qualidade. No algoritmo (utilizado por *Search Engines*), a medida de

qualidade é proporcional à qualidade das páginas que apontam para a página sendo avaliada, se para a obtenção da medida fosse verificado apenas o número de páginas que apontam para a página em avaliação, ficaria fácil aumentar a qualidade da página criando quaisquer outras páginas e inserindo *links* nessas páginas para a página em avaliação. Como o algoritmo também verifica a qualidade das páginas apontando para a página sendo avaliada, essa possibilidade fica descartada.

2.5. Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as características de qualidade de software, de hipermídia e de aplicações Web. Pode-se observar que são muitos os aspectos que devem ser considerados para a produção de um produto de qualidade e que esses aspectos tanto se relacionam ao processo quanto ao tipo do produto (software, hiperdocumento ou mesmo *website*).

Entre os diversos aspectos que qualificam um *website*, durante uma avaliação, um ponto que ainda é pouco mencionado se refere à diversidade tanto de usuários como de domínios de informação. Já na década de 90, os primeiros esforços para avaliação de hiperdocumentos foram propostos por [Brown, 1990], quando foi destacada a necessidade de ferramentas automáticas para avaliação de características inerentes ao hiperdocumento para auxiliar a atividade humana de análise da qualidade de hiperdocumentos. Outros esforços [Hatzimanikatis et al., 1995], posteriormente relatados, indicaram que a experiência prática nas áreas de Engenharia de Software e de Métricas de Software seria útil para a tarefa de análise e avaliação da qualidade de hiperdocumentos.

A utilização de métricas, segundo [Mendes et al., 2001], é uma abordagem apropriada para avaliar a qualidade e o desenvolvimento de aplicações Web, assim como para obter *feedback* de maneira a auxiliar o entendimento, controle, melhorias, e prognósticos sobre tais produtos e processos.

Por ser o tema mais amplo sobre o qual este trabalho foi realizado, este capítulo apresentou inicialmente uma visão geral de qualidade de software. A seguir, foi descrita qualidade de hipermídia e, finalmente, a qualidade de aplicações Web, que foram propostas na literatura. Neste trabalho, o objetivo foi analisar um conjunto de métricas de hiperdocumentos aplicadas a *websites*. Essas métricas, que podem ser utilizadas durante todas as fases de desenvolvimento do produto, foram aplicadas a *sites* existentes como atividade experimental, descrita no Capítulo 5.

De acordo com [Olsina et al., 1999] e [Pressman, 2000] a qualidade de aplicações Web, como “produto”, está mais relacionada às características de: Usabilidade, Funcionalidade, Confiabilidade, Eficiência e Manutenibilidade. Essas características podem ser então fatoradas de maneira a possibilitar que atributos específicos possam ser mensurados. Assim, nos concentramos em métricas objetivas em função de dados automaticamente coletados de *websites*. Neste trabalho de mestrado, especificamente, foram analisadas métricas de estrutura e de conteúdo.

No próximo capítulo, são apresentadas as métricas estudadas.

Capítulo 3 - As métricas de hiperdocumentos estudadas

3.1. Considerações Iniciais

De acordo com [Basili et al., 1994], métricas podem ser usadas para:

- i. Fornecer as bases para o planejamento de projeto
- ii. Determinar os pontos fortes e fracos dos processos e produtos atuais
- iii. Fornecer princípios para adoção/refinamento das técnicas
- iv. Avaliar a qualidade de processos e produtos específicos
- v. Avaliar o progresso de um projeto durante seu desenvolvimento
- vi. Tomar ações corretivas baseadas na avaliação
- vii. Avaliar o impacto da tomada de tal ação

Segundo [Hatzimanikatis et al., 1995], métricas podem ser usadas para entender o processo de autoria hipermídia que visa a construção de vários produtos, tais como, uma especificação, um projeto e uma aplicação hipermídia. O entendimento do processo pode contribuir para seu controle e melhoria. As métricas durante o desenvolvimento de hipermídia têm os seguintes propósitos:

- i. Predizer e planejar as próximas fases de um projeto de autoria hipertexto, especialmente teste e manutenção.
- ii. Identificar, durante a fase de autoria, as partes de um hiperdocumento que são muito complexas ou mal estruturadas.
- iii. Servir como componente de um modelo de qualidade

Neste capítulo são apresentadas métricas de qualidade de hiperdocumentos encontradas na literatura, que foram estudadas em mais detalhes. Essas métricas foram analisadas de forma a auxiliar a seleção de quais poderiam ser implementadas neste trabalho. As razões que determinaram essa seleção são apresentadas no Capítulo 4.

3.2. As métricas de hiperdocumentos estudadas

As primeiras métricas automatizadas para hiperdocumentos foram propostas por [Botafogo & Shneiderman, 1992]. Elas se baseiam na aplicação de técnicas baseadas em grafos para a obtenção das medidas relativas às métricas de **Compactação** e **Estratificação** [Botafogo & Shneiderman, 1992], que podem ser usadas em uma análise estrutural. De acordo com [Garzotto et al., 1995] as cinco dimensões consideradas pelos autores para analisar uma aplicação hipermídia são: conteúdo, estrutura, apresentação, dinâmica e interação.

Compactação é uma métrica desenvolvida para refletir quão conectada é a estrutura do hiperdocumento.

Definição 1 Seja H um hiperdocumento representado pelo grafo $G=\langle N,L \rangle$, onde N é o conjunto de nós ($|N|=n$) e L o conjunto de links. A matriz distância de H é a matriz $A_{n \times n}$ onde:

$a_{ij}=\infty$ (se o nó i não pode ser alcançado pelo nó j) ou

$a_{ij}=\min$ (onde $\min$ é o mínimo caminho de i a j)

Figura 4. Um grafo representando um hiperdocumento.

Na prática, os valores infinitos são substituídos por um número K (constante de conversão), resultando na **matriz distância convertida**. É comum escolher K como o número de nós do hiperdocumento. De acordo com [De Bra, 2000] não é possível executar cálculos simples como tomar a média dos valores na matriz distância devido à ocorrência de ∞ . Dessa forma, para obter resultados significativos (ou no mínimo finitos), ∞ pode ser substituído por um valor chamado constante de conversão. Para evitar interferência entre essa constante e os valores finitos existentes na matriz distância, a constante de conversão precisa ser maior do que o tamanho máximo do caminho mais curto entre dois nós. Por esta razão o número de nós é utilizado.

Por exemplo, a matriz distância e a matriz convertida do hiperdocumento representado pelo grafo apresentado na Figura 4 são apresentadas na Figura 5.

Figura 5. Matriz distância e matriz distância convertida.

	a	b	c	d	e	f	g
a	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
b	2	0	1	2	2	2	3
c	3	∞	0	∞	1	1	2
d	1	∞	∞	0	∞	∞	∞
e	1	∞	1	1	0	2	3
f	2	∞	∞	∞	∞	0	1
g	1	∞	∞	∞	∞	∞	0

	a	b	c	d	e	f	g
a	0	7	7	7	7	7	7
b	2	0	1	2	2	2	3
c	3	7	0	7	1	1	2
d	1	7	7	0	7	7	7
e	1	7	1	1	0	2	3
f	2	7	7	7	7	0	1
g	1	7	7	7	7	7	0

Definição 2 Seja H um hiperdocumento representado pelo grafo $G=\langle N,L \rangle$, onde N é o conjunto de nós ($|N|=n$), L o conjunto de links e sua matriz distância convertida é $A'_{n \times n}$. A **compactação** de H é definida por:

$$\text{Compactação} = \frac{(\text{Max} - \text{Soma})}{(\text{Max} - \text{Min})}$$

onde:

$$\text{Soma} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a'_{ij}$$

$$\text{Max} = (n^2 - n) * K$$

$$\text{Min} = (n^2 - n)$$

$a'_{ij} = K$ (se o nó i não pode ser alcançado pelo nó j) ou

$a'_{ij} = \min$ (onde $\min$ é o mínimo caminho de i a j)

Quando todo nó em um hiperdocumento é isolado, todo elemento a'_{ij} na matriz distância convertida é igual a K (o máximo valor que um elemento pode assumir na matriz distância convertida) para $i \neq j$. Isso significa que a matriz terá $(n^2 - n)$ elementos iguais a K , conseqüentemente $\text{Max} = (n^2 - n) \cdot K$. O valor mínimo de Soma será atingido quando todo nó é conectado aos outros. Quando isso acontece, todo elemento na matriz distância convertida é igual a 1 e, conseqüentemente, Min será igual a $(n^2 - n)$. No exemplo anterior,

$$\begin{aligned}
 \text{Compactação} &= [((7^2 - 7) * 7) - 198] / [(7^2 - 7) * 7 - (7^2 - 7)] \\
 &= (294 - 198) / (294 - 42) \\
 &= 96 / 252 \\
 &= 0.381.
 \end{aligned}$$

Se cada nó do grafo é diretamente conectado a todos os outros, a compactação será 1. Por outro lado, se um grafo possui apenas nós isolados terá compactação igual a 0. Botafogo considera que uma compactação de 0.5 sugere uma estrutura bem conectada mas, obviamente, isso depende do tipo de hiperdocumento que está sendo medido.

Estratificação é uma métrica usada para capturar a ordenação linear do hiperdocumento. Essa métrica reflete as escolhas de navegação do usuário enquanto navega no hiperdocumento. Dependendo do modo como o hiperdocumento é construído, os usuários terão acesso a uma estrutura mais ou menos flexível de navegação. Um hiperdocumento estratificado não permite muita flexibilidade durante a navegação, ou seja, fornece um modo estratificado ou hierárquico de navegação. Um hiperdocumento com uma alta estratificação indica que os usuários não têm muita escolha e, conseqüentemente, têm menor possibilidade de sofrer com o problema de desorientação. Por outro lado, uma baixa estratificação sugere que o número excessivo de *links* que o usuário possa escolher pode causar desorientação ao usuário [Fortes & Nicoletti, 1999].

Definição 3 [De Bra, 1999] Seja H um hiperdocumento representado pelo grafo $G = \langle N, L \rangle$, onde N é o conjunto de nós ($|N| = n$), L é o conjunto de links, e seja $d(u, v)$ a distância mínima do nó u para o nó v na matriz distância. Então

- A_i é a soma das distâncias finitas $d(i, v)$ para todo v . Ou seja, A_i é a soma das entradas finitas nas i -ésimas linhas da matriz distância. A_i é chamado "status" do nó i .
- B_i é a soma das distâncias finitas $d(u, i)$ para todo u . Ou seja, B_i é a soma das entradas finitas nas i -ésimas colunas da matriz distância. B_i é chamado "contrastatus" do nó i .
- A distância total é a soma de todas as distâncias finitas.

O prestígio do nó i é dado por $A_i - B_i$. O prestígio total (soma de todos os prestígios) de um hiperdocumento é sempre 0. O prestígio absoluto (ou estratificação absoluta) é definido como a soma dos valores absolutos do prestígio de cada nó; seu valor obviamente aumenta com o tamanho do hiperdocumento. A Tabela 1 apresenta esses valores para o grafo da Figura 4. Um modo de normalizar o prestígio absoluto é compará-lo ao prestígio de um documento linear do mesmo tamanho. O prestígio absoluto linear (*Linear Absolute Prestige* -

LAP) de um hiperdocumento com n nós é o prestígio absoluto de um hiperdocumento linear com n nós, ou seja, se n é o número de nós, LAP é definido como [Papast, 1997]:

$$LAP = \begin{cases} n^3/4 & \text{se } n \text{ div } 2 = 0 \\ (n^3 - n)/4 & \text{se } n \text{ div } 2 = 1 \end{cases}$$

A estratificação de um hiperdocumento é definida como seu prestígio absoluto dividido por seu LAP. [De Bra, 2000] explica que essa métrica consiste da soma (dos valores absolutos) da soma das distâncias de um nó aos outros menos as distâncias desses nós para o nó. Esses números são também chamados de “prestígio absoluto” dos nós e a soma desses é o prestígio absoluto do hiperdocumento. Os fatores de normalização $n^3/4$ e $(n^3 - n)/4$ representam o prestígio absoluto de um documento linear, chamado prestígio absoluto linear (LAP), que é máximo.

Tabela 1. Prestígio e prestígio absoluto para o grafo da Figura 4.

	A_i	B_i	$Prestígio_i$	$ Prestígio_i $
<i>a</i>	42	10	32	32
<i>b</i>	11	42	-31	31
<i>c</i>	27	30	-3	3
<i>d</i>	36	31	5	5
<i>e</i>	15	36	-21	21
<i>f</i>	31	26	5	5
<i>g</i>	36	23	13	13

O prestígio absoluto do hiperdocumento, apresentado na Figura 4, é 110. Seu LAP é $(7^3 - 7)/4 = 84$ e a estratificação $110/84 = 1.31$. Infelizmente, até o momento, não há interpretação sobre os valores obtidos com essas métricas.

As métricas de Compactação e Estratificação apresentadas, respectivamente, visam indicar quão conectada é a estrutura do hiperdocumento e a ordenação linear do hiperdocumento.

Outras métricas foram propostas por [Hatzimanikatis et al., 1995], que consideraram os fatores de qualidade, identificados como legibilidade e manutenibilidade de um hiperdocumento. Os critérios correspondentes foram também definidos. Foram apresentadas as métricas de estrutura que podem ser coletadas para subsidiar a avaliação desses critérios, que podem ser computadas a partir do grafo que representa a estrutura do hiperdocumento. A maioria dessas métricas foi derivada das métricas aplicadas a softwares.

Como manutenibilidade e legibilidade não podem ser obtidos diretamente, esses fatores são decompostos em critérios de nível mais baixo, ou seja, são definidos atributos do hiperdocumento que podem ser mais facilmente medidos, além da relação de dependência

entre os fatores e seus correspondentes atributos. Os critérios são: **tamanho**, **complexidade do caminho**, **impureza da árvore**, **modularidade**, **complexidade individual do nó**, **coerência**, **complexidade do conteúdo dos nós** e **simplicidade**. A maioria dos critérios afeta ambos os fatores, manutenibilidade e legibilidade.

As métricas para os critérios de coerência, complexidade do conteúdo do nó e simplicidade não são discutidas em detalhes por Hatzimanikalis et al..

Coerência - possibilidade de fácil percepção de um estilo. Quando existe um estilo coerente de apresentação e estruturação, tornam-se mais claras a leitura e a navegação.

Complexidade do conteúdo dos nós - o tamanho do conteúdo do nó e a quantidade dos diversos tipos de informação, tais como gráficos ou imagens.

Simplicidade - quantidade de efeitos especiais ou botões de controle e o nível de facilidade para compreensão do conteúdo, da estrutura, e finalmente, do estilo do autor. Muitos efeitos especiais podem atrapalhar a leitura e desviar a atenção do conteúdo real do hipertexto. Além disso, é importante para um mantenedor entender o estilo do autor, para garantir a consistência durante a alteração do hipertexto.

Interessados em identificar as métricas possíveis de serem automatizadas, Hatzimanikalis et al. utilizam os critérios, focalizando sobre as métricas estruturais para tamanho, complexidade do caminho, impureza da árvore, modularidade e complexidade individual do nó. Para obtenção das medidas das métricas escolhidas são propostas as adequações de métricas de software:

1. Tamanho - o tamanho real do hipertexto. Quanto maior o hipertexto, maior a possibilidade de desorientação do leitor. Conseqüentemente, torna-se mais difícil compreendê-lo integralmente quando for preciso realizar alguma manutenção.

Para este critério pode ser aplicada a métrica de linhas de código, **LOC** (*lines of code*). Essa medida leva em consideração algumas quantidades básicas de um programa, definidas por [Halstead, 1977] como: n_1 (número de operadores únicos), n_2 (números de operandos únicos), N_1 (número total de operadores) e N_2 (número total de operandos). Com elas, pode-se calcular:

- Extensão de um programa $Ext = N_1 + N_2$,
- Vocabulário $Voc = n_1 + n_2$,

- Volume **Vol** = **Ext** x $\log_2$ **Voc**, que é definido como “o número de comparações mentais necessárias para se escrever um programa de extensão Ext”.

Ao contrário das outras métricas que serão apresentadas a seguir, a analogia para aplicação dessa métrica na obtenção do tamanho de um hiperdocumento não é direta, mas é sugerido que as **palavras-chave** que descrevem os nós e os **links** sejam consideradas como operadores e os conteúdos dos nós, as linhas de texto ou figuras sejam considerados como operandos.

2. Complexidade do caminho - o número de caminhos e ciclos do hiperdocumento. Um hiperdocumento quase linear é facilmente navegado e sua expansão é quase direta. A existência de muitos caminhos de navegação diferentes e um número excessivo de possíveis ciclos aumenta a sobrecarga cognitiva sobre o leitor.

Para este critério, as métricas Compactação e Estratificação propostas por [Botafogo & Shneiderman, 1992] poderiam ser utilizadas. No entanto, Hatzimanikatis et al. sugerem que as seguintes métricas da área de Engenharia de Software sejam consideradas:

- **número ciclomático** de um programa (**Ncycl**) cujo valor é baseado em seu grafo de controle e é usado para medir a complexidade de caminhos de programas. Este número é dado por:

$$Ncycl(G) = e - n + p$$

onde G é o grafo de controle com **n** vértices (nós), **e** arestas (*links*) e **p** componentes conexas.

Analogamente, com base no grafo de um hiperdocumento, pode-se obter o seu número ciclomático. No caso de um hiperdocumento estritamente linear, o seu número ciclomático será igual a 1; este número cresce proporcionalmente ao número de caminhos.

- **a medida da complexidade das estruturas de dados (CED)** definidas nos programas, que se baseia nos caminhos circulares que podem ser encontrados em um grafo e ao mesmo tempo indica o tamanho do grafo. Para seu cálculo, um multigrafo G é produzido a partir das dependências das estruturas de dados de um programa. Para cada componente K fortemente conexa do grafo é produzido um monômio (polinômio com um único termo) da seguinte forma:

$$CED(K) = (n + e)x^L$$

onde K possui n nós, e arestas e L caminhos circulares e x é a variável do polinômio.

Por analogia, a métrica pode ser aplicada ao grafo de um hiperdocumento. Deve-se observar que, nessa métrica, cada nó e aresta de um componente fortemente conexo aumentam sua complexidade, e o número de círculos (L , expoente do monômio) afeta ainda mais a ordem de magnitude da medida obtida.

3. Impureza da árvore - proporção de desvio do grafo do hiperdocumento quando comparado com uma estrutura do tipo árvore pura (que não possui ciclos). A estrutura de documentos tradicionais impressos é muito semelhante a uma estrutura de árvore pura e, geralmente, pode ser facilmente compreendida tanto pelos leitores como pelos mantenedores.

Para este critério, as métricas Compactação e Estratificação propostas por [Botafogo & Shneiderman, 1992] poderiam ser utilizadas. No entanto, Hatzimanikatis et al. sugerem a utilização de uma outra métrica da área de Engenharia de Software, a métrica de impureza da árvore [Fenton & Pfleeger, 1998].

Em Engenharia de Software, acredita-se que quanto maior o desvio da estrutura de um projeto em relação à estrutura de árvore pura, pior é o projeto [Kan, 1995]. [Fenton & Pfleeger, 1998] apresentam diversas propriedades que a métrica de impureza da árvore $MI(G)$, para um grafo G , deve satisfazer. Uma métrica satisfatória é dada pelo número de arestas que excedem a extensão da árvore do grafo G dividido pelo número máximo de arestas que excedem a extensão da árvore.

Sendo e o número de arestas (*links*) no grafo G e n o número de nós, então a **medida de impureza (MI)** do grafo G , representando o hiperdocumento, em relação a uma árvore é definida pela seguinte expressão:

$$MI(G) = \frac{2(e - n + 1)}{(n - 1)(n - 2)}$$

De fato, o grafo é comparado a um grafo completo com o mesmo número de nós. Essa métrica caracteriza precisamente a impureza da árvore do projeto de um sistema, bem como do projeto de um hiperdocumento.

De acordo com [Hatzimanikatis et al., 1995], o desvio de um grafo de um hiperdocumento da estrutura de uma árvore influencia na leitura do hiperdocumento. Navegação em hiperdocumentos estruturados como árvore sem referências cruzadas é muito mais fácil do

que em hiperdocumentos com muitas referências cruzadas. A estrutura de árvore lembra livros impressos. Um grau de impureza da árvore aceitável depende da aplicação. Os autores acreditam que aplicações tais como manuais *online* e livros têm um pequeno valor para a impureza da árvore.

4. Modularidade - quão fácil é a identificação das partes independentes no grafo que representa o hiperdocumento. Quando o hiperdocumento pode ser decomposto em partes menores, cada uma delas com objetivos claros, torna-se mais fácil adicionar novos nós e *links* e modificá-los para corrigir eventuais falhas. Além disso, a modularização é um critério valioso para a legibilidade do hiperdocumento, uma vez que um hiperdocumento bem projetado e estruturado facilita a navegação.

A seguinte métrica pode ser aplicada:

- **a complexidade do fluxo de informações (CFI)** de um programa (um módulo), dada por:

$$CFI = Ext (fanin \times fanout)^2$$

Para o cálculo dessa fórmula, devem ser obtidos os parâmetros *fanin* definido como o número de fluxos de informação que chegam ao módulo; os procedimentos que chamam o módulo e as estruturas de dados que o módulo lê e *fanout* definido como o número de fluxos de informação que deixam o módulo, os procedimentos que o módulo chama e as estruturas de dados que o módulo atualiza. Considera-se também que, quanto maior o módulo (sua extensão), mais complexo é o módulo.

A analogia para aplicação dessa métrica na obtenção da medida de modularidade de um hiperdocumento é feita através da definição de *fanin* como o número de *links* que levam a um nó e de *fanout*, como o número de *links* que partem de um nó. Em relação à extensão, a métrica de tamanho determina como obter sua medida correspondente.

Hatzimanikatis et al. salientam que a modularidade é, provavelmente, o critério mais importante para a manutenibilidade de hiperdocumentos.

5. Complexidade individual do nó - o número de *links* de entrada e de saída de cada nó. Um grande número de *links* de saída implica em uma alta sobrecarga cognitiva para o leitor e também significa que qualquer mudança feita neste nó pode afetar muitos outros nós.

A principal medida consiste do número de *links* que partem do nó e o número de *links* que chegam no nó. Se um nó possui muitos *links* (de entrada ou saída) os autores deveriam considerar a subdivisão do seu conteúdo em outros nós.

A mesma fórmula utilizada para a medida de complexidade do fluxo de informações do hiperdocumento, com base em *fanin* e *fanout*, pode então ser usada para a complexidade dos nós individuais, porém sem considerar o fator extensão, pois o tamanho de um nó não contribui para a complexidade individual da sua estrutura. Ao contrário, pode-se argumentar que, no caso de um “grande” nó consistindo de muitas páginas ou contendo uma combinação de vários conteúdos de texto e gráficos é natural a existência de muitos *links*. Dessa forma, a fórmula:

$$CI = \frac{(fanin \times fanout)^2}{Ext}$$

seria mais adequada para a complexidade individual do nó. Finalmente, Hatzimanikatis et al. concluem que experimentos constituem a questão-chave para a aplicação de métricas e, para suportá-los, são necessárias ferramentas flexíveis para a coleta automática dos valores de suas medidas em um hiperdocumento.

3.3. Considerações Finais

Este capítulo apresentou as métricas propostas na literatura para hiperdocumentos, que foram estudadas mais detalhadamente neste trabalho.

Para [Basili et al., 1994], métricas, sob o ponto de vista de desenvolvimento de software, podem ser usadas com o propósito de fornecer informações sobre o andamento do processo de desenvolvimento, e um dos objetivos das métricas é retratar os pontos fortes e fracos dos produtos intermediários gerados. Tratando-se de desenvolvimento hipermídia, um dos primeiros estudos foi realizado por [Hatzimanikatis et al., 1995], que considera as métricas com os seguintes objetivos: prever e planejar as próximas fases de um projeto de autoria hipertexto, especialmente teste e manutenção; identificar, durante a fase de autoria, as partes de um hiperdocumento que são muito complexas ou mal estruturadas; servir como componente de um modelo de qualidade.

Com esses objetivos, Hatzimanikatis et al. definiram um modelo baseado nas idéias do modelo hierárquico FCM e propuseram métricas para hiperdocumentos baseadas em métricas de software conhecidas na literatura [Fenton & Pfleeger, 1998]. Nem todas as

métricas propostas podem ser derivadas diretamente para hiperdocumentos, dessa forma, algumas considerações foram feitas pelos autores para sua adequação.

As métricas apresentadas neste capítulo foram estudadas detalhadamente, com o objetivo de possibilitar a determinação de quais poderiam ser implementadas. Assim, foram selecionadas as métricas de Compactação, Estratificação e Impureza da Árvore. No próximo capítulo, é descrita a abordagem que inclui a implementação dessas métricas, considerando-se o auxílio de técnicas de AM.

Capítulo 4 - A abordagem utilizada para análise das métricas utilizando técnicas de Aprendizado de Máquina

4.1. Considerações Iniciais

Neste capítulo a abordagem proposta para a análise de métricas é apresentada. Essa abordagem utiliza técnicas de Aprendizado de Máquina supervisionado e não supervisionado para auxiliar a análise dos valores obtidos com a aplicação de métricas coletadas de *websites*.

Para a coleta de métricas foi utilizada uma ferramenta desenvolvida no ICMC-USP. Assim, na Seção 4.2 é descrita esta ferramenta, DB-LiOS, que foi empregada na coleta dos dados necessários para obtenção dos valores das métricas. Na Seção 4.3 são descritas as métricas utilizadas, bem como a forma geral dos algoritmos que foram implementados para coleta das informações necessárias para obtenção dos valores dessas métricas. Na Seção 4.4 é descrito o processo utilizado, contando com o suporte de técnicas de AM, para análise das métricas.

4.2. Ferramenta DB-LiOS

A dinâmica e a flexibilidade da autoria de hiperdocumentos na Web, por um lado popularizam a cada dia o uso da Internet, mas por outro, propiciam que facilmente muitas informações fiquem inconsistentes [Seraphim & Fortes, 2000]. Basta uma definição errônea de um *link*, para que o usuário se depare com uma inconsistência e se sinta “perdido”. Um procedimento comum durante o desenvolvimento de um *site* é a reutilização dos componentes de *link*, seja por haver na mesma página-origem mais de um *link*, ou o mesmo rótulo de *link* em diversas páginas, ou ainda vários *links* para uma mesma página-destino. Como um *site*, geralmente, contém uma grande quantidade de *links*, torna-se inviável a verificação manual da reusabilidade de seus *links*.

A ferramenta DB-LiOS (*DataBase - Link Oriented System*) foi desenvolvida com o objetivo de proporcionar uma avaliação automática da consistência estrutural de *websites* através de extração e classificação de seus *links*, segundo as métricas baseadas em reuso de *links* [Fortes & Nicoletti, 1997a]. Além disso, os seguintes critérios foram também adotados em DB-LiOS: *consistência* (regularidade da aplicação), isto é, avaliação da forma de tratamento de elementos com conceitos similares ou distintos; e *reuso*, ou seja, a reutilização de objetos e operações em diferentes contextos e para diferentes propósitos. Esses dois critérios definidos em [Garzotto et al., 1995], compõem a abordagem de cinco dimensões que deve ser considerada para se avaliar um hiperdocumento: conteúdo, estrutura, apresentação, dinâmica e interação, conforme mencionado no Capítulo 2. Com a utilização de DB-LiOS, os autores de um *site* podem obter um auxílio efetivo para avaliação da consistência de seus *links*.

Os *links* disponibilizados na Web são os elementos de interação do usuário com o sistema hipertexto (*browser*), que não são definidos na interface do sistema, mas sim no conteúdo dos nós de um hiperdocumento. Os *links*, de forma geral, definidos e embutidos nas páginas de um *website*, definem a estrutura de ligação entre as páginas por meio dos seguintes componentes: **1)** página onde se encontra o *link* ("página-origem"); **2)** rótulo que identifica a presença do *link* na página origem ("âncora"), que pode se constituir de um texto ou mesmo uma imagem; e **3)** página para onde o *link* aponta ("página-destino") que pode ser simplesmente um direcionamento para um outro ponto na própria página ou uma outra página. A partir desses três componentes de *links*, oito casos que representam as variações de reuso desses componentes foram especificados [Fortes, 1996]:

Link 0 - *links* que contêm a página-origem diferente em relação a todas as demais páginas-origem do *site*; contêm âncora diferente em relação a todas as demais âncoras do *site*; e página-destino diferente em relação às demais páginas-destino do *site*.

Link 1 - *links* que, diante de todos os *links* que direcionam para uma mesma página-destino, contêm a página-origem diferente em relação a todas as demais páginas-origem do *site* e contêm âncora diferente em relação às demais âncoras do *site*.

Link 2 - *links* que, diante de todos os *links* que apresentam uma mesma âncora, contêm a página-origem diferente em relação a todas as demais páginas-origem do *site* e contêm página-destino diferente em relação às demais páginas-destino do *site*.

Link 3 - *links* que, diante de todos os *links* que direcionam para uma mesma página-destino com a mesma âncora, contêm a página-origem diferente em relação às demais páginas-origem do *site*.

Link 4 - *links* que, diante de todos os *links* que apresentam uma mesma página-origem, contêm âncora diferente em relação a todas as demais âncoras do *site* e contêm página-destino diferente em relação às demais páginas-destino do *site*.

Link 5 - *links* que, diante de todos os *links*, apresentam mesma página-origem com a mesma página-destino e contêm âncora diferente em relação às demais âncoras do *site*.

Link 6 - *links* que, diante de todos os *links*, apresentam mesma página-origem com mesma âncora e contêm página-destino diferente em relação às demais páginas-destino do *site*.

Link 7 - *links* que estão na mesma página-origem com a mesma âncora e direcionam para a mesma página-destino.

Em função de a Web ser simplesmente um enorme repositório de páginas com os seus *links* embutidos, descritos em *tags* HTML, pode-se observar que a busca de páginas com as características de reuso de componentes de *links* requer um processamento não trivial e necessita do suporte de uma Base de Dados. Assim, DB-LiOS se orientou pela adoção de uma Base de Dados para armazenar e processar as informações referentes aos *links* de um *site*.

Dois módulos funcionais de DB-LiOS realizam os principais processamentos: **a)** a extração de *links* das páginas e **b)** a classificação dos *links*. O primeiro módulo, de extração, é composto de um *crawler* [Cho et al., 1998]. O *crawler* é um programa autônomo que navega por todas páginas do *site* através de seus *links*. Os *crawlers* são utilizados para diversos fins [Koster, 1995], por exemplo, na coleta de palavras para formação de catálogos de *Search Engine* [Pinkerton, 1994] (como vistos em AltaVista, Yahoo, WebCrawler e Excite) e coleta de todos os documentos que formam o *site* para criar cópias espelhos do *site* [Silva et al., 1999]. Na ferramenta DB-LiOS, a função do *crawler* é extrair as informações referentes aos componentes do *link*: página-origem, âncora e página-destino.

À medida que o *crawler* percorre as páginas de um *site*, são geradas as instâncias dos *links* na Base de Dados históricos, que se compõe dos dados estruturais de um *site* com seus *links* e respectivas páginas.

Uma característica importante da ferramenta é que considera a freqüente evolução de um *site*, devido a mudanças nas suas páginas e seus *links*. Essas mudanças em DB-LiOS podem ser analisadas através de controle de versão do *site*.

Na próxima seção são apresentadas algumas considerações sobre os dados coletados pela ferramenta DB-LiOS.

4.2.1. Considerações sobre os dados coletados pela ferramenta DB-LiOS

Os dados coletados pela ferramenta DB-LiOS são extraídos por um *crawler* que foi implementado para extrair os componentes de *links* das páginas de *websites*. Nas próximas seções são descritas as considerações sobre como os dados (relacionados com os conceitos de subdiretórios, *frames* e subdomínios) foram coletados por esse *crawler*.

Subdiretórios

O *crawler* implementado na ferramenta DB-LiOS percorre somente as páginas que estão abaixo da hierarquia de um determinado diretório, pertencente ao servidor de arquivos de um *website*. Algumas vezes, observou-se que existe interesse em se avaliar os *links* para um certo conjunto de páginas restritas a um determinado subdiretório. Por exemplo, pode-se adicionar o seguinte endereço de *site* "http://www.icmc.sc.usp.br/cursos/" (observar a identificação do subdiretório /cursos/) para que DB-LiOS faça a varredura somente das páginas que estão contidas nesse subdiretório e abaixo dele.

Frames

Os *frames* são coletados pelo *crawler* como páginas. *Frames* são divisões da tela do *browser* em diversos "quadros". Com isso, é possível apresentar mais de uma página simultaneamente numa janela do *browser*. Os *frames* apresentam vários problemas e coletar a composição exata com que os *frames* se dispõem no *browser* em tempo-de-execução é uma tarefa difícil.

[HTML, 1999] considera que é muito fácil colocar *frames* em páginas; porém, nem todos os usuários gostam do uso de tal recurso. De acordo com [Nielsen, 1996], organizar uma página em *frames* pode confundir o usuário uma vez que o uso de *frames* quebra o modelo fundamental do usuário de página Web.

A partir do projeto original de Tim Berners-Lee, segundo [Nielsen, 1996], observava-se uma unificação total de diferentes conceitos em uma única idéia, assim, uma página da Web deveria ser:

- a unidade de informação visualizada pelo usuário na tela
- a unidade de navegação (o que ocorre quando o usuário clica em um *link* ou ativa uma ação de navegação como um marcador de páginas (*bookmark*))
- um endereço textual usado para armazenar informação na rede (a URL)
- a informação armazenada no servidor e a unidade de edição do autor (exceto se este trabalha com objetos embutidos como arquivos de imagem que requerem a administração de múltiplos arquivos em uma página)

O projeto de Tim Berners-Lee considera a página como uma unidade atômica de informação. *Frames* quebram essa noção e introduzem um novo modo de olhar os dados. Com *frames*, a visão do usuário é determinada por uma sequência de ações de navegação ao contrário de uma única ação de navegação.

Assim, a navegação não funciona “corretamente” com *frames*, segundo Nielsen, uma vez que a unidade de navegação é diferente da unidade de visão. Se o usuário cria um marcador de páginas em seu *browser*, ele não pode ter a mesma visão de uma página quando segue o marcador numa data posterior à criação, pois o marcador não inclui uma representação do estado dos *frames*.

Outro aspecto é que as URLs também não funcionam “transparentemente”, uma vez que a informação de endereçamento apresentada no topo da tela do *browser* não constitui uma especificação completa da informação apresentada na tela. Se um autor copia uma URL de forma a incluí-la como um *link* em uma de suas páginas, então aquele *link* não levará o usuário para a visão desejada, mas para o estado inicial do conjunto de *frames*.

Além desses problemas, existem outros relativos à implementação [Nielsen, 1996]: usuários com *browsers* que não suportam *frames*; relativos à impressão; problemas de consulta, alguns *Search Engines* não sabem quais composições de *frames* incluir como unidades de navegação em seu índice; preferência de usuário, em muitos *websites* que oferecem aos usuários uma escolha entre versões de *sites* sem *frames* e com *frames* é percebido que a maior parte dos usuários prefere projeto livre de *frames*; necessidade de um modelo de nó mais rico para nós hipertexto na Web que possam ser suportados por *frames*, por exemplo, nós compostos.

Mais recentemente, [Nielsen, 1999] reviu alguns problemas relacionados a *frames* e ponderou que *frames* não são mais o “desastre” que pareciam na época em que surgiram. Devido a alguns avanços na tecnologia de *browsers*, foram reduzidos os problemas de navegação, impressão e de utilização de marcadores de páginas. Mas segundo Nielsen existem ainda alguns problemas com *frames*: as URLs não funcionam “transparentemente” e o uso de *frames* torna a interação com a página mais difícil.

Subdomínios

Outra consideração importante é que o *crawler* não extrai os *links* de subdomínios de um *site*, por exemplo, para o *site* “http://www.icmc.sc.usp.br/” existem alguns subdomínios como: “http://nt-labes.icmc.sc.usp.br/”, “http://labic.icmc.sc.usp.br/”, “http://java.icmc.sc.usp.br/”, “http://gbdi.icmc.sc.usp.br/”, e seus *links* não são extraídos pela

ferramenta DB-LiOS quando iniciamos a extração a partir do site “http://www.icmc.sc.usp.br”.

Embora tal consideração seja uma garantia de “escopo” de varredura de um *website*, potencialmente ela ocasiona uma restrição em *sites* que adotam particionamento intensivo das informações em subdomínios.

4.3. As métricas escolhidas

As métricas utilizadas neste trabalho podem ser divididas em duas categorias: métricas aplicadas a *sites* e métricas aplicadas a páginas

Na primeira categoria, as métricas podem ser computadas quando é conhecida a estrutura de todo o hiperdocumento Web. As métricas da segunda categoria podem ser computadas quando são conhecidos os dados das páginas da Web.

Ao optarmos pelas métricas de hiperdocumentos Web a serem analisadas, tínhamos em mente as informações disponíveis fornecidas pela ferramenta DB-LiOS. Nós não utilizamos as informações sobre a classificação de *links* de acordo com os casos de reuso, nos restringimos apenas a informações sobre os componentes de *links* de cada página de um *website* extraídos pelo *crawler*. Dessa forma, com as informações estruturais: página-origem, âncora e página-destino, geramos uma matriz de adjacência para representar a estrutura do hiperdocumento Web. A partir dessa matriz, os valores para as métricas de Compactação e Estratificação foram obtidos.

Um exemplo de matriz de adjacência para um hiperdocumento Web é dado na Figura 6, os retângulos representam os nós (páginas) e as setas os *links* (cuja âncora pode ser texto ou imagem). A informação fornecida por DB-LiOS é dada na Tabela 2; é a partir dessa informação que a matriz de adjacência é gerada.

Tabela 2. A informação fornecida por DB-LiOS.

Página-origem	Âncora	Página-destino
http://www.site.com.br/Principal.html	Aulas	http://www.site.com.br/Aulas.html
http://www.site.com.br/Principal.html	<img...Figura.jpg ...>	http://www.site.com.br/Inform.html
http://www.site.com.br/Inform.html	Cursos	http://www.site.com.br/Cursos.html
http://www.site.com.br/Inform.html	Busca	http://www.busca.com.br
http://www.site.com.br/Cursos.html	Outras-disciplinas	http://www.site.com.br/Principal.html

Figura 6. Um hiperdocumento Web e sua matriz de adjacência.

A matriz de adjacência é a base para os cálculos das métricas de Compactação e Estratificação. A partir dessa matriz podemos calcular a matriz distância que é utilizada para obtenção dos valores dessas métricas.

A métrica de Impureza da árvore pode ser obtida diretamente, pois apenas o número de nós (páginas) e arestas (*links*) são utilizados. Essas informações são fornecidas pela ferramenta após cada varredura.

Como o objetivo deste trabalho foi o de implementar algumas das métricas para realizar a análise com o suporte de técnicas de Aprendizado de Máquina, foram escolhidas algumas das métricas. As métricas que não foram escolhidas são:

Tamanho: pois necessitaria de informações dos conteúdos dos nós (as linhas de texto ou figuras); essa informação não é coletada pela ferramenta DB-LiOS, que coleta informações apenas dos componentes de *links* como visto anteriormente.

Complexidade do caminho: pois o número de componentes conexas teria que ser calculado, exigindo um algoritmo mais complexo após a coleta dos dados por DB-LiOS; como o objetivo era o de viabilizar a abordagem contando com o suporte de AM, optamos por não implementar o algoritmo para cálculo de componentes conexas, uma vez que requereria um esforço maior. Uma vez definida a abordagem, e experimentalmente testada

por meio de análise de métricas mais simples, acreditamos que essa métrica poderá vir a ser implementada e analisada com sucesso posteriormente.

Modularidade: a informação sobre o número de *links* que chegam em um nó (página) não é obtida pela ferramenta DB-LiOS, não há como saber quais *sites* possuem *links* para uma determinada página, a não ser que coletássemos todos os *sites* da Web.

Complexidade individual do nó (CI): necessita também do número de *links* que chegam no nó.

Além das métricas vistas, propostas por [Botafofo & Shneiderman, 1992] e [Hatzimanikatis et al., 1995], decidimos coletar informações das páginas dos *sites*, e assim foram classificadas como “métricas aplicadas a páginas”. Essas métricas são: *In Links*, *Out Links*, *Imagens* e *Superfície* dessas imagens. Seus valores puderam ser obtidos verificando apenas a página-destino e âncora do *link*. Com a página-destino podemos saber se o *link* é um *link* que aponta para uma página de outro *site*, e com a âncora podemos saber se é uma imagem. Essas métricas aplicadas a páginas são calculadas por meio de contadores que somam as ocorrências de suas características.

Todas essas métricas e a forma de implementação são descritas nas próximas seções.

4.3.1. Métricas aplicadas a sites

Nesta seção são apresentados os algoritmos e a forma de implementação das três métricas aplicadas a *sites*: Compactação, Estratificação e Impureza da Árvore.

A ferramenta DB-LiOS, utilizada neste trabalho para a extração dos *links*, foi desenvolvida em linguagem Delphi. Os programas que coletam as métricas também foram desenvolvidos em Delphi, utilizando a mesma base de dados da ferramenta DB-LiOS.

Para implementação das métricas de Compactação e Estratificação cada hiperdocumento Web é representado utilizando a matriz de adjacência.

A ferramenta DB-LiOS nos fornece a informação necessária para obter a matriz de adjacência: para cada *site* tem-se uma lista com todos os *links*, sendo que esses *links* são representados por página-origem, âncora e página-destino. A matriz de adjacência é gerada observando-se quais páginas são conectadas por *links*.

Os algoritmos apresentados a seguir foram utilizados para a obtenção da matriz de mínimo caminho a partir da matriz de adjacência. A matriz de mínimo caminho (ou matriz dos

caminhos de menor custo) é necessária para os cálculos das métricas de Compactação e Estratificação.

O algoritmo geral utilizado para obter o caminho de menor custo entre dois vértices é esquematizado na Figura 7.

1. Considere um dígrafo com pesos associados às arestas
2. Substitua na matriz adjacência os valores '1' pelos respectivos pesos
3. Obtenha a matriz dos caminhos de menor custo, MC, tal que
 MC_{ij} = custo do menor caminho de i a j
4. Estratégia
 Trocar 0 por ∞ e 1 pelo peso na matriz Adjacência X
 Aplicar o algoritmo de Robert-Ferland

Figura 7. Algoritmo para obtenção da matriz de mínimo caminho.

Dada X
 Constrói MC, matriz dos caminhos de menor custo
Início
 Faça $MC = X$
 Para $j=1$ até n
 Para $i=1$ até n faça
 Se $MC_{ij} \neq \infty$ então
 Para $k=1$ até n faça
 $MC_{ik} = \min(MC_{ik}, MC_{ij} + MC_{jk})$
 Se existe caminho de custo MC_{ij} de i a j então o custo mínimo de i a k é o mínimo entre o caminho direto de i a k e o caminho de i a j mais de j a k .

Figura 8. Algoritmo de Robert-Ferland [Szwarcfiter, 1984].

Figura 9. Um dígrafo e sua matriz de mínimo caminho.

Um exemplo de matriz de mínimo caminho é ilustrado na Figura 9.

Na nossa implementação todo peso é igual a 1. Portanto, MC_{ij} será o comprimento de menor caminho de v_i a v_j . As matrizes e algoritmos descritos anteriormente foram utilizados para

implementação dos programas utilizados para obtenção dos valores para as métricas de Compactação e Estratificação.

Para a obtenção do valor da métrica de Impureza da Árvore, apenas os números de nós (páginas) e ligações (*links*) são utilizados, sendo o valor da métrica obtido diretamente das informações fornecidas pela ferramenta DB-LiOS.

Na próxima seção são apresentadas as métricas aplicadas a páginas.

4.3.2. Métricas aplicadas a páginas

As métricas descritas nessa seção necessitam dos dados provenientes das páginas dos *sites* (nós do grafo), as métricas são: Nro. de *links* que são imagens, Superfície dessas imagens, Nro. de *In Links* e Nro. de *Out Links*. Essas métricas necessitam das informações presentes apenas nos *links* das páginas, tais como: âncora e página-destino. A ferramenta DB-LiOS, utilizada para extrair os *links* dos *sites* fornecidos pelo usuário, procura por *links* como mostra o exemplo a seguir:

- 1) `<a href="http://www...">Pequeno texto</a>`
- 2) `<a href="http://www..."></a>`

Nesse exemplo as âncoras são respectivamente:

- 1) Pequeno texto
- 2) ``

O uso de imagens que são âncoras pode ser conveniente porque imagens podem ser de grande ajuda para identificação imediata do propósito do *link*, mas por outro lado imagens “pesadas” podem ter um grande impacto no sistema. A seguir são apresentadas as métricas implementadas.

1. Nro. de *links* que são imagens

Essa métrica define o número de *links* que são imagens em uma página. Conforme tem sido observado, com os recursos de multimídia mais disponíveis, a “iconização” para representar direções dos *links* ou “localização” de mais informação a ser explorada pelo usuário tem se popularizado. Isso é potencialmente bom, pois facilita a leitura para o usuário, mas quando não possui uniformidade, acaba levando à inconsistência e pode desorientar o usuário.

2. Superfície dessas imagens

Essa métrica define a superfície total utilizada pelos *links* que contêm imagens em uma página. A métrica não reflete se as imagens são “pesadas” ou não em termos de espaço em

memória, ela apenas nos mostra se as imagens ocupam uma quantidade razoável ou não da superfície em tela.

3. Nro. de *In Links*

Número de *in links* em uma página, ou seja, aqueles *links* que apontam para uma página do mesmo *site* do hiperdocumento. *In links* podem ser muito convenientes porque eles permitem manter o texto “amigável” e local, apresentando a informação de uma maneira acessível e não restringindo a informação em apenas uma página.

4. Nro. de *Out Links*

Número de *out links* em uma página, isto é, aqueles *links* que apontam para páginas fora do *site* do hiperdocumento. Se o número de *out links* é alto, então mais cuidado é requerido do mantenedor, pois não há controle “eficiente” no caso desses *links* apontarem para páginas que podem ser removidas aleatoriamente.

Para obter o número de *links* que são imagens são percorridas todas as âncoras fornecidas pela ferramenta DB-LIOS, procurando por '<img' na primeira posição da *string* representando a âncora (veja exemplo anterior).

Quando a âncora é uma imagem, são considerados os valores de *width* e *height* e o seguinte cálculo é realizado para obter a superfície utilizada por essas imagens:

$$\sum_{i=1}^L width \times height$$

Onde L é o número de *links* em de uma página.

Para verificar o número de *In Links* em cada página, é considerada a *string* que representa a página-destino e verifica-se se a *string* contém o *site* onde a página-origem está localizada.

Para verificar o número de *Out Links* em cada página, é considerada a *string* que representa a página-destino e verifica-se se a *string* não contém o *site* onde a página-origem está localizada. Portanto aponta para uma página de outro *site*.

4.4. Aprendizado de Máquina para auxiliar a análise das Métricas

As métricas descritas anteriormente foram analisadas com a utilização de técnicas de Aprendizado de Máquina. Em AM existem dois tipos de paradigmas de aprendizado – supervisionado e não supervisionado – e a escolha de qual deles usar depende dos exemplos da base, geralmente no formato atributo-valor, estarem ou não rotulados com o

atributo classe. Quando os dados estão rotulados é possível utilizar algoritmos de AM supervisionados, os quais induzem conceitos dos dados.

No caso dos dados não estarem explicitamente rotulados com uma classe, é possível utilizar algoritmos de AM não supervisionados, os quais procuram por padrões nos dados a partir de alguma caracterização de regularidade [Decker & Focardi, 1995]. Esses padrões são denominados *clusters* [McCallum et al., 2000] e os exemplos dentro dos *clusters* são mais similares que exemplos entre *clusters*. Basicamente, existem três razões de interesse no aprendizado não supervisionado:

- (1) a coleção e o rotulamento de um grande conjunto de exemplos podem ser surpreendentemente caros em termos de custo e tempo;
- (2) em muitas aplicações as características dos exemplos podem mudar vagarosamente com o passar do tempo;
- (3) em alguns estágios da investigação, a descoberta de características pode ser valiosa para adquirir percepções da natureza ou da estrutura de dados.

Mas, apenas agrupar dados de acordo com alguma caracterização de similaridade, conceitualmente, pode ser pouco representativo. Muitas vezes, é de interesse do especialista do domínio tentar encontrar uma “interpretação” ou “explicação” para os dados contidos em cada *cluster*. Neste trabalho, utilizamos uma metodologia proposta em [Martins & Monard, 2000] para, através de algoritmos de AM simbólicos, tentar interpretar os *clusters* obtidos utilizando algum algoritmo de AM não supervisionado. Na próxima seção é descrita a metodologia utilizada.

4.4.1. Metodologia utilizada

A metodologia utilizada é ilustrada na Figura 10. Basicamente, a metodologia é composta por quatro etapas. Primeiramente, uma base de dados já processada com exemplos não rotulados, no formato atributo-valor, é submetida a um processamento realizado por algum algoritmo de AM não supervisionado. Esse algoritmo é responsável por descobrir *clusters* presentes na base de dados. Logo após, o resultado obtido (*clusters* encontrados) é processado por um mecanismo computável, que rotulará os exemplos da base original, ou um subconjunto desses exemplos, com o *cluster* ao qual pertencem. Assim é gerada uma base de dados com uma dimensão adicional, a qual é considerada como atributo classe desses exemplos. Essa nova base de dados possui as características necessárias para ser utilizada como entrada para algoritmos de AM supervisionados. Como o interesse principal é tentar explicar *clusters* previamente encontrados, a linguagem de descrição de conceitos (ou hipóteses) utilizada pelo algoritmo de AM supervisionado escolhido deve ser uma linguagem

simbólica, tal como regras ou árvores de decisão. Dessa forma, os *clusters* podem ser descritos, simbolicamente, através de regras ou árvores de decisão.

Figura 10. Metodologia utilizada [Martins & Monard, 2000].

Após essa etapa, o conhecimento do especialista do domínio é de fundamental importância ao se tentar dar uma interpretação semântica aos *clusters*, agora descritos utilizando outro formalismo. Com a interpretação do especialista é possível, então, ter uma compreensão e uma “explicação” para os dados pertencentes a cada *cluster* encontrado.

4.4.2. Clusters versus Classes

Esta seção tem como objetivo apresentar a diferença entre *cluster* e classe, embora esses termos tenham sido usados neste trabalho com o mesmo significado. É importante observar que dois ou mais *clusters* podem agrupar exemplos que se referem ao mesmo conceito. Isto é ilustrado claramente na Figura 11 que mostra graficamente um conjunto de exemplos de treinamento rotulados com as classes “+” e “-” [Martins et al., 2001].

Após submeter esses exemplos a um algoritmo de AM supervisionado que induz o conceito através de uma árvore de decisão, por exemplo, as regras geradas seriam do tipo:

if $x < a$ and $y < b$ then classe “-”
 if $x \geq a$ and $y \geq b$ then classe “-”
 if $x < a$ and $y \geq b$ then classe “+”
 if $x \geq a$ and $y < b$ then classe “+”

Figura 11. Conjunto de exemplos de treinamento [Martins et al., 2001].

Entretanto, no caso de desconhecer a classe, os exemplos de treinamento são vistos pelo algoritmo de *clustering* como mostra a Figura 12, isto é, apenas como pontos no espaço de busca que podem ser agrupados de acordo com algum critério de similaridade.

Figura 12. Conjunto de exemplos de treinamento visto pelo algoritmo de *clustering* [Martins et al., 2001].

Neste caso, o algoritmo de clustering encontra quatro clusters distintos C_1 , C_2 , C_3 e C_4 , Figura 13. Porém, neste conjunto de treinamento há apenas dois conceitos que representam as classes "+" (clusters 1 e 4) e "-" (clusters 2 e 3).

Figura 13. Conjunto de exemplos de treinamento agrupados em *clusters* [Martins et al., 2001].

Na próxima seção é apresentado o processo utilizado para explicação dos *clusters*.

4.4.3. Processo utilizado para Explicação dos Clusters

Nesta seção é apresentado o processo, ilustrado na Figura 14, que utiliza a metodologia descrita anteriormente, usando o *Autoclass* como algoritmo de AM não supervisionado. *Autoclass* é um algoritmo de *clustering*, baseado na teoria Bayesiana em que o número de *clusters* pode ser especificado *a priori* ou encontrado automaticamente pelo próprio algoritmo. A saída gerada consiste de vários relatórios com descrições dos *clusters* encontrados e a probabilidade parcial dos exemplos nesses *clusters*. Esses relatórios são

utilizados na etapa de rotulamento dos exemplos. O processo de rotulamento dos dados é realizado através de uma ferramenta denominada *InClass* descrita em [Martins & Monard, 2000]. Essa ferramenta utiliza como entrada um dos relatórios gerados por *AutoClass* e o conjunto de exemplos originais (não rotulados). A saída gerada por *InClass* é o conjunto de exemplos contendo agora uma dimensão adicional, pois contém o atributo classe relacionado ao *cluster* ao qual pertence cada exemplo.

Nesse processo, foi escolhido o *See5* como algoritmo de AM supervisionado. *See5* utiliza tanto regras quanto árvores de decisão como linguagem de descrição de conceitos. Assim, a base de dados gerada por *InClass*, no formato requerido por *See5*, é processada por este para induzir regras de conhecimento. Tomando como base as regras geradas pelo *See5*, análise de erro e diversas estatísticas, o especialista pode realizar uma análise apurada para tentar explicar o agrupamento dos exemplos nos *clusters* encontrados.

Figura 14. Processo utilizado para explicação dos *clusters*.

Como descrito pela metodologia, o processo é finalizado com a análise do especialista sobre as regras de conhecimento geradas. É através dessa análise que realmente é possível verificar se o conhecimento gerado é importante, desconhecido ou útil.

A seguir, são descritas resumidamente as características principais dos algoritmos *AutoClass* e *See5*, bem como da ferramenta *InClass*, utilizados nesse processo.

4.4.3.1. Autoclass

AutoClass é um algoritmo de aprendizado não supervisionado baseado na teoria Bayesiana, desenvolvido pelo grupo de Bayes no Ames Research Center [Cheeseman & Stutz, 1990]. Basicamente, *AutoClass* descreve *clusters* a partir da distribuição probabilística sobre os atributos dos exemplos, considerando que existe independência condicional nos dados.

AutoClass tem sido usado e testado em muitos conjuntos de dados, pela NASA e pela indústria, meio acadêmico e outras agências. Foram encontradas e mostradas algumas classificações surpreendentes, que mostram padrões nos dados muitas vezes desconhecidos para o especialista da área. *AutoClass* é um algoritmo robusto e de domínio público, que apresenta, basicamente, as seguintes características:

- (1) determina o número de *clusters* automaticamente ou permite que seja definido pelo usuário;
- (2) os valores dos atributos podem ser tanto contínuos quanto discretos;
- (3) manipula valores ausentes e desconhecidos;
- (4) tempo de processamento é robustamente linear;
- (5) gera relatórios descrevendo os *clusters* encontrados e prediz o *cluster* de novos exemplos.

AutoClass procura a melhor classificação que possa encontrar nos dados. Uma classificação poderá ser a descoberta de um conjunto de *clusters*, descrevendo qual a porcentagem provável dos exemplos estarem em cada *cluster*, e uma denominação probabilística dos exemplos para esses *clusters*. Isto é, para cada exemplo, a probabilidade relativa de ser membro de cada *cluster*. A entrada para o algoritmo consiste de um conjunto de dados na forma atributo-valor, definição de modelos e de parâmetros de busca. O *AutoClass* procura um conjunto de *clusters* que seja altamente provável com os dados e modelos especificados. A saída desse algoritmo é a descrição probabilística dos *clusters* identificados e dos exemplos pertencentes a esses *clusters*. O próprio algoritmo não impõe nenhum limite específico no número de dados, mas bases de dados com mais de 100.000 valores (número de exemplos x números de atributos) podem necessitar de tempo de execução excessivo.

4.4.3.2. See5

See 5 é um produto comercial para plataforma WindowsTM que inclui melhorias dos algoritmos *C4.5* e *C4.5rules* [Quinlan, 1993], que têm sido usados, freqüentemente, para comparar seu desempenho com outros algoritmos de AM. O *See5* foi projetado para trabalhar com bases de dados relativamente grandes. Como seus precursores, manipula

atributos com valores discretos e contínuos, induzindo conceitos expressos como árvores de decisão ou conjunto de regras não ordenadas **if-then** [Baranauskas & Monard, 2000]. Seu desempenho tem se demonstrado muito bom na maioria dos casos.

4.4.3.3. Inclass

Para que o processo de rotulamento dos exemplos fosse feito de forma automática, utilizamos a ferramenta computacional *InClass*, descrita em [Martins & Monard, 2000], implementada na linguagem de programação PERL⁴ [Wall et al., 1996]. Os dados de entrada para a ferramenta são a base de dados original e um dos relatórios gerados pelo *AutoClass*. Com base nesse relatório do *AutoClass* e na base de dados original (exemplos não rotulados), o *InClass* cria uma nova base de dados com os exemplos originais rotulados com o *cluster* respectivo. Pode-se considerar, na construção da nova base, utilizando *InClass*, todos os exemplos ou apenas exemplos que pertencem, com uma dada probabilidade, aos *clusters* encontrados por *AutoClass*, dependendo dos parâmetros especificados pelo especialista.

4.5. Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentada a abordagem utilizada para analisar os valores obtidos com a aplicação das métricas.

Essa abordagem engloba seis etapas: utilização da ferramenta DB-LiOS; aplicação dos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas de *sites* e páginas; utilização do *Autoclass*; utilização do *Inclass*; utilização do *See5* e análise dos resultados.

A ferramenta DB-LiOS foi utilizada para extrair as informações necessárias à coleta dos valores para as métricas. A ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de proporcionar uma avaliação automática da consistência estrutural de *websites* através de extração e classificação de seus *links*, segundo as métricas baseadas em reuso de *links* [Fortes & Nicoletti, 1997a]. Dois módulos funcionais de DB-LiOS realizam os principais processamentos: a extração de *links* das páginas, a classificação dos *links*. Neste trabalho apenas o primeiro módulo foi utilizado (o *crawler*).

Algumas considerações sobre os dados coletados por DB-LiOS também foram destacadas. A ferramenta só extrai os dados abaixo da hierarquia de diretórios, extrai *frames* como páginas e não extrai os subdomínios de um *site*.

⁴ Pratical Extraction and Report Language

Os dados fornecidos por DB-LiOS são então processados pelos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas, que neste trabalho, são divididas em duas categorias: métricas aplicadas a *sites* e métricas aplicadas a páginas.

A abordagem apresentada foi proposta para auxiliar a análise das métricas com o auxílio de técnicas de Aprendizado de Máquina. Essas técnicas têm sido utilizadas freqüentemente no contexto Web.

No próximo capítulo é relatado o experimento realizado seguindo a abordagem descrita.

Capítulo 5 - O experimento realizado utilizando a abordagem proposta

5.1. Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta como o experimento, com as métricas de hiperdocumentos Web, foi realizado, utilizando a abordagem descrita no capítulo anterior. O experimento descrito neste capítulo foi realizado com o objetivo de ilustrar e testar preliminarmente a abordagem proposta.

Neste capítulo são relatadas as etapas realizadas: utilização da ferramenta DB-LiOS (Seção 5.2), aplicação dos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas de *sites* e páginas (Seção 5.3), utilização do *Autoclass* (Seção 5.4), utilização do *Inclass* (Seção 5.5.), utilização do *See5* (Seção 5.6) e análise dos resultados (Seção 5.7). Finalmente, são apresentadas características da infra-estrutura de realização do experimento.

5.2. As etapas do experimento

Este experimento segue o processo apresentado no capítulo anterior e foi dividido em seis etapas, sendo essas:

Etapla 1. Utilização da ferramenta DB-LiOS

Etapla 2. Aplicação dos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas de *sites* e páginas

Etapla 3. Utilização do *Autoclass*

Etapla 4. Utilização do *Inclass*

Etapla 5. Utilização do *See5*

Etapla 6. Análise dos resultados

Os dados utilizados no experimento são tabelas no formato atributo-valor, uma com os dados dos *sites*, utilizando como atributos: Métrica de Compactação, Métrica de Estratificação e Métrica de Impureza da árvore e as outras com os dados das páginas, utilizando como atributos: Nro. de *links* que são imagens, Nro. de *In Links*, Nro. de *Out Links* e Superfície dessas imagens.

Nas seções seguintes são descritas as etapas do experimento.

5.2.1. Utilização da ferramenta DB-LiOS

A ferramenta DB-LiOS foi utilizada para extrair as informações necessárias para aplicação dos módulos responsáveis pela coleta das métricas de *sites* e páginas. Os *sites* utilizados no experimento são apresentados na Tabela 3, juntamente com algumas informações adicionais extraídas pela ferramenta DB-LiOS.

Tabela 3. Os *sites* utilizados no experimento.

Número	Site	Número de páginas	Número de links
1	www.ufal.br	149	634
2	www.uesb.br	190	601
3	www.ufba.br	1201	7889
4	www.uece.br	244	771
5	www.ufes.br	858	6573
6	www.pucsp.br	40	164
7	www.unimontes.br	160	366
8	www.unisul.rct-sc.br	94	1069
9	www.ime.eb.br	119	341
10	www.eep.br	40	49
11	www.fafica.br	48	171
12	www.ufv.br	956	5471
13	www.ufpb.br	56	432
14	www.ufpe.br	125	708
15	www.ita.cta.br	105	3216
16	www.ufop.br	312	2828
17	www.ufpa.br	801	4235
18	www.puc-rio.br	336	3724
19	www.puc-campinas.br	359	1210
20	www.unaerp.br	152	3544
21	www.ufma.br	171	1149
22	www.ufmt.br	77	218
23	www.ufmg.br	387	3744
24	www.ufrj.br	190	2014
25	www.icmc.sc.usp.br	186	2654

5.2.2. Aplicação dos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas de sites e páginas

Os módulos responsáveis por obter os valores das métricas, que foram aplicados aos vinte e cinco *sites* de universidades brasileiras, são:

- (1) Módulo responsável pela obtenção dos dados das páginas de cada *site*
- (2) Módulo responsável pela obtenção dos dados dos *sites*

Tabela 4. Algumas páginas e valores para as métricas de páginas do site número 1.

Site 1			
In Links	Out Links	Imagens	Superfície
0	0	0	0
0	1	0	0
9	0	0	0
1	1	1	5396
3	1	0	0
4	5	0	0
10	2	1	4080
4	1	1	5396
1	0	1	1250
0	0	0	0
1	0	0	0
4	3	3	12028,67
3	0	0	0
11	2	3	225
34	0	0	0
1	5	0	0
10	2	1	4080
0	1	1	88080
10	1	5	17183,4

Tabela 5. Os valores obtidos para as métricas de sites.

Site	Compactação	Estratificação	Impureza da árvore
1	0.22	0.32	0.04
2	0.01	0.07	0.02
3	0.09	0.29	0.01
4	0.01	0.09	0.02
5	0.21	0.94	0.02
6	0.07	0.39	0.17
7	0.28	0.23	0.02
8	0.93	0.32	0.23
9	0.03	0.21	0.03
10	0.03	0.19	0.01
11	0.26	0.41	0.11
12	0.11	0.15	0.01
13	0.06	0.30	0.25
14	0.16	0.59	0.08
15	0.46	1.39	0.58
16	0.51	1.17	0.05
17	0.14	0.59	0.01
18	0.55	0.58	0.06
19	0.04	0.13	0.01
20	0.79	0.23	0.30
21	0.29	0.94	0.07
22	0.06	0.25	0.05
23	0.06	0.20	0.05
24	0.86	0.66	0.10
25	0.23	1.10	0.15

Aplicando-se o módulo (1) obtemos uma tabela para cada *site*, com os seguintes dados: Nro. de *In Links*, Nro. de *Out Links*, Nro. de *links* que são imagens e Superfície dessas imagens. A Tabela 4 apresenta alguns dos valores obtidos com a aplicação deste módulo para algumas das 149 páginas do *site* número 1.

Aplicando-se o módulo (2) obtemos uma tabela, com os seguintes dados: Compactação, Estratificação, Métrica de Impureza da árvore. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos com a aplicação desse módulo aos 25 *sites*.

A próxima etapa do experimento é a utilização do *Autoclass*, descrita na próxima seção.

5.2.3. Utilização do *Autoclass*

Após o uso da ferramenta para a coleta dos dados, os mesmos foram preparados para a utilização do *Autoclass*. Como já mencionado, o *Autoclass* é responsável por descrever *clusters* a partir da distribuição probabilística sobre os atributos dos exemplos. A Tabela 6 apresenta um dos relatórios gerados pelo *Autoclass*, o qual é utilizado por *Inclass*, na próxima etapa, para rotular os exemplos.

Tabela 6. Um dos resultados do *Autoclass*.

Site	Classe	Probabilidade
1	Classe_0	1.000
2	Classe_0	1.000
3	Classe_1	0.999
4	Classe_0	1.000
5	Classe_0	1.000
6	Classe_0	1.000
7	Classe_0	1.000
8	Classe_0	1.000
9	Classe_0	1.000
10	Classe_1	0.999
11	Classe_0	1.000
12	Classe_1	1.000
13	Classe_0	1.000
14	Classe_0	1.000
15	Classe_0	1.000
16	Classe_0	1.000
17	Classe_1	0.994
18	Classe_0	1.000
19	Classe_1	1.000
20	Classe_0	1.000
21	Classe_0	1.000
22	Classe_0	1.000
23	Classe_0	1.000
24	Classe_0	1.000
25	Classe_0	1.000

5.2.4. Utilização do Inclass

Utilizando *Inclass* para o conjunto de dados apresentado na Tabela 6, obtemos o resultado apresentado na Tabela 7, no formato requerido por *See5*.

Tabela 7. Resultado do *Inclass*.

Site	Compactação	Estratificação	Impureza da árvore	Classe
1	0.22	0.32	0.04	Classe_0
2	0.01	0.07	0.02	Classe_0
3	0.09	0.29	0.01	Classe_1
4	0.01	0.09	0.02	Classe_0
5	0.21	0.94	0.02	Classe_0
6	0.07	0.39	0.17	Classe_0
7	0.28	0.23	0.02	Classe_0
8	0.93	0.32	0.23	Classe_0
9	0.03	0.21	0.03	Classe_0
10	0.03	0.19	0.01	Classe_1
11	0.26	0.41	0.11	Classe_0
12	0.11	0.15	0.01	Classe_1
13	0.06	0.30	0.25	Classe_0
14	0.16	0.59	0.08	Classe_0
15	0.46	1.39	0.58	Classe_0
16	0.51	1.17	0.05	Classe_0
17	0.14	0.59	0.01	Classe_1
18	0.55	0.58	0.06	Classe_0
19	0.04	0.13	0.01	Classe_1
20	0.79	0.23	0.30	Classe_0
21	0.29	0.94	0.07	Classe_0
22	0.06	0.25	0.05	Classe_0
23	0.06	0.20	0.05	Classe_0
24	0.86	0.66	0.10	Classe_0
25	0.23	1.10	0.15	Classe_0

5.2.5. Utilização do See5

Esse conjunto de exemplos é utilizado por *See5* para induzir um conjunto de regras não ordenadas **if-then**. O conjunto de regras induzidas por *See5* foi então analisado para tentar encontrar um significado semântico para o nome dos *clusters*. Na próxima seção são descritos os resultados obtidos.

5.2.6. Análise dos resultados

Nesta seção são apresentados os resultados do experimento. Esse experimento foi realizado em duas etapas, uma com os dados das páginas e outra com os dados de *sites*. As próximas seções apresentam os resultados obtidos em ambas etapas do experimento.

5.2.6.1. Experimento com os dados das páginas

O experimento realizado com os dados coletados das páginas não ofereceu resultados muito significativos. O atributo presente na maioria das regras e com maior importância foi o atributo Superfície das imagens, que indica a superfície utilizada pelas imagens em uma dada página. Futuramente, pretendemos realizar outras experiências com esses dados, utilizando indução construtiva que permite criar novos atributos como uma combinação dos atributos existentes [Russel & Norvig, 1995].

5.2.6.2. Experimento com os dados de sites

A base de dados de todos os *sites* foi submetida ao *Autoclass* sem fixar um número de *clusters*, tendo sido encontrados 2 *clusters*. A Tabela 8 apresenta um resumo dos resultados obtidos, onde:

- *Clusters* – representa os *clusters*;
- # Exemplos – número de exemplos na base de dados;
- % Classe – porcentagem de exemplos pertencentes ao *cluster*;
- Erro aparente – erro aparente de *See5*, isto é, utilizando toda a base de dados de treinamento e teste;
- Erro verdadeiro (10CV) – erro verdadeiro obtido através de 10k-fold *cross-validation*;
- Erro CM – erro da classe majoritária;
- # Regras – número de regras encontradas por *See5*;
- # Médio Regras – número médio de regras obtido nas 10 execuções de *cross-validation*.

Tabela 8. Experimento com todos os *sites* – Resumo dos resultados.

# Exemplos	<i>Clusters</i>	% Classe	Erro Aparente	Erro (10 CV) Verdadeiro	Erro CM	# Regras	# Médio Regras
25	C(0)	80%	0,0%	0,0% ± 0,0%	20%	2	2 ± 0
	C(1)	20%					

Rule 1: (cover 20)	Rule 2: (cover 5)
Impureza da árvore > 0.01	Impureza da árvore <= 0.01
-> classe Classe_0 [0.955]	-> classe Classe_1 [0.857]

Figura 15. Regras extraídas para todos os *sites*.

As regras obtidas são apresentadas na Figura 15. É importante notar que essas regras classificam os exemplos de acordo com o atributo Impureza da árvore. Impureza da árvore é um critério que influencia a legibilidade de hiperdocumentos. Navegação em um

hiperdocumento com estrutura de árvore é mais fácil que navegação em hiperdocumentos com muitas referências cruzadas.

A segunda regra classifica cinco *sites* com um valor menor ou igual a 0.01 (20% dos exemplos). Os outros *sites* são classificados pela primeira regra (Impureza da árvore maior que 0.01). Nessas regras aparece apenas o atributo Impureza da árvore, o que indica que somente esse atributo consegue diferenciar os exemplos (*sites*) considerados.

5.3. Características da infra-estrutura de realização do experimento

O experimento, como descrito nesta seção, foi dividido nas seis etapas descritas. A primeira etapa foi a que requereu mais tempo, pois as dificuldades na procura por *sites* “apropriados” para o experimento e na coleta de seus dados da WWW foram freqüentes. Entendendo por *sites* “apropriados” aqueles que possuíam um número mínimo de páginas (40), pois os algoritmos de Aprendizado de Máquina requerem um número razoável de exemplos para obter bons resultados, e que não esgotassem um tempo de espera de duas horas na coleta. Enfrentamos também problemas na rede do Instituto e dessa forma, a coleta dos dados tomou um tempo maior do que o esperado.

O número inicial de *sites* que pensamos avaliar era de 50 *sites*, mas decidimos trabalhar com os 25 apresentados na Tabela 3, devido ao grande consumo de tempo requerido, além de razões relativas a freqüentes problemas de rede.

Utilizando DB-LiOS, obtivemos os dados necessários para a segunda etapa. Com os dados necessários para a coleta dos valores das métricas, a segunda etapa foi realizada conforme o esperado, utilizando os módulos responsáveis pelos cálculos e obtenção dos valores para as métricas. Esses módulos foram implementados em Delphi para facilitar a manipulação da base de dados gerada por DB-LiOS. Para a implementação dos novos módulos foi necessário primeiramente entender a implementação da ferramenta DB-LiOS.

Os valores calculados, utilizando os módulos implementados, foram então armazenados em 26 tabelas, sendo que uma com os valores calculados de todos os *sites* e as outras com os dados das páginas de cada *site*. Os dados contidos nessas tabelas foram então preparados para a utilização do *Autoclass*.

Autoclass requer alguns arquivos para sua execução, tais como arquivos de dados, arquivos de definições de tipos, etc. Esses arquivos foram criados para execução do algoritmo. Executamos *Autoclass* sem fixar um número de *clusters*.

Com os resultados do *Autoclass*, executamos o *Inclass* para que os dados pudessem ser fornecidos ao *See5*. Para executar o *Inclass*, os arquivos de entrada foram também preparados, ou seja, todas as tabelas tiveram que sofrer uma reformatação. O *See5* também requer alguns arquivos adicionais de definições de tipos de dados além do arquivo resultante de *Inclass*. Executando *See5* obtemos as regras para a análise dos resultados finais. Nessas regras apareceu apenas o atributo Impureza da árvore, o que indica que somente esse atributo conseguiu diferenciar os exemplos (*sites*) considerados.

Todo o experimento foi realizado contando apenas com esta mestrand, utilizando um único computador.

5.4. Considerações Finais

As métricas estudadas, escolhidas e apresentadas, foram implementadas neste trabalho. Em geral, essas métricas tiveram dados inicialmente obtidos a partir das informações fornecidas pela ferramenta DB-LIOS.

Para a realização do experimento, os dados coletados por DB-LIOS tiveram que ser 'processados' de forma a representar as métricas escolhidas. Dessa forma, foram desenvolvidos módulos adicionais para processamento das estruturas de dados e computação das métricas. Com os módulos pudemos coletar os valores das métricas e com o auxílio de técnicas de Aprendizado de Máquina realizamos a análise na qual verificamos que apenas a métrica Impureza da árvore consegue diferenciar os exemplos (*sites*) considerados. Experimentos com uma quantidade maior de dados poderiam ser realizados para verificar se as regras obtidas representam realmente a situação de *sites* considerando a métrica Impureza da árvore.

Capítulo 6 - Conclusões

6.1. Conclusões e Contribuições

O avanço da Web tornou a atividade de construção de hiperdocumentos amplamente praticada. Como essa atividade lida com a manipulação de muitos nós e *links*, se não for abordada sistemática e cuidadosamente, pode gerar muitos problemas de qualidade no produto (*website*).

Um produto de qualidade é, geralmente, o objetivo principal de um processo “produtivo” de desenvolvimento. Neste trabalho foi focalizado o tema “qualidade” sob a perspectiva de software, de hipermídia e de hiperdocumentos Web. Foi verificado que, para se alcançar o objetivo de se obter um produto com qualidade, a aplicação de métricas é uma das atividades consideradas. A utilização de métricas, segundo [Mendes et al., 2001], é uma abordagem apropriada para avaliar a qualidade e o desenvolvimento de aplicações Web, assim como para obter *feedback* de maneira a auxiliar o entendimento, controle, melhorias, e prognósticos sobre tais produtos e processos.

Neste trabalho, estudamos as métricas propostas na literatura para hiperdocumentos e selecionamos algumas para implementação. Como os valores das métricas são de difícil interpretação por parte dos *webmasters*, apresentamos uma abordagem para auxiliar a análise dos resultados. Tal abordagem conta com auxílio de técnicas de Aprendizado de Máquina, uma subárea de IA que tem sido muito explorada no contexto Web.

A abordagem proposta, descrita no Capítulo 4, engloba seis etapas: (1.) utilização da ferramenta DB-LiOS; (2.) aplicação dos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas de *sites* e páginas; (3.) utilização do *Autoclass*; (4.) utilização do *Inclass*; (5.) utilização do *See5* e (6.) análise dos resultados.

Na primeira etapa a ferramenta DB-LiOS foi utilizada para extrair as informações necessárias à coleta dos valores para as métricas. DB-LiOS possui dois módulos funcionais: o primeiro para extração de *links* das páginas e um segundo, para classificação dos *links*. Neste trabalho apenas o primeiro módulo foi utilizado (o *crawler*). Algumas considerações

sobre os dados coletados por DB-LiOS também foram destacadas. A ferramenta só extrai os dados abaixo da hierarquia de diretórios, extrai *frames* como páginas e não extrai os subdomínios de um *site*.

Os dados fornecidos por DB-LiOS são processados, seguindo a segunda etapa da abordagem proposta, pelos módulos responsáveis pela obtenção dos valores das métricas. Neste trabalho, as métricas selecionadas são divididas em duas categorias: métricas aplicadas a *sites* e métricas aplicadas a páginas, conforme descritas no Capítulo 4.

As etapas (3.), (4.) e (5.) do experimento realizado, seguindo a abordagem proposta, foram descritas no Capítulo 5. Para a realização do experimento, os dados coletados por DB-LiOS tiveram que ser 'processados' de forma a representar as métricas escolhidas. Dessa forma, foram desenvolvidos módulos adicionais para processamento das estruturas de dados e computação das métricas. Com os módulos, pudemos coletar os valores das métricas e, utilizando o processo descrito, com o auxílio de técnicas de Aprendizado de Máquina, realizamos a análise na qual verificamos que a métrica Impureza da árvore consegue diferenciar os exemplos (*sites*) considerados.

Finalmente, ainda como parte deste trabalho, foi redigido um artigo para conferência, que aceito para publicação, será apresentado em 10 de setembro próximo em Buenos Aires, Argentina [Silva & Fortes, 2001].

6.2. Trabalhos Futuros

Como o experimento realizado com os dados coletados das páginas não ofereceu resultados muito significativos (pois a métrica que calculava a "Superfície das imagens", presente na maioria das regras, somente possibilitou a interpretação de inclusão ou não de imagens nas páginas), futuramente, outras experiências com esses dados devem ser realizadas, utilizando, por exemplo, indução construtiva que permite criar novos atributos como uma combinação dos atributos existentes [Russel & Norvig, 1995], e dessa forma tentar obter melhores (mais significativos) resultados.

As regras obtidas com a realização do experimento com os dados coletados de *sites* indicaram que apenas a métrica "Impureza da árvore" consegue diferenciar os exemplos (*sites*) considerados. Experimentos com uma quantidade maior de dados devem ser realizados para verificar, com um número mais representativo estatisticamente, se as regras obtidas realmente confirmam a situação dos *sites* existentes.

A implementação de outras métricas também deve ser considerada. A métrica “Complexidade do caminho”, por exemplo, não foi implementada, pois o número de componentes conexas teria que ser calculado, exigindo um algoritmo mais complexo após a coleta dos dados por DB-LiOS; o que desviaria do objetivo deste trabalho, de viabilizar a abordagem contando com o suporte de AM. Uma vez definida a abordagem, e experimentalmente testada por meio de análise de métricas mais simples, acreditamos que essa métrica, assim como outras, possam vir a ser implementadas e analisadas com sucesso.

DB-LiOS armazena informações sobre a evolução dos *sites* coletados, ou seja, as versões dos *sites*. Com essas informações podemos realizar a coleta das métricas e um acompanhamento dos seus valores, de forma evolutiva, contribuindo então para uma melhoria ou adequação na definição das métricas e para verificação de como a evolução dos *sites* influencia os valores dessas métricas.

Bibliografia

- [Baranauskas & Monard, 2000] BARANAUSKAS, J. A.; MONARD, M. C.: "Reviewing some machine learning concepts and methods". Relatório Técnico do ICMC, n.102. ftp://ftp.icmc.sc.usp.br/pub/BIBLIOTECA/rel-tec/Rt_102.ps.zip.
- [Basili et al., 1994] BASILI, V.; CALDIERA, G. & ROMBACH, D.: "The Goal Question Metric Approach", Encyclopedia of Software Engineering, Wiley (1994).
- [Botafofo & Shneiderman, 1992] BOTAFOGO, R. A.; SHNEIDERMAN, B. (1992): "Structural Analysis of Hypertexts: Identifying Hierarchies and Useful Metrics" *ACM Transactions on Information Systems*, v.10, n.2, p.142-80, Abril.
- [Brown, 1990] BROWN, P. J. (1990): "Assessing the quality of Hypertext documents" In Rizs, A.; Stritz, N.; André, J.; eds. "Hypertext: Concepts, System and Applications" Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. *Proceedings of ECHT'90*, p.1-12, Versailles, France, Novembro.
- [Cheeseman & Stutz, 1990] CHEESEMAN, P.; STUTZ, J.: "Bayesian classification (autoclass): Theory and results advances in knowledge discovery and data mining". <http://ic.arc.nasa.gov/ic/projects/bayes-group/autoclass-c-program.html>.
- [Cho et al., 1998] CHO, J.; GARCIA-MOLINA, H. & PAGE L. (1998): "Efficient crawling through URL ordering" *Proc. 7th Intern. WWW Conference*, Brisbane, Australia. Abril.
- [Conklin, 1987] CONKLIN, J. (1987): "Hypertext: An Introduction and Survey". *IEEE Computer*, v.20, n.9, p.17-41, Setembro.
- [Craven & Slattery, 2001] CRAVEN, M.; SLATTERY, S. (2001): "Relational Learning with Statistical Predicate Invention: Better Models for Hypertext". *Machine Learning*, n.43, v.1-2, p.97-119.
- [Craven et al., 2000] CRAVEN, M.; DIPASQUO, D.; FREITAG, D.; MCCALLUM, A.; MITCHELL, T.; NIGAM, K. & SLATTERY, S. (2000): "Learning to Construct Knowledge Bases from the World Wide Web". *Artificial Intelligence*, n.118, v.1-2, p.69-113.

- [De Bra, 2000] DE BRA, P. M. E. (2000): "Using hypertext metrics to measure research output levels". *Scientometrics*, v.47, n.2, p.227-236, Kluwer Academic Publishers.
- [De Bra, 1999] DE BRA, P. M. E. (1999): "Hypermedia Structure and Systems". Eindhoven University of Technology, <http://www.wis.win.tue.nl/2L670/static/>.
- [Decker & Focardi, 1995] DECKER, K. M.; FOCARDI, S.: "Technology overview: A report on data mining". Technical report, CSCS-ETH, Swiss Scientific Computing Center.
- [Fenton & Pfleeger, 1998] FENTON, N; PLFLEEGER, S.: *Software Metrics: A Rigorous & Practical Approach*, 2nd Edition, PWS Publishing Co., 1998.
- [Fortes & Nicoletti, 1999] FORTES, R. P. M.; NICOLETTI, M. C. (1999): "Automatic Diagnosis of Hyperdocuments Using a Family of Quantifiable Metrics" *In: SoST'99 (Symposium on Software Technology) Proceedings*, Buenos Aires, Argentina, p.62-71, Setembro.
- [Fortes & Nicoletti, 1997a] FORTES, R. P. M.; NICOLETTI, M. C. (1997): "A Family of Link Based Metrics for the Evaluation of Web Documents" *SIGLINK Bulletin*, v.6, n.3, p.21-23, Outubro.
- [Fortes & Nicoletti, 1997b] FORTES, R. P. M.; NICOLETTI, M. C. (1997): "LiOS: a tool for supporting evaluation in the WWW" *Hypertextes et Hypermédias*, v.1, n. 2-4, p.77-85, 1997, Actes de la 4e Conférence Internationale Hypertextes et Hypermédias, Paris.
- [Fortes, 1996] FORTES, R. P. M.: "Análise e Avaliação de Hiperdocumentos: uma abordagem baseada na Representação Estrutural". Tese de Doutorado, IFSC-USP, São Carlos - SP. 30 de agosto de 1996. 179p.
- [Garzotto et al., 1995] GARZOTTO, F.; MAINETTI, L. & PAOLINI, P. (1995): "Hypermedia Design, Analysis, and Evaluation Issues", *Communications of the ACM*, Special Issue on Hypermedia Design, Agosto.
- [Garzotto & Paolini, 1999] GARZOTTO, F.; PAOLINI, P.: "Design and Evaluation of Cultural Multimedia". http://www.archimuse.com/ichim99/abstracts/prg_1047.html.
- [Halasz, 1988] HALASZ, F. G. (1988): "Reflections on Notecards: Seven Issues for the Next Generation of Hypermedia System". *Communications of the ACM*, v.31, n.7, p.836-852, Julho.
- [Halstead, 1977] HALSTEAD, M. H.: "Elements of Software Science". New York, Elsevier North Holland, 1977.

- [Hatzimanikatis et al., 1995] HATZIMANIKATIS, A. E.; TSALIDIS, C. T. & CHRISTODOULAKIS, D. (1995): "Measuring the Readability and Maintainability of Hyperdocuments"; *J. of Software Maintenance, Research and Practice*, v.7, p.77-90.
- [Henzinger, 2001] HENZINGER, M. R. (2001): "Hyperlink Analysis for the Web". In *IEEE Internet Computing*, p.45-50.
- [HTML, 1999] Tutorial HTML do ICMC, <http://www.icmc.sc.usp.br/manuals/HTML/>.
- [ISO/IEC 9126] "Information Technology – Software Product Evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use", Junho 1991.
- [Kan, 1995] KAN, S.H. *Metrics and Models in Software Quality Engineering*. USA, Addison-Wesley, 1995.
- [Koster, 1995] KOSTER, M.: "Robots in the Web: threat or treat?", *ConneXions*, v.9, n.4, Abril 1995.
- [Lohse & Spiller, 1998] LOHSE, G.; SPILLER, P.: "Electronic Shopping", *CACM* 41,7 (Julho-1998); p.81-86.
- [Martins et al., 2001] MARTINS, C. A.; MONARD, M. C.; HAEDO, A. S. & MATSUDO, N. L.: "Uma metodologia para auxiliar o processo de interpretação semi-automática de clusters" Relatório Técnico do ICMC, n.133, Março de 2001.
- [Martins & Monard, 2000] MARTINS, C. A.; MONARD, M. C. (2000): "Interpretação de Clusters Utilizando Aprendizado de Máquina Simbólico"; *21 Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering – CILAMCE2000*, Rio de Janeiro (RJ).
- [McCall et al., 1977] MCCALL, J. A; RICHARDS, P. K. & WALTERS, G. F. (1977): "Factors in Software Quality", *RADC TR-77-369*.
- [McCallum et al., 2000] MCCALLUM, A.; NIGAM, K. & UNGAR, L.: "Efficient clustering of high-dimensional data sets with application to reference matching". *KDD* (2000).
- [Mendes et al., 2001] MENDES, E.; COUNSELL, S.; MOSLEY, N. (2001): "Measurement and Effort Prediction for Web Applications". *Web Engineering 2001*, p.295-310.
- [Nanard & Nanard, 1995] NANARD, J.; NANARD, M. (1995): "Hypertext Design Environments and the Hipertext Design Process". *Communications of the Association of Computer Machinery*, v.38, n.8, p.49-56.
- [Nielsen, 2001] NIELSEN, J.: The Alertbox, <http://www.useit.com/alertbox/>

- [Nielsen, 1996] NIELSEN, J.: "Why frames suck most of the time", <http://www.useit.com/alertbox/9612.html>
- [Nielsen, 1999] NIELSEN, J.: "Top Ten Mistakes" Revisited Three Years Later", <http://www.useit.com/alertbox/990502.html>
- [Olsina et al., 1999] OLSINA, L.; LAFUENTE, G.; ROSSI, G. (1999): "Specifying Quality Characteristics and Attributes for Websites", *Proc. First ICSE Workshop on Web Engineering*, ACM, Los Angeles, Maio.
- [Papast, 1997] PAPAST, P.: Hypermedia Navigation Metrics, <http://ise.eng.uts.edu.au/ise/hyptech/miniprj/mnprj97a/papast/metrics.html> (1997).
- [Pazzani & Billsus, 1997] PAZZANI, M.; BILLSUS, D. (1997): "Learning and Revising User Profiles: The identification of interesting web sites". *Machine Learning*, v.27, p..313-331.
- [Pinkerton, 1994] PINKERTON, B. (1994): "Finding what people want: experiences with the WebCrawler", in: *Proc. of the 2nd International WWW Conference*, Chicago, USA, Outubro, p.17-20.
- [Pressman, 2000] PRESSMAN, R. S.: "Software Engineering: A Practitioner's Approach", McGraw-Hill , 5ª edição, 2000.
- [Quinlan, 1993] QUINLAN, J. R.: "C4.5: Programs for Machine Learning". MK, Los Altos, California, USA.
- [Russel & Norvig, 1995] RUSSEL, S. J.; NORVIG, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 1995.
- [Sanches et al., 2000] SANCHES, R.; FABBRI, S. C. P. F. & MALDONADO, J. C.: "Qualidade de Software: da engenharia de software aos modelos de qualidade", *Anais VI Escola Regional de Informática de São Paulo da SBC*, São Carlos - SP, Abril, p.219-240.
- [Seraphim & Fortes, 2000] SERAPHIM, E.; FORTES, R. P. M (2000): "DB-LiOS: Suporte Automático à Avaliação da Consistência de *Links* em *WWW*" - In: XX Congresso Nacional da SBC, XXVII SEMISH, *Anais*. Curitiba-PR, Julho.
- [Silva et al., 1999] SILVA, A. S.; VELOSO, E. A.; GOLGHER P. B.; RIBEIRO-NETO B.; ZIVIANI, N.; LAENDER, A. H. F. (1999): "CobWeb - Um Coletor Automático de Documentos Web" *Anais do XIX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação, XXVI SEMISH*, v.1, p.233-247, Julho.

- [Silva & Fortes, 2001] SILVA, E. A.; FORTES, R. P. M.: "Web Structure Metrics: an analysis using Machine Learning systems" - artigo aceito a ser apresentado no ASSE'2001 (Second Argentine Symposium on Software Engineering) parte da 30th Argentine Conference on Computer Science and Operational Research (JAIIO 2001) <http://www.ing.unlpam.edu.ar/jaiio2001/>.
- [Stotts et al., 1992] STOTTS, P. D.; FURUTA, R. & RUIZ, J. C. (1992): "Hyperdocuments as Automata: Trace-Based Browsing Property Verification". In: *European Conference on Hypertext*, New York, p.272-281.
- [Szwarcfiter, 1984] SZWARCFITER, J. L.: *Grafos e algoritmos computacionais*. Rio de Janeiro, Campus, 1984.
- [Thistlewaite, 1995] THISTLEWAITE, P. (1995): "Automatic Construction of Open Webs using Derived Link Patterns". In M. Agosti and J. Allan (Eds.), *IR and Automatic Construction of Hypermedia: a Research Workshop. ACM SIGIR*.
- [Thüring et al., 1995] THÜRING, M.; HANNEMANN, J.; HAAKE, J. M. (1995): "Hypermedia and Cognition: Designing for Comprehension". *Communications of the ACM*, v.38, n.8, p.57-66.
- [Wall et al., 1996] WALL, L.; CHRISTIANSEN, T. & SCHWARTZ, R. L.: *Programming in PERL*. O'Reilly, Inc., 1996.