

en función del mapa elegido al igual que el factor aleatorio "vaca". El niño puede entrar a partir que inicia el recorrido al "Mapa" y observar las sucesivas posiciones del tren según la evolución del juego. Este mapa es distinto en su concepción al del "TOBOGÁN", se asimila a la imagen de un mapa geográfico y no a una partitura analógica de variación de altura. Es posible saltar pantallas aunque estas se hallan elegido en la configuración, consideramos que abandonar una pantalla sin concluir o modificar el recorrido en su transcurso puede ser útil a la dinámica de juego que establece cada niño. El docente tendrá registrado esto en el Reporte siendo un dato importante para el planteo de sus estrategias educativas.

Desde las pantallas de juego se puede acceder a la configuración general y modificar los datos consignados de acuerdo a la realidad del niño en ese momento. El juego permite reiniciar cada pantalla cuantas veces se desee si se ha cometido un error, cuando está lograda pasa automáticamente a la siguiente. Finalizado el recorrido en la estación se informará si el tren llegó a "horario" o "con atraso". Llegar a horario significa haber concluido el 70% de las pantallas elegidas independientemente de cuantas veces haya tenido que repetirla para lograrla.

#### Contenidos:

\*Intensidad: se visualiza su variación permanentemente a partir del tamaño del humo de la locomotora. Los cambios de intensidad afectan en algunos recorridos la velocidad de desplazamiento del tren. Esto fue diseñado para el control de la duración del soplo de acuerdo a la intensidad con que se emite.

\*Duración: planicies- sonido largo (nivel más simple). Planicies con vaca- sonido semilargo, corto, muy largo. Puentes de tres y de cinco emisiones: sonidos de igual duración secuenciados. Zona inundada de nueve emisiones: sonidos cortos secuenciados (difícil). Vía Libre- sonidos muy largos (7" de máximo).

\*Variación de Altura: cargar cereal (bajar), acción simple en forma de intervalo descendente o en glissando descendente. Bajar montaña, glissando lento descendente (4" de duración). Subir pasajeros y subir montaña, ídem anterior pero con cambio de dirección.

\*Dicción de Vocales: salida del tren, dicción de la vocal elegida. Paso a Nivel, dicción de 2 vocales elegidas para lograr que los autos crucen y el tren tenga Vía libre.

\*Sincronización de la Emisión: planicies, puentes, inundación. Emisión inmediata luego de cada click.

\*Calidad de la Emisión: se controla en todas las pantallas.

#### Requerimientos del Sistema:

- \* Computadora 386/ 486 IBM o Compatible
- \* MSDOS
- \* 640 kb. (mínimo 240 kb. para Tobogán)
- \* Memoria Expandida (mínimo 770100 Bytes: Tren al Sur y mínimo 1 Mbytes para Tobogán)
- \* Disco Rígido: Tobogán ocupa 3 Mb. y Tren al Sur necesita como mínimo 7.210.000 Bytes.
- \* Tarjeta de Sonido Sound Blaster (8 o 16 bit en cualquiera de sus tipos)
- \* Micrófono para voz
- \* Parlantes
- \* Mouse
- \* Tarjeta de Video VGA
- \* Monitor color

#### CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron alentadores para continuar la producción de programas dando cuenta del interés que despiertan en los niños y la necesidad de los docentes de contar con **Software para la Educación Musical** apropiados a la realidad escolar latinoamericana.

### Expert Piano: Um Ambiente Educacional para Auxiliar o Estudo de Piano e Música

José Honório Glanzmann

Neide Santos

Ana Regina Rocha

COPPE/Sistemas

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Caixa Postal 68.511 - CEP - 21.945-970 - Rio de Janeiro - RJ

E-mail: dede@cos.ufrj.br - Fax: (0511) (021) 290-6626

#### Abstract

**Expert Piano** is an educational environment composed by an intelligent tutoring system, multimedia databases and MIDI (Musical Instrument Digital Interface) interface devices. Our environment aims to improve the piano playing techniques, supplying different piano studies options, such as to practice the whole musical piece or specific parts or to play with software cooperation. The environment also provides measure movement, tones transposition, practice with separated hands, score visualization simultaneously with the music execution or performance.

The intelligent tutoring system consists of a music teachers and pianists knowledge base, and its role is to diagnose the errors committed in a study session, through the correct processing of the musical events produced by the student. According to the student performance, the software issues a report, highlighting the musical pieces measures, where there is errors occurrence. Then, **Expert Piano** gives feedback visually and/or orally and addresses the student to the suitable subject. We think that the showing of traditional musical notation and the playing of correct measures execution via MIDI are most efficient kinds of feedback than only written feedback.

#### 1 - Introdução

Nas últimas décadas observamos a adoção de tecnologia computacional nas mais diversas áreas do conhecimento humano, e com a música não poderia ser diferente. Hoje, podemos constatar a grande utilização de computadores e outras tecnologias apoiando e melhorando a qualidade da produção musical.

Yavelow (1989) divide as aplicações músico-computacionais em áreas que estão diretamente ligadas à produção musical (laboratório de som, composição, edição de partituras, performance e edição de sons pós-produção), e outras como a *educação musical*, que não estão envolvidas diretamente com o primeiro grupo. O que nós podemos observar na prática e em bibliografias especializadas é que com o barateamento do custo, microcomputadores, sintetizadores e outros equipamentos estão sendo cada vez mais incorporados à educação musical (Rudolph, 1991; Holton, 1991; Webster 1991). Com isso, tecnologias antes só disponíveis em grandes estúdios e laboratórios estão sendo adotadas por professores, ganhando espaço nas salas de aula tradicionais.

A área de Informática Educativa tem-se mostrado uma poderosa tecnologia de apoio a novas formas de ensino e aprendizagem (Santos & Segre 1991). Segundo Rueda (1993), a adoção de técnicas de Inteligência Artificial podem contribuir para a elaboração de produtos de software educacional mais flexíveis e apropriados às necessidades de cada aluno. Coerentes com este pensamento e aliando tecnologia músico-computacional apresentamos o ambiente educacional **EXPERT PIANO** que objetiva auxiliar o estudo de piano e música.

Um dos problemas principais enfrentados pelos professores de música é a correção dos vícios adquiridos pelo aluno quando este estuda sozinho. Se o aluno não estiver bem seguro dos conceitos teóricos e suas

equivalentes interpretações no instrumento, ele poderá facilmente incidir em erros de execução musical e este comportamento repetidamente provocará a fixação destes erros, dificultando a sua correção. Neste sentido, o ideal é que o aluno estude com a presença do professor ou de outra pessoa conhecedora de música pelo menos nos primeiros anos do curso de instrumento. Como isto nem sempre é possível, nos sentimos motivados a desenvolver um produto de software educacional que assistisse o aluno de música enquanto este estivesse estudando.

O ambiente **Expert Piano** têm objetivos específicos que são voltados para o treinamento e aperfeiçoamento da técnica de instrumento, no caso o piano. O estudo de um instrumento sempre exigiu do aluno várias horas diárias de dedicação e inúmeros exercícios são necessários para que o estudante adquira a postura correta, agilidade e o desenvolvimento da coordenação psicomotora. Por esse motivo, os componentes principais do nosso ambiente são direcionados a análise de *performance*, detectando, quando for o caso, erros de execução musical e apresentando apontamentos e sugestões sobre como o estudante deve proceder para correção dos mesmos. Outros componentes complementam o ambiente educacional **Expert Piano** e vão propiciar recursos extras que normalmente não estão disponíveis em uma educação musical tradicional. O ambiente disponibiliza ao estudante informações suplementares sobre as peças musicais estudadas e seus compositores, além disso, possibilita o acompanhamento do aproveitamento do aluno.

## 2 - Características Gerais e Elementos Envolvidos no Ambiente *Expert Piano*

O ambiente **Expert Piano** tenta simular o comportamento de um professor que esteja assistindo à interpretação do aluno, analisando permanentemente sua *performance*. Para isso, ele propicia recursos comuns ao ensino de piano e incorpora características específicas de um sistema computacional.

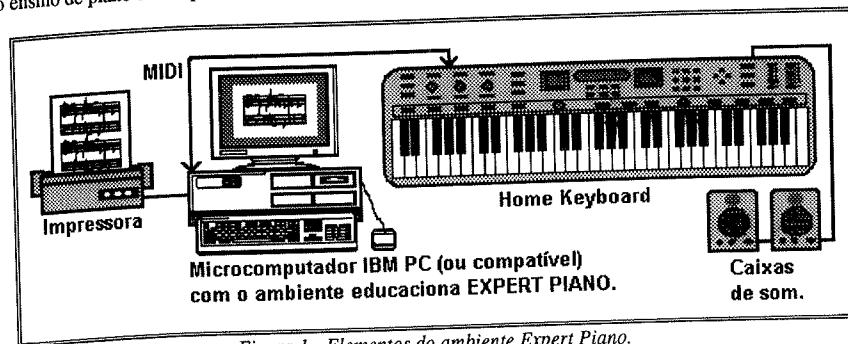


Figura 1 - Elementos do ambiente *Expert Piano*.

Como podemos verificar na figura 1, existem vários elementos interrelacionados no ambiente **Expert Piano**:

a) **Home Keyboard** : trata-se do instrumento eletrônico que servirá de interface musical podendo ser utilizado também um sintetizador ou piano eletrônico. O instrumento em questão deverá suportar o padrão MIDI para possibilitar a conexão com o microcomputador.

b) **MIDI** : refere-se à interface responsável pela comunicação entre o microcomputador e o instrumento musical. É recomendado a utilização de um cabo de boa qualidade para que não haja perda de dados na transmissão. Serão necessários a utilização dos conectores *IN* e *OUT* em um esquema de interconexão bidirecional (Loy, 1985).

c) **Microcomputador** : deve ser compatível com o IBM PC e possuir características de *hardware* que possibilitem um bom desempenho no ambiente *Microsoft Windows*. Além disso, é necessário uma placa de som com interface MIDI embutida ou outro dispositivo equivalente.

d) **Impressora** : pode ser matricial ou laser, lembrando-se que a qualidade do material impresso dependerá da impressora utilizada.

## 3 - Descrição do Ambiente Educacional *Expert Piano*

O ambiente **Expert Piano** tem como público alvo alunos do curso de instrumento, normalmente matriculados em escolas de música e conservatórios. A utilização do produto deverá acontecer paralelamente às aulas normais ministradas pelos professores da escola.

A qualidade da música produzida e a interface computacional desenvolvida foram planejadas para que o aluno não só se sinta motivado a utilizar o ambiente, como também o faça de maneira amigável. Levando-se em consideração que o aluno na maioria das vezes utiliza o ambiente sozinho, é natural e desejável que a interação eles seja fácil e intuitiva.

Para o funcionamento do sistema, é necessário a realização de alguns procedimentos preliminares como o cadastramento dos alunos, das peças musicais e do plano de estudo.

Para o aluno poder utilizar o ambiente educacional, ele precisa ser cadastrado previamente pelo professor e a partir disso, o ambiente pode controlar o seu desempenho e registrar informações específicas que norteiam as futuras remediações e sugestões de estudo apresentadas.

Quando o produto é instalado, a base de peças musicais está vazia, por isso, os professores devem também alimentar o sistema com as músicas e exercícios a serem estudados. O ambiente possui recursos de um seqüenciador, permitindo que o professor introduza peças musicais segundo o currículo da sua escola. Isto, facilita a adequação do ambiente à realidade de cada escola.

O ambiente ainda permite ao professor direcionar o estudo do seu aluno, criando para isso um plano de estudo. Este plano de estudo contém um conjunto das opções a serem disponibilizadas pelo sistema durante a utilização do aluno para uma determinada peça musical. A partir deste plano, o professor apontará os passos a serem seguidos pelo estudante durante uma interação com o ambiente.

Satisfeitos estes procedimentos iniciais, o ambiente estará pronto para ser utilizado. A seguir descreveremos como é realizada uma sessão de estudo com o ambiente educacional **Expert Piano**.

### 3.1 - Uma sessão de estudo

Uma vez identificado, o aluno abrirá uma sessão de estudo e o ambiente passará a registrar os passos efetuados pelo mesmo. Durante a sessão, o aluno poderá escolher uma ou mais peças musicais a serem estudadas, dentre as disponíveis na base de músicas. O aluno estudará segundo critérios definidos previamente pelo plano de estudo. Estes critérios irão direcionar o estudo e vão influenciar as opções oferecidas para o estudante.

Uma sessão de estudo compreende várias etapas, a saber:

- escolha das opções de estudo;
- diagnóstico e análise de erros;
- apresentação de remediações e sugestões;
- relatórios de desempenho;
- acesso à informações complementares, e,
- conclusão do processo.

#### 3.1.1 - Opções de Estudo

O ambiente admite várias opções de estudo de uma mesma peça musical, tais como :

- tocar a peça musical escolhida com níveis diferenciados de detalhes de expressão e com acompanhamento do sistema (mão alternada, mão oitavada, outras vozes ou outros instrumentos),
- e,
- escutar a peça musical original ou a própria execução com visualização paralela da partitura.

As funções acima ainda dispõem dos seguintes recursos :

- exercitar a peça musical toda ou trechos selecionados;
- estudar com as mãos juntas ou separadas;
- transposição de tons;
- mudança de andamento, e,
- auxílio de um metrônomo.

### 3.1.2 - Diagnóstico e análise de erros

Depois do aluno concluir a execução da peça musical escolhida, o sistema está capacitado a apontar os erros cometidos, relacionando os compassos correspondentes. Neste processo, o ambiente apresenta os compassos errados (executados pelo aluno) e os corretos (armazenados na base de dados de peças musicais), a fim de que o aluno possa melhor visualizar e comparar as falhas de interpretação ocorridas. Esta é a principal função do sistema, e é neste ponto que as técnicas de Inteligência Artificial são necessárias para o processamento adequado do comportamento do estudante.

O ambiente *Expert Piano* contém um componente que incorpora as principais características e funcionalidades de um Sistema Tutorial Inteligente (STI). Ele absorve em sua base de conhecimentos "dicas" de especialistas (professores de piano e pianistas), que são utilizadas no diagnóstico e na análise dos erros do aluno.

### 3.1.3 - Remediações e sugestões

O componente STI também faz as remediações e apresenta sugestões para a correção dos erros que o aluno venha a cometer. Para cada erro diagnosticado e de acordo com os registros das *performances* anteriores do estudante e as características da peça em questão, o ambiente apresenta ao aluno informações apropriadas que deverão auxiliá-lo na compreensão do seu desempenho. Para isto, o ambiente utiliza recursos visuais (notação musical tradicional e textos) e auditivos (execução via MIDI dos compassos musicais em questão).

### 3.1.4 - Saída dos Relatórios de Desempenhos

O ambiente gera relatórios sobre o desempenho do estudante, tanto na tela quanto na impressora. Este relatório traz informações sobre os erros e apresenta os compassos originais (corretos) e os executados pelo aluno. Este relatório pode ser *customizado* pelo aluno que poderá selecionar as informações que ele deseja ter acesso. Estas informações ficam armazenadas no ambiente e podem ser acessadas também pelo professor.

### 3.1.5 - Informações complementares

Além dos dados fornecidos nos processos de diagnóstico e remediação, o ambiente educacional dispõe de informações complementares em formato multimídia, com ligações tipo hipertexto. Estas informações compreendem dados sobre a vida e a obra de compositores, peculiaridades sobre as peças musicais e dicionário de termos musicais incluindo o significado de símbolos da notação musical tradicional.

Os professores podem, dependendo do nível de recursos pretendidos, fazer a manutenção também desta base de dados.

### 3.1.6 - Conclusão do processo

Ciente dos resultados obtidos, o aluno pode reiniciar o processo de estudo, modificando opções segundo o seu desejo e permissão do plano de estudos. No caso de reincidência de erros, o ambiente *Expert Piano* remeterá o aluno a novas remediações e sugestões. Ao final de uma sessão de estudo, o aluno pode solicitar ao ambiente "dicas" para estudar em casa, no seu próprio instrumento.

Se o aluno não cometer erros após o exercício, o plano de estudos indicará novas opções de estudo até que a peça seja corretamente tocada, com todos os detalhes de interpretação pertinentes a música em questão.

## 4 - Estrutura do ambiente *Expert Piano*

A fim de atender as funções acima mencionadas, apresentamos e descrevemos a estrutura do ambiente *Expert Piano* (figura 2) com os seus diversos módulos e principais características. A estrutura reflete a organização dos módulos e as interligações necessárias para que as especificidades do problema proposto possam ser solucionadas.

### 4.1 - Módulo Interface

O módulo *Interface* é responsável pela comunicação entre os usuários (alunos, pianistas e professores) e o ambiente educacional. Ele controla o fluxo de informações entre os dois, organizando e interpretando as entradas e saídas de dados e ações. O módulo também é encarregado da integração entre os demais módulos do ambiente educacional. Ele responde ainda pela segurança de acesso ao sistema e a determinados módulos, não permitindo a utilização por pessoas não autorizadas.

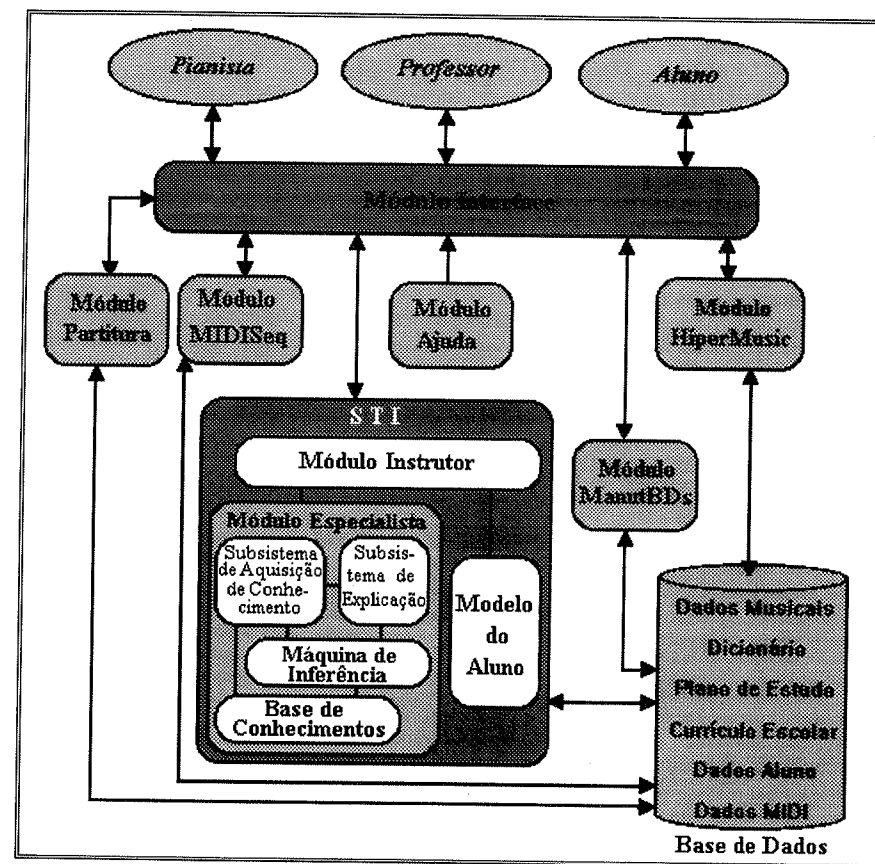


Figura 2 - Estrutura do Ambiente *Expert Piano*.

### 4.2 - Módulo HiperMusic

O módulo *HiperMusic* gerencia o acesso a uma base de dados multimídia, fornecendo ao estudante informações complementares que o auxiliarão na sua formação musical, além de tornarem o ambiente mais rico e interativo. Esta base de dados compreende as seguintes informações:

- vida e obra dos compositores (particularmente os adotados no currículo escolar);
- dicionário de termos musicais;
- significado de símbolos musicais (notação tradicional, etc);

- particularidades sobre as peças musicais estudadas, e,
- anotações de professores e outros alunos sobre determinadas peças musicais.

#### 4.3 - Módulo *ManutBDs*

Este módulo tem a função de manutenção das bases de dados do ambiente **Expert Piano**. É de responsabilidade do professor a atualização dos dados cadastrais dos alunos, bem como dos dados sobre o plano de estudos e currículo escolar. Os outros componentes da base de dados (dados MIDI, dados musicais e dicionário) também são mantidos a partir deste módulo, só que devido a natureza de suas informações, as manutenções são realizadas sob orientação e controle especiais.

#### 4.4 - Módulo *MIDISeq*

Toda a comunicação entre o microcomputador e o sistema MIDI é realizado por este módulo. Através do módulo *MIDISeq* o usuário pode monitorar e controlar o seu equipamento MIDI, verificando as capacidades e possíveis ocorrência de falha dos equipamentos MIDIs disponíveis.

O módulo incorpora as funções básicas de um seqüenciador, provendo os principais recursos para gravação e reprodução de peças musicais em formato MIDI. Durante uma sessão de estudo, a interação do aluno com os recursos MIDI serão providenciadas pelo módulo *MIDISeq*, sob supervisão do módulo Interface.

#### 4.5 - Módulo *Partitura*

O módulo *Partitura* é responsável pelo tratamento dos dados musicais em formato de notação musical convencional. Ele possibilita a visualização na tela ou impressora das partituras completas ou dos trechos selecionados pelos usuários. O usuário pode, ainda, optar pela impressão da peça musical original ou pela peça executada por ele.

Este módulo é muito importante para a comunicação entre o ambiente e o aluno, pois quando necessárias as remediações do sistema são feitas através de notas e compassos musicais. Isto certamente facilita o entendimento do aluno no que se refere aos eventos musicais realizados.

#### 4.6 - Módulo *Ajuda*

O ambiente proporciona um recurso adicional de auxílio às dúvidas de operação e manuseio do sistema. O módulo *Ajuda* é sensível ao contexto e contém explicações sobre as diversas opções e modos de operação do ambiente **Expert Piano**. Este módulo provê ligações tipo hipertexto que remetem o usuário a outros contextos. Ainda estão disponíveis outros recursos como localização de palavras, histórico de tópicos já percorridos e consultas a um índice alfabético de palavras chaves.

#### 4.7 - Módulo *Sistema Tutorial Inteligente*

O módulo Sistema Tutorial Inteligente é o principal dos módulos do ambiente **Expert Piano**. Ele é responsável pelo diagnóstico e tratamento dos erros cometidos pelo aluno, e também tem a finalidade de remeter o estudante às remediações e sugestões apropriadas contidas na base de conhecimento especialista. Este módulo é subdividido em vários outros a saber: Módulo Instrutor, Módulo Especialista e Módulo Modelo do Aluno.

##### 4.7.1 - Módulo *Instrutor*

Nos STIs tradicionais, o módulo Instrutor (ou módulo Tutor) é o responsável pela escolha e apresentação do material educacional a ser empregado para um determinado estudante, analisando também o seu rendimento. Nosso ambiente, como foi dito anteriormente, visa um trabalho conjunto com o professor, sendo assim, a escolha das peças musicais a serem estudadas com o auxílio do **Expert Piano** deverá ser feita por ele.

No momento em que uma peça musical foi escolhida, os conceitos teóricos e práticos necessários à sua interpretação são conseqüentemente também selecionados. Neste sentido, o Módulo Instrutor do ambiente educacional tem as seguintes funções:

- orientar o exercício do aluno segundo o plano de estudos e diretrizes do professor: as várias opções de estudo durante uma sessão são disponibilizadas a partir do plano de estudos traçado pelo professor. Na falta do plano específico o aluno pode utilizar o plano de estudos padrão fornecido pelo ambiente ou estudar segundo os seus próprios critérios;

- processar os eventos MIDI gerados pelo aluno durante o exercício: através de comunicação com o módulo *MIDISeq* a *performance* do aluno será gravada em formato MIDI, possibilitando depois o tratamento dos eventos musicais;

- apresentar ao aluno as remediações e sugestões apropriadas: através de ligações com os módulos *MIDISeq* e *Partitura* o ambiente proporciona *feedback* ao aluno, inclusive com recursos visuais e auditivos;

- analisar e acompanhar o rendimento do aluno: o módulo registra o desempenho do estudante e alimenta o Modelo do Aluno;

##### 4.7.2 - Módulo *Especialista*

O Módulo *Especialista* é um sistema especialista que contém o conhecimento dos especialistas musicais (professores e pianistas) e o mecanismo que manipula adequadamente este conhecimento. O conhecimento armazenado precisa ser suficiente para as duas funções: diagnóstico dos erros e elaboração de remediações, sugestões e explicações relativas ao desempenho dos alunos.

Este módulo é composto por:

a) *Subsistema de Aquisição de Conhecimento*: permite a inclusão e modificação das informações contidas na base de conhecimentos. A base de conhecimento poderá ser ampliada ou alterada segundo critérios adotados pelos professores da escola, o que possibilitará a adequação do modo de agir do ambiente segundo a filosofia de ensino de cada escola. A utilização do subsistema de aquisição de conhecimento será admitida somente por professores de música e pianistas com reconhecida autoridade no assunto ou por um Engenheiro do Conhecimento (interpretador entre o especialista e o sistema computacional).

b) *Subsistema de Explicação*: através deste módulo os usuários do ambiente **Expert Piano** poderão acompanhar o raciocínio adotado pelo sistema para um determinado diagnóstico de erro ou remediação. Caso queira, o aluno poderá indagar ao ambiente quais foram os motivos que o levaram a prescrever uma ação especificamente, ou seja, os passos seguidos para o processamento e solução de um evento em questão. Isto, contribui para que aumente a confiabilidade dos diagnósticos, propostas e sugestões do ambiente.

c) *Máquina de Inferência*: trabalha com a base de conhecimentos e é formada por um conjunto combinado de métodos de raciocínio e mecanismos de inferências, que levam a solução dos problemas de forma correta e eficiente, simulando o comportamento de um especialista no domínio. No ambiente **Expert Piano**, como veremos a seguir, a base de conhecimentos contém vários formatos de dados, entre eles a representação dos eventos musicais no formato MIDI, portanto, a MI deve ser capaz de processá-los adequadamente.

d) *Base de Conhecimentos*: contém as regras e heurísticas coletadas dos especialistas, necessárias para o diagnóstico dos possíveis erros durante a execução de uma peça musical. A BC contém também, informações que permitem ao ambiente remeter sugestões e remediações aos estudantes. A partir do diagnóstico de um determinado erro, e levando em considerações outros fatores como por exemplo, o percurso do estudante e as características da peça em questão, o ambiente pode definir qual a melhor remediação a ser gerada para o aluno. Portanto, o conteúdo da BC do ambiente **Expert Piano** deve atender a duas necessidades básicas: conhecimento especialista (musical) para diagnóstico de erros e conhecimento especialista (pedagógico) para ensinar ao aluno como resolver estes erros.

Devido a natureza do nosso domínio, fica difícil imaginar como o ambiente educacional poderá avaliar o comportamento do aluno durante uma interpretação musical. O número de erros musicais que podem ser cometidos é bem grande, principalmente se levarmos em conta a especificidade de cada erro.

Podemos citar um exemplo simples para ilustrarmos nosso raciocínio: um aluno que em um determinado compasso deveria tocar duas notas sucessivamente, pode simplesmente executar a primeira corretamente e errar a segunda. A segunda nota errada pode ser qualquer uma das 87 notas restantes, considerando um teclado de piano. Podemos verificar que o número de combinações possíveis fará crescer enormemente a nossa BC, isto levando-se em conta que no exemplo citado não analisamos outros fatores como tempo das notas, expressão, etc. Para resolvermos este tipo de problema, criamos um catálogo de erros (*bug catalog*). Para tanto, inicialmente agrupamos os principais erros segundo a sua natureza e tipo (nota errada, tempo de duração da nota diferente, etc). A estes elementos de erros chamamos de **Unidade de Erro (UE)**. A UE é o erro mais elementar que o sistema irá detectar e está normalmente associada a eventos MIDI. Devemos observar que uma UE que indica nota tocada errada servirá para todos os eventos equivalentes, independentemente da nota geradora do erro. Além disso, as informações complementares como o nome da

nota responsável pelo erro não será perdida. A remediação para o aluno conterà o tipo de erro e em qual compasso ele ocorreu.

Podemos constatar que só as UEs não são suficientes para cobrir todos os erros possivelmente encontrados durante uma interpretação musical. Com o intuito de resolvermos este problema, adotamos um outro conceito que é o **Erro de Contexto (EC)**. O EC é formado por combinação de UEs e outras informações pertinentes a natureza da educação musical. Em relação a estas informações levamos em consideração as características da peça em estudo, dados do aluno, currículo da escola, plano de estudo, etc.

O EC tem prioridade sobre a UE. Entretanto, para que um EC seja pertinente, todas as suas condições tem que ser satisfeitas, caso contrário, o ambiente remete ao aluno somente as considerações relativas às UEs encontradas. Vale ainda lembrar que tanto as UE quanto os EC são válidos para todas as peças musicais disponíveis no ambiente **Expert Piano**.

O sistema de aquisição de conhecimentos é capaz de realizar a manutenção na BC, e caso o professor deseje pode modificar a BC original do ambiente **Expert Piano**. As novas regras deverão respeitar os dados modelados e já disponíveis do sistema, caso contrário, será necessário a intervenção de especialistas em informática.

Uma grande vantagem que podemos constatar com a adoção das UEs e dos ECs, é que fica factível a geração e ampliação do conhecimento especialista na BC. Podemos inicialmente testar a eficiência do sistema com um número de regras menor, e a medida que validamos o conhecimento existente, ampliamos gradativamente a BC com novas regras.

#### 4.7.3 - Módulo Modelo do Aluno

O *Modelo do Aluno* visa verificar o estado de conhecimento de cada aluno, gerando hipóteses sobre suas concepções e estratégias de raciocínio. Normalmente, os STIs representam o conhecimento do estudante como um subconjunto da BC, os itens da BC recebem uma medida correspondente ao domínio do aluno sobre ele (*modelo de overlay*).

Como vimos anteriormente, a BC do **Expert Piano** é formada principalmente por um catálogo de erros musicais, neste sentido, o *Modelo do Aluno* compreende o conjunto dos erros cometidos pelo aluno, o número de ocorrência e em qual contexto eles foram identificados.

Todas as ações do aluno durante uma sessão de estudo são processadas e armazenadas no modelo do aluno e, dependendo do caso, na base de dados. É importante realçarmos que o comportamento do aluno influencia nas remediações feitas pelo sistema. O módulo Instrutor se vale das informações existentes na BC e também do que foi armazenado no Modelo do Aluno para apontar quais serão os próximos passos que o aluno deverá seguir nos próximos estudos.

Através do Módulo Modelo do Aluno podemos ainda analisar estatisticamente o desempenho do estudante e acompanharmos a evolução dele sobre erros anteriormente cometidos. Ao final do estudo de uma peça musical, o aluno deverá ter compreendido os conceitos teóricos e práticos que envolvem a peça em questão, tendo condições de interpretá-la corretamente. Isto também será registrado no Modelo do Aluno, pois trata-se de um conhecimento referente a um conteúdo dominado pelo estudante.

#### 4.8 - Base de Dados

Na Base de Dados do ambiente **Expert Piano** encontramos as informações necessárias para o funcionamento dos demais módulos. Parte dos dados são representados em formato multimídia e requerem um tratamento apropriado no tocante a apresentação e manutenção. A Base de Dados basicamente compreende as seguintes informações:

a) **Dados Musicais**: dados sobre os compositores (sua vida e principais obras), peças musicais (particularidades e observações de professores e alunos), instrumentos musicais, conjuntos musicais e orquestras.

b) **Dicionário Musical**: significado dos principais termos musicais e símbolos da notação musical convencional.

c) **Plano de Estudo**: como as opções de estudos serão disponibilizadas para cada aluno e para cada peça musical.

d) **Currículo Escolar**: programa da escola contendo informações referentes às séries escolares e as suas respectivas peças musicais (exercícios e músicas).

e) **Dados do Aluno**: além das informações cadastrais dos alunos que utilizam o ambiente, contém os registros das ações realizadas em cada sessão de estudo e juntamente com o Modelo do Aluno fornecem subsídios para o ambiente acompanhar o desempenho dos estudantes.

f) **Dados MIDI**: cada peça musical disponível para estudo no ambiente **Expert Piano** tem um arquivo no formato MIDI associado. Além disso, outras informações complementam a base de dados MIDI facilitando a fase de diagnóstico. Estes arquivos são essenciais ao sistema pois são utilizados como fonte de referência para que o ambiente possa verificar o desempenho do aluno. Basicamente, o ambiente compara os eventos MIDI tocados pelos alunos com os eventos MIDI armazenados previamente pelos professores/pianistas. Assim sendo, partimos do princípio de que o que foi tocado pelos especialistas musicais está correto, e na comparação com a *performance* do aluno, o que diferenciar é considerado como erro.

### 5 - Conclusão

Um protótipo do ambiente educacional apresentado neste artigo está sendo desenvolvido no Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE/UF RJ, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Para as fases de modelagem e especificação do Módulo STI, foi adotado o método KADS-estendido proposto por Werneck (Werneck, & Rocha, 1994). A implementação está sendo realizada com a ferramenta de autoria *Asymetrix Multimedia ToolBook 3.0*, que é um ambiente normalmente usado para o desenvolvimento de aplicativos de multimídia baseados no *MS-Windows*. O *Toolbook* contém uma linguagem de programação, *OpenScript* que incorpora elementos comuns às linguagens de programação tradicionais e outros próprios de linguagens orientadas para objetos. Uma vantagem na utilização do ambiente *Toolbook* e que estamos explorando no desenvolvimento desse protótipo, é a capacidade do *OpenScript* de chamar as Bibliotecas de Ligações Dinâmicas (DLLs). Através deste recurso podemos acessar as funções API do *Windows* além de rotinas desenvolvidas em C++.

### 6 - Referências Bibliográficas

- Harmon, P. & King, D. (1988). *Sistemas Especialistas*. Rio de Janeiro, Editora Campus.
- Holton, A. M. (1991). The Need for Synthesized Music in the School Curriculum. *SIGCUE Outlook*. ACM Press. Vol. 21-2.
- Loy, G. (1985). Musicians Make a Standard: The MIDI Phenomenon. in "The Music Machine - Selected Readings from Computer Musical Journal". Edited by Curtis Roads. The Mit Press.
- Rudolph, T. (1991). Technology and Music Education. *SIGCUE Outlook*. ACM Press. Vol. 21 # 2 - Fall.
- Rueda, F. (1993). ¿ Que Puede Aportar la Inteligencia Artificial al Desarrollo de La Informatica Educativa? *Revista Informática Educativa*, Vol. 6, nº 3 - Universidade de Los Andes, Santafé de Bogotá - Colômbia.
- Santos, N. & Segre, L. (1991). *Informática na Educação e Incorporação das Novas Tecnologias da Informação nos Processos de Trabalho*. COPPE-Sistemas/UF RJ. Rio de Janeiro.
- Webster, P. R. (1991). Music Teacher as Software Authors. *SIGCUE Outlook*. ACM Press. Vol. 21 # 2 - Fall.
- Werneck, V. & Rocha, A. (1994). *Processo de Desenvolvimento para Sistemas Baseados em Conhecimento*. Publicações Técnicas - COPPE-Sistemas/UF RJ. Rio de Janeiro.
- Yavelow, C. (1989). Music and Microprocessors: MIDI and the State of Art. in "The Music Machine - Selected Readings from Computer Musical Journal". Edited by Curtis Roads. The Mit Press.