

METODOLOGIA SISTEMÁTICA PARA ESPECIFICAÇÃO DE ROBÔS

Vanderley de Vasconcelos
Silvério Ferreira da Silva Júnior

Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, C.P. 941, 30.161-970, Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: vasconv@urano.cdtm.br

Resumo

A especificação de robôs envolve o conhecimento de inúmeras áreas, tais como mecânica, eletrônica, computação, controle, instrumentação, cinemática, dinâmica, aquisição de sinais, simulação e segurança. Tudo isto sem falar dos conhecimentos específicos das aplicações a que se destinam. A dificuldade de encontrar profissionais com estas qualificações levou ao desenvolvimento de uma metodologia sistemática para a especificação de robôs, baseada em técnicas de análise e projeto estruturado de sistemas informatizados, bem como modelagem e simulação de processos. A filosofia da metodologia é dividir o processo de especificação do robô em seis etapas: *projeto pré-conceitual*; *projeto conceitual*; *projeto lógico*; *projeto físico*; *simulação computacional*; e *definição dos parâmetros do sistema*. Neste trabalho apresenta-se a utilização desta metodologia para a especificação de um robô para operar em um sistema de ensaio automatizado idealizado para realizar a inspeção ultra-sônica das soldas de um vaso de pressão de classe nuclear.

Palavras chaves: robôs, especificação, metodologia, análise de sistemas, simulação

1. INTRODUÇÃO

A especificação de robôs é uma tarefa multidisciplinar que envolve o conhecimento de inúmeras áreas, tais como mecânica, eletrônica, computação, controle, instrumentação, cinemática, dinâmica, aquisição de sinais, simulação e segurança, além dos conhecimentos específicos das aplicações a que se destinam. A dificuldade de encontrar profissionais, ou mesmo equipes, com todas estas qualificações, levou ao desenvolvimento de uma metodologia sistemática para a especificação de robôs, baseada em técnicas de análise e projeto estruturado de sistemas informatizados, bem como modelagem e simulação de processos. Separando-se a complexa tarefa de especificação em etapas mais simples, iniciando-se pela identificação do QUE o sistema irá fazer e detalhando-se, em etapas subsequentes, COMO ele irá realizar suas tarefas, aumentam-se as chances de definição de um robô mais adequado à aplicação. A contínua interação da equipe de especificação com os clientes e usuários finais, através do uso de ferramentas gráficas, como Diagrama de Fluxo de Dados e modelagem de sólidos, além de auxiliar na elaboração de documentos conjuntos, é fundamental para a correta identificação dos conceitos de projeto, ambiente de trabalho e parâmetros técnicos do robô.

2. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

A filosofia básica da metodologia desenvolvida é dividir o processo de especificação em seis etapas: *projeto pré-conceitual; projeto conceitual; projeto lógico; projeto físico; simulação computacional; e definição de parâmetros do sistema.*

2.1 Projeto pré-conceitual

Esta etapa deve retratar as necessidades específicas do usuário ou cliente do sistema. Deve reunir informações que suportem as decisões do grupo de especificação e permitam a definição dos dispositivos, equipamentos e *softwares* necessários para realizar as funções propostas para o sistema. É de fundamental importância que os usuários do sistema, estejam conscientizados de que eles, como interessados no sistema, devem desenvolver todos os esforços para que a pré-conceituação caracterize perfeitamente as suas reais necessidades, uma vez que ela será o elemento de suporte para as decisões do grupo de especificação.

Nesta pré-conceituação, deve ser editada uma documentação, a ser aprovada pelo usuário, contendo os seguintes itens: *objetivos; benefícios; dificuldades; escopo e abrangência; principais saídas; interligações com outros sistemas; principais arquivos; e estimativas.*

Nesta fase, é bastante útil a elaboração de um Diagrama de Contexto (Gane & Sarson, 1984), identificando as principais entradas e saídas, bem como as interfaces externas do sistema. O Diagrama de Contexto é uma primeira representação de um sistema, mostrado como um grande processo, interagindo com o ambiente em que está inserido. O ambiente de um sistema, meio externo ou em torno do sistema, é delimitado pelos elementos externos que exercem influência sobre o comportamento do sistema (operador, equipamentos, *hardware* e *software* externos, etc.), fornecendo dados ou utilizando suas informações. Neste tipo de diagrama, as entidades externas, que estabelecem uma fronteira entre o sistema e o ambiente externo, estão ligadas ao sistema através dos fluxos de dados.

2.2 Projeto conceitual

Nesta etapa, o que se pretende é produzir um documento contendo os conceitos, segundo a ótica dos usuários, isto é, contendo os detalhes necessários a uma caracterização, a mais completa possível, dos objetivos do sistema. O conteúdo deste documento, gerado através de uma contínua interação entre o grupo que fará a especificação do sistema e os usuários, passa a servir como compromisso contratual assumido entre as partes.

Os documentos consolidados e redigidos nesta etapa devem ser aprovados pelos usuários e conter os seguintes itens: *objetivos; conceitos básicos; modelo conceitual; dicionário de dados; e elos de comunicação.*

Nesta fase, os *objetivos* devem ser apresentados de acordo com uma visão funcional da área interessada, isto é, devem ser identificadas as funções que o sistema deverá realizar, procurando-se definir o **QUE** fazer e não **COMO** fazer, descrevendo, portanto, as funções e não seus detalhes de operação.

Deve ser feito o detalhamento do modelo conceitual do sistema, isto é, os Diagramas de Fluxo de Dados de primeiro nível – DFDs (Gane, 1990)(Gane & Sarson, 1984)(Mershon & Dendyna, 1997) e, em alguns casos, os DFDs de segundo nível. Os DFDs contêm funções, fluxos, depósitos de dados e entidades externas, detalhando, em níveis crescentes, o processo e os fluxos de dados identificados no Diagrama de Contexto. As funções identificadas representam as

ações que o sistema deverá executar, independente de como elas serão executadas, inclusive aquelas que serão executadas de forma manual ou interativa. Em um DFD, uma função pode ser entendida como um componente do sistema onde somente os dados de entrada e os dados de saída são conhecidos, sem ainda um conhecimento explícito a respeito do processamento interno de transformação dos dados de entrada em dados de saída (Christóvão, 1999). Nestes diagramas, os depósitos de dados se referem às estruturas de dados lógicos e não aos meios físicos para armazenamento e recuperação das informações. Os fluxos de dados são utilizados para mostrar o movimento de conjuntos de informações de um ponto a outro do sistema.

2.3 Projeto lógico

Nesta fase, a partir dos DFDs já obtidos no projeto conceitual, detalha-se, por meio de refinamentos sucessivos, um conjunto de DFDs até um nível onde as funções básicas do sistema estejam totalmente identificadas. Neste conjunto, deverá ser o mais nivelado possível, isto é, as funções deverão ser apresentadas com o mesmo nível de detalhe. Neste ponto, mantém-se a visão lógica, mas deve-se especificar integralmente o sistema.

Com base no projeto conceitual do sistema, deve ser detalhado, no dicionário de dados, o conteúdo dos arquivos e fluxos identificados no refinamento do projeto lógico. Nesta fase, se necessário, deve-se definir os dados em termos de entidades e relacionamentos entre elas, normalizar as definições de arquivos, obtendo-se em termos lógicos, a definição da base de dados requerida pelo sistema.

Devem, também, ser analisadas as diversas alternativas de automatização do sistema, estabelecendo-se as etapas que deverão ser totalmente automatizadas e aquelas que deverão ser realizadas interativamente, bem como as interfaces entre os vários sistemas, automatizados ou não. Deve-se levar em conta os recursos humanos e materiais envolvidos em cada uma das alternativas apresentadas.

O documento gerado no final desta etapa, contendo o *modelo lógico*, a *definição dos dados*, as *definições das funções* e as *definições de fronteiras com outros sistemas*, deve ser aprovado em reunião entre a equipe de especificação e o usuário.

2.4 Projeto físico

Nesta etapa, deve ser caracterizada a dependência entre as funções identificadas no projeto lógico e definidos os esquemas de controle, recuperação (em caso de falhas) e segurança. O objetivo é transformar-se o modelo lógico em um modelo físico, determinando **COMO** o sistema deverá funcionar. O foco é a eficiência do sistema, tendo por base o seu desempenho. O modelo físico idealizado deve incorporar a solução proposta nas fases anteriores, de acordo com os recursos tecnológicos disponíveis. Inclui a identificação de módulos e a sua integração, bem como uma descrição formal das partes do sistema que serão manuais e a identificação de como os usuários irão interagir com a parte automatizada do sistema. O modelo físico dos dados deve corresponder à forma com que os dados serão implementados nos dispositivos de armazenamento existentes.

A especificação da interface homem-máquina é de grande importância para satisfazer as necessidades dos usuários em relação ao sistema e a participação destes, na sua especificação, é fundamental. Entre as atividades envolvidas, destacam-se a escolha dos dispositivos de entrada e saída, o formato de todas as formas de entradas e saídas (telas, relatórios, etc.) e a apresentação da seqüência e temporização das entradas e saídas.

É também importante a definição dos critérios de *backup* e da consistência dos dados de entrada e saída do sistema. No detalhamento do dicionário de dados e dos arquivos, devem ser definidas as informações a serem obtidas, manipuladas e armazenadas pelo sistema. Deve ser realizada a identificação dos programas e equipamentos necessários para a implementação do sistema, que realizam as funções lógicas identificadas. Nesta etapa, deve ser feito o detalhamento de como executar as funções lógicas identificadas no projeto lógico.

O documento gerado no final desta etapa, contendo o *modelo físico*, a *interligação entre os sistemas envolvidos*, e os *sistemas de controle, recuperação e segurança*, deve ser aprovado, em reunião entre a equipe de especificação e o usuário.

2.5 Simulação computacional do sistema

A solução proposta no projeto físico do sistema automatizado utilizando robô deve ser avaliada através da sua simulação computacional utilizando-se, por exemplo, o *software* de modelagem de robôs Workspace[®] (Robot Simulation LTD., 1998).

2.6 Definição dos parâmetros de especificação do sistema

Devem ser definidos os parâmetros de especificação do robô, os quais são importantes para a aplicação a que se destina. Deverão ser definidos, por exemplo: número de graus de liberdade; número de braços; dimensões dos braços (comprimentos e seções transversais); espaço de trabalho (“*workspace*”); capacidade (carga máxima suportada e número de elementos que podem ser acoplados no atuador final); peso máximo do sistema completo; mecanismos de fixação e movimentação dos pontos de apoio do robô; velocidade máxima de movimentação do atuador final; velocidade de aquisição de dados sobre as trajetórias em tempo real; aceleração máxima; precisão e exatidão do sistema de posicionamento; tipos dos mecanismos de acionamento das juntas, adaptados às condições de trabalho e requisitos de nível de ruído; métodos de controle de posição do robô; capacidade de armazenamento de dados do sistema de controle; capacidade da fonte de alimentação; linguagens de programação; interface com programas de simulação de robôs, como o Workspace[®], permitindo programação “*off-line*”; interface do robô com o computador; temperatura e ambiente de operação; tempo de inspeção do sistema automatizado; tolerância do sistema a ruídos; dispositivos para evitar a entrada de água no manipulador e sistemas associados, quando for o caso; empuxo dos sistemas que ficarão submersos, se for o caso (cabos de comunicação, energia, sinais de vídeo, tubulações de ar comprimido, etc.); garantia, em termos de número de horas de operação, e procedimentos de testes e manutenção periódica. A aplicabilidade dos parâmetros listados e a necessidade de especificação de parâmetros adicionais deverão ser definidas para cada caso.

3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Na Figura 1, é apresentado um exemplo fictício de um Diagrama de Contexto, parte do *projeto pré-conceitual*, para um sistema automatizado de inspeção ultra-sônica de vasos de pressão de classe nuclear. Como possíveis informações que deverão ser obtidas junto ao usuário, neste exemplo, para elaborar a documentação necessária para esta fase, podem ser mencionadas: grau de automação necessário para as tarefas de inspeção; necessidade de análise automatizada dos sinais de ultra-som pelo sistema, gerando automaticamente um relatório de defeitos ou não conformidades; procedimentos genéricos de inspeção; principais problemas operacionais e de

segurança radiológica e convencional encontrados durante a inspeção; tipos de equipamentos, componentes e regiões a serem inspecionados (vasos de pressão, bocais, soldas, etc.); tipos de inspeções a serem realizadas (em tempo real ou não, interna e/ou externa, etc.); dificuldade de acesso dos equipamentos de inspeção; disponibilidade de recursos no local de inspeção (energia elétrica, ar comprimido, instalações para descontaminação, etc.); flexibilidade necessária para atender demandas de inspeção (inspeções durante a montagem dos equipamentos, inspeções em serviço, inspeções em reatores de testes ou de submarinos, etc.); necessidade de interface com sistemas já existentes (sistemas de aquisição de dados, sistemas de posicionamento, instrumentação de ultra-som, bem como, *hardware* e *software* de uma maneira geral); filosofia do sistema de posicionamento dos transdutores de ultra-som (se visual, interativo, automatizado, com pontos de controle, etc.). Neste exemplo, este tipo de informação, de caráter geral, influenciará na definição do conceito do sistema de inspeção a ser especificado, e deverá ser obtido o quanto antes possível.

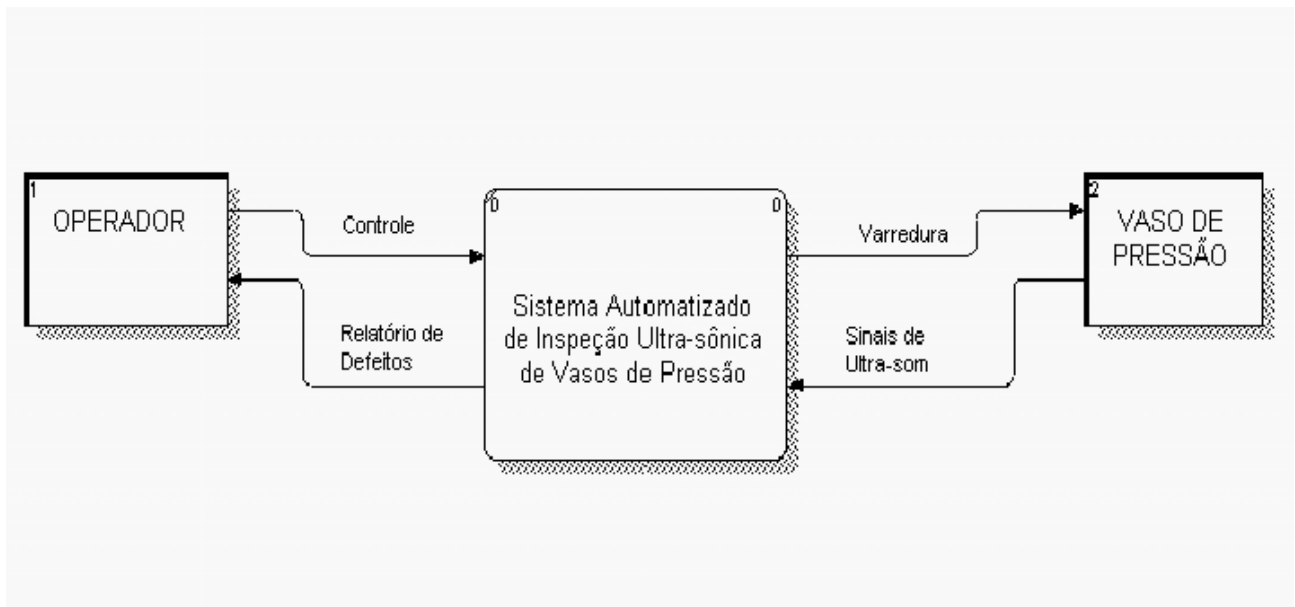


Figura 1 - Exemplo fictício de um diagrama de contexto para um sistema automatizado para inspeção ultra-sônica de vaso de pressão.

Na Figura 2 é mostrado um DFD de primeiro nível, parte do projeto conceitual do exemplo analisado. O que se procura obter, com a utilização deste tipo de diagrama, é uma visão geral do sistema, de modo a permitir que o usuário analise se os objetivos do sistema serão atingidos, sem no entanto se perder nos aspectos operacionais. Nesta fase, um dicionário de dados deve ser inicializado, através da descrição do fluxo de dados e arquivos, até o nível de elementos (dados individuais que não podem mais ser decompostos em outros conjuntos de dados), sem entretanto descrever, ainda, estes elementos individualmente.

O sistema deverá se comunicar com o ambiente externo por meio dos fluxos de dados identificados no diagrama de contexto, que darão origem aos *elos de comunicação*, que se caracterizam como dados, sinais, relatórios, telas, documentos, arquivos, etc. Nesta etapa, devem ser definidos os arquivos e fluxos de dados que farão as interfaces com outros sistemas.

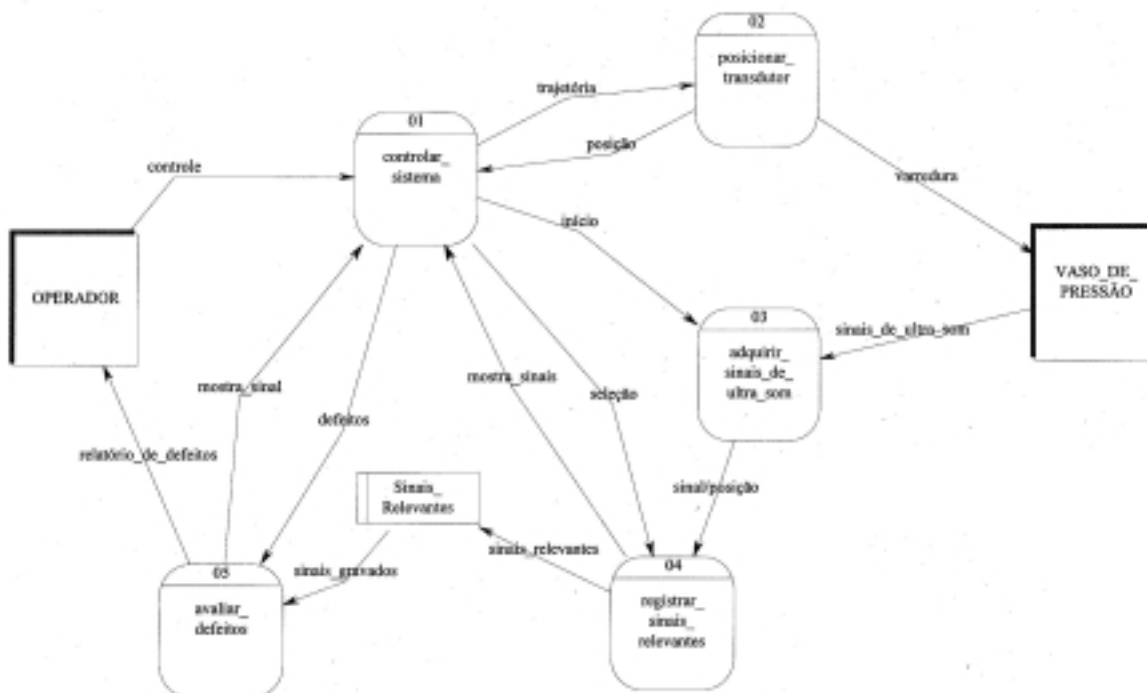


Figura 2 - Exemplo fictício de um DFD, de primeiro nível, para um sistema automatizado de inspeção ultra-sônica de vasos de pressão.

No *projeto conceitual* devem também ser definidos os conceitos básicos resumindo o conjunto de termos e idéias que são fundamentais para o conhecimento dos requisitos para o sistema. Nos parâmetros básicos, devem constar a definição de fatores condicionantes ou medidas que influenciem a especificação ou a operação do sistema. Deve ser definido, por exemplo, se as inspeções serão submersas e se deverão ser acompanhadas de um sistema de visualização com câmera de vídeo para auxiliar no posicionamento dos transdutores de ultra-som, evitar obstáculos e realizar os ensaios. Deverá, também, ser definida se haverá a necessidade de exame visual das regiões internas do vaso de pressão e de equipamentos específicos para esta tarefa. Os requisitos de inspeção para cada região, bem como os acessórios internos que dificultam o acesso a essas regiões, devem ser identificados. Devem ser relacionadas as condições de realização dos ensaios que influenciem na especificação dos materiais, componentes e equipamentos, como, por exemplo, a presença de radiação gama e nêutrons no ambiente de trabalho do robô.

Devem ser levantadas, nesta etapa do projeto, a legislação e as normas relacionadas, por exemplo, com os critérios de segurança referentes ao uso de robótica e à inspeção de instalações nucleares (códigos ASME – “The American Society of Mechanical Engineers”, normas da NRC – “Nuclear Regulatory Commission”, CFR – “Code of Federal Regulations”, CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear, manuais de garantia da qualidade, programas, manuais e procedimentos de inspeção, etc.).

Deve ser definido se os usuários do sistema trabalham, por exemplo, basicamente com pesquisa e desenvolvimento e, além das tarefas rotineiras de inspeções para monitoração e reparos, deverão realizar ensaios fora de rotina para verificar influências de parâmetros de funcionamento específicos no aparecimento e evolução de trincas no vaso de pressão, bocais e suas soldas. Devem ser levantados os conceitos e os parâmetros básicos do sistema, por meio de entrevistas e reuniões com os usuários finais e com os gerentes responsáveis, bem como através da análise de informações técnicas de sistemas semelhantes existentes.

No *projeto lógico* do exemplo apresentado deve ser verificado se existe a necessidade de manter arquivos contendo informações de inspeções anteriores, possibilitando, por exemplo, o acompanhamento da evolução de trincas. Deve ser verificado se é necessário ter-se usuários com diferentes níveis de acesso, controlados através de senhas. Em caso afirmativo, devem ser estabelecidos, nesta etapa, os diferentes comandos, dados de entrada e dados de saída aplicáveis a cada nível de usuário. As entradas necessárias podem ser, por exemplo, as opções de controle, as informações relativas a destino, trajetória e programação do manipulador robótico. As possíveis saídas do sistema automatizado podem ser o movimento para o destino selecionado pelo usuário, as imagens obtidas por eventuais câmeras de vídeo, as informações periódicas sobre a posição dos transdutores de ultra-som e os sinais de ultra-som. A descrição detalhada do dicionário de dados nesta etapa será fundamental para as definições do projeto físico a seguir.

No *projeto físico*, devem ser abordados os aspectos de segurança relativos aos operadores e à instalação que esteja sendo inspecionada, bem como à integridade dos equipamentos utilizados, tanto durante a instalação e retirada do sistema de inspeção no vaso, quanto durante as inspeções. Como o sistema constituído pelo manipulador robótico e os equipamentos de ultra-som deverão trabalhar em inspeção dentro do vaso do reator, as preocupações com a segurança convencional, durante as inspeções, estarão restritas aos possíveis danos causados ao vaso do reator, seus componentes e ao próprio sistema. Assim, a segurança da operação do manipulador robótico deverá ser garantida, por exemplo, através de: limitação de tamanho, carga e velocidade do manipulador robótico; sistema de monitoração via câmera de vídeo; parada de emergência; consideração das condições de trabalho na especificação do sistema de inspeção (temperatura, radiação, ambiente corrosivo, etc.); sistema para evitar choques com obstáculos; redundância no sistema, para fixação do manipulador robótico ao vaso e projeto dos sistemas, levando-se em conta o critério de falha segura.

São também importantes, no projeto físico, informações como a forma de fixação da base do manipulador na parte superior das paredes cilíndricas do vaso, com proteção para evitar a queda do sistema no vaso; valor do empuxo dos componentes do braço, da base e câmara de controle para evitar cargas no sistema de fixação da base; e pressão positiva no interior destes componentes para evitar entrada de água, em caso de falhas.

As informações adicionais, listadas a seguir, constituem partes importantes do projeto físico e devem auxiliar na especificação do sistema: necessidade de vedação para os transdutores, sistemas elétricos e mecânicos; tempo máximo de inspeção, para não danificar os equipamentos e minimizar os riscos de exposição radiológica aos operadores; percentual das regiões do vaso de pressão a ser inspecionado; frequência de inspeção; necessidade de dispositivos para transporte e armazenamento do sistema de inspeção; relação entre velocidade de varredura, precisão e exatidão do sistema de posicionamento, características dos transdutores e programa de inspeção e interface entre sistema de posicionamento e transdutores.

Na etapa de *simulação computacional* do sistema devem ser modelados, neste exemplo, o manipulador robótico (ou sistema de posicionamento), os transdutores de ultra-som, o vaso de pressão, os bocais e as soldas a serem inspecionadas.

A integração dos modelos geométricos dos sistemas envolvidos e a simulação computacional dos movimentos necessários à inspeção ultra-sônica, das diversas regiões e soldas definidas, terá importante papel na definição do conceito do sistema de movimentação dos transdutores de ultrassom e dos diversos parâmetros de especificação do sistema.

4. CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste trabalho para especificação de robôs foi utilizada para a especificação de um robô para operar em um sistema fictício de ensaio automatizado de inspeção ultra-sônica de soldas de um vaso de pressão de classe nuclear. A subdivisão da complexa tarefa de especificação em etapas mais simples e a documentação dos compromissos assumidos entre a equipe de especificação e o usuário é uma contribuição importante no sentido de se obter a melhor alternativa para o sistema automatizado. Componentes como vasos de pressão de reatores nucleares, tubos dos geradores de vapor e tubulações de seus circuitos primários, são inspecionados por métodos de ensaios não destrutivos, com o auxílio de sistemas de ensaio automatizados. Para estas aplicações, a tarefa de especificação de robôs adquire uma grande importância.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CDTN/CNEM – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear e ao CTMSP – Centro Tecnológico da Marinha, São Paulo, o apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Christóvão, M.T., 1999, “Conceitos Básicos de Análise Essencial”, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG (Nota Interna NI-AL3-02/99).
- Christóvão, M.T., Batista, J.R. e Jabace, A.C., 1999, “Metodologia de Desenvolvimento de Sistemas”, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG (Nota Interna NI-AL3-01/99).
- Gane, C., 1990, “O Relatório Gane”, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro.
- Gane, C. e Sarson, T., 1984, “Análise Estruturada de Sistemas”, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.
- Kiebel, G.R., 1993, “An approach to software quality assurance for robotic inspection systems”. Proceedings, 41st Conference on Robotics and Remote Systems, p-51-55.
- Mershon, J.D. and Bendyna, N., 1997, “BPWin Methods Guide”, Logic Works, Berkely, California.
- Oliveira, J.E.L., Maestrelli, N.C. e Miguel, P.A.C., 1999, Sistema de classificação e codificação para seleção de robôs. “Metodologia”, Maio, pp 24-31.
- Robot Simulation LTD., 1998, “Workspace 4 - Educational user guide manual”, Newcastle-upon-Tyne, United Kingdom.
- Shakeri, C., Brown, D.C. and Noori, M.N., 1997, “A knowledge design tool for the concurrent design of robots”. Wisconsin University, (<http://me.wpi.edu/~cirrus/Publicat...> Engineering/)